

ORGANIZADOR: Maurício Novaes Souza

Tópicos em recuperação de Áreas Degradadas

Volume IX



ORGANIZADOR:
Maurício Novaes Souza

Tópicos em recuperação de

Áreas Degradadas

Volume IX

Canoas
2025



ESTUDOS DE CASO:

Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável

Controle de plantas espontâneas: práticas para o aperfeiçoamento da produção e sustentabilidade

Homeopatia vegetal: potencial e aplicações no manejo fitossanitário

Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos

Conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma: um olhar para o futuro

Uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos: formas, leis e resultados

Reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal como prática agroecológica

Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na agricultura

Impactos ambientais das bitucas de cigarros: redução por meio de reciclagem e compostagem

Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda

Tópicos em recuperação de áreas degradadas Volume IX

© 2025 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6>

Organizador

Maurício Novaes Souza

Revisão ortográfica

Maurício Novaes Souza

Adaptação da capa e desenho gráfico

Luis Miguel Guzmán

Fotos da capa e contracapa

Márcio Menegussi Menon



Canoas - RS - Brasil

contact@meridapublishers.com

www.meridapublishers.com

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total ou parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

T674 Tópicos em recuperação de áreas degradadas [livro eletrônico] :
volume IX / Organizador Maurício Novaes Souza. – Canoas, RS:
Mérida Publishers, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-84548-33-6

1. Meio ambiente – Preservação. 2. Áreas degradadas – Impactos ambientais. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Souza, Maurício Novaes.

CDD 577

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Dedicatória

Todos carregamos em nosso coração figuras que iluminam nossos passos, modelos de vida que nos inspiram e guiam. Eu, também, tenho os meus.

Entre eles, brilhou com especial intensidade Dona Nely Novaes, uma mulher excecional, cuja presença foi um verdadeiro presente em minha vida.

Neste fevereiro de 2025, ela teria celebrado 98 anos de existência, um marco de sabedoria, força e amor que transcende o tempo.

Mesmo quando a saúde tornou-se frágil e, às vezes, sua memória não alcançava meu rosto, seu espírito permanecia vivo, pulsando em cada canto de nossa história. Seu abraço e sua essência eram um porto seguro, sempre presente em nossos encontros.

Hoje, porém, Dona Nely nos deixou. Sua ausência física dói, mas sua memória permanece viva, seu amor é eterno. Ela está e estará sempre em nossos corações, enraizada nas lembranças, nos gestos e nas lições que nos deixou.

E a palavra que me vem ao pensar em tudo o que ela representa?

Gratidão.

Gratidão pela vida que tocou tantas outras. Gratidão pela força que nos inspira.
Gratidão pela luz que jamais se apagará.

Que seu legado continue a nos guiar, Dona Nely, como uma estrela que brilha para sempre em nossas vidas.

Professor Maurício Novaes

Guarapari, fevereiro de 2025.

Prefácio

Todos têm pessoas que as inspiram e servem como referência em seu trabalho, em suas vidas. Uma delas, para mim, é José Alberto 'Pepe' Mujica Cordano. Recentemente, Pepe Mujica, ex-presidente do Uruguai, fez uma declaração que me marcou profundamente. Ele disse algo assim: "Todos acham muito bonitas as palavras que digo, me aplaudem, publicam em revistas e jornais, mas quase ninguém pratica o que eu prego".

Essa observação não é apenas uma crítica, mas um reflexo de nossa sociedade contemporânea. Mujica, conhecido como o "presidente mais humilde do mundo", personificou durante seu mandato (2010-2015) a ideia de viver com simplicidade e coerência. Ele doava a maior parte de seu salário, morava em uma casa simples e dirigia um fusca, enquanto pregava valores como solidariedade, austeridade e respeito ao meio ambiente.

Sua frase ecoa um dos maiores paradoxos do mundo atual: admiramos ideias e valores elevados, mas, muitas vezes, não os incorporamos em nossas práticas cotidianas. A sociedade aplaude Mujica por sua vida simples e por sua visão crítica do consumismo, mas seguimos, em grande parte, presos à lógica do "ter", acumulando bens e explorando recursos naturais como se fossem infinitos.

Em outro momento, Mujica afirmou: *"A pobreza não é a falta de dinheiro, é a falta de liberdade. Liberdade é ter tempo para fazer aquilo que nos satisfaz."* Ele nos convida a refletir sobre as amarras que criamos para nós mesmos: a busca incessante pelo consumo, que muitas vezes nos distancia daquilo que realmente importa - a vida simples, o tempo para cultivar relações humanas e a conexão com a natureza.

Outro pensamento memorável de Mujica é sua crítica ao modelo econômico que promove a desigualdade: *"Gastamos dinheiro que não temos, em coisas que não precisamos, para impressionar pessoas que não nos importam."* Ele nos alerta sobre o vazio dessa corrida desenfreada, que frequentemente sacrifica a qualidade de vida, a saúde mental e o meio ambiente.

A frase que chamou minha atenção é mais do que um desabafo; ela é um convite à ação. Mujica nos desafia a sermos coerentes, a não apenas admirar

discursos, mas transformar essas palavras em prática. Afinal, de que adianta aplaudir valores que não estamos dispostos a viver?

É um chamado para que, individual e coletivamente, abandonemos a apatia e nos perguntemos: como podemos, de fato, alinhar nossas vidas com os princípios que admiramos? Aplaudir é fácil; viver com coerência, como Mujica nos mostra, é o verdadeiro desafio.

O pensamento de Pepe Mujica, que nos provoca ao dizer: *"Todos acham muito bonito o que digo, me aplaudem, publicam em revistas e jornais, mas ninguém segue o que falo,"* ressoa profundamente com minhas reflexões sobre o impacto humano no meio ambiente e a degradação socioambiental. Sua visão crítica é um espelho de nossos desafios enquanto sociedade, especialmente quando contrastamos nosso conhecimento sobre a crise ambiental com nossa limitada capacidade de transformar esse saber em ações concretas.

Essas questões têm sido o cerne da série de livros *"Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas"* e *"Tópicos em Gestão Ambiental"*, desenvolvida com alunos das disciplinas do Programa de Pós-graduação em Agroecologia (PPGA), dos cursos de Biologia e Tecnologia em Cafeicultura do Ifes campus de Alegre, e também com alunos do Mestrado da Ufes campus de Alegre. A série, fruto do esforço coletivo de estudantes e colegas, está intrinsecamente ligada às preocupações que me moveram durante minha dissertação de mestrado no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (2002-2004).

Entender como a humanidade, de impactos quase insignificantes no passado, se tornou uma força dominante e degradante no planeta é um desafio intelectual e ético. Mujica, ao viver e pregar a simplicidade, nos lembra que o caminho para uma convivência harmônica com a natureza exige mais do que teorias: exige coerência, escolhas conscientes e uma ruptura com o consumismo desenfreado. Afinal, como ele afirma: *"Gastamos dinheiro que não temos, em coisas que não precisamos, para impressionar pessoas que não nos importam."*

Essa contradição entre conhecimento e prática é evidente quando observamos o que foi conquistado e o que ainda falta ser feito. Desde a criação do *Dia Mundial do Meio Ambiente* em 1972, durante a Conferência de Estocolmo,

houve avanços inegáveis: conferências globais, tratados e acordos ambientais ratificados por inúmeros países, além de campanhas e iniciativas de conscientização que marcaram meio século de engajamento. Porém, como Mujica nos alerta, aplaudir avanços não é suficiente quando nossas ações continuam insuficientes diante da magnitude do problema.

Submeter a natureza a padrões de consumo dilapidadores e ao controle desmedido da tecnologia, como se os recursos fossem infinitos, é ilusório. Há limites para o crescimento, e a própria biosfera nos apresenta sinais de que estamos à beira de um colapso. A injustiça social, outro ponto fundamental destacado por Mujica, também está intimamente ligada à crise ambiental. As populações mais vulneráveis são, frequentemente, as mais afetadas pelas degradações ecológicas, enquanto os privilégios econômicos sustentam a exploração predatória.

O desafio de mudar padrões de consumo e de desenvolvimento global, incorporando abordagens sistêmicas e complexas no âmbito acadêmico e político, é monumental. Entretanto, como Mujica exemplifica em sua vida e palavras, pequenas mudanças individuais, quando amplificadas coletivamente, podem gerar impactos transformadores.

Os cursos do Ifes campus de Alegre seguem essa lógica, buscando integrar ciência, educação e consciência ambiental. Não se trata apenas de transmitir conhecimento, mas de incentivar a prática, promover o engajamento e formar indivíduos capazes de questionar o sistema vigente, propondo soluções alinhadas à sustentabilidade.

Assim como Mujica, acredito que o caminho é árduo, mas indispensável. E, enquanto buscamos respostas para os desafios contemporâneos, ecoa em nossas mentes sua lição mais simples e poderosa: viver com coerência e cultivar a consciência de que o planeta é nossa única casa. Afinal, preservar a natureza é, antes de tudo, um ato de preservação da humanidade.

Com o avanço acelerado das mudanças climáticas, a recorrência de eventos extremos e o marco alarmante de que 2024 foi registrado como o ano mais quente da história da humanidade, a necessidade de aprofundarmos a discussão sobre nosso modelo de desenvolvimento é urgente. Essa realidade

coloca em evidência uma questão inevitável para entrarmos em nossa área de trabalho: qual o papel do agronegócio empresarial na intensificação dessas mudanças?

O agronegócio, como setor econômico dominante em várias partes do mundo, tem uma relação complexa com as mudanças climáticas. De um lado, ele é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, provenientes da expansão da fronteira agrícola, do desmatamento, da mudança de uso do solo, da queima de combustíveis fósseis, da criação intensiva de gado e do uso indiscriminado de fertilizantes químicos. Por outro lado, é também um setor profundamente vulnerável aos impactos climáticos, como secas, enchentes e alterações no regime hídrico e de temperaturas, que comprometem a produtividade e a segurança alimentar.

Essa dualidade reflete uma contradição maior do sistema em que vivemos: como bem destacou Pepe Mujica, *"Gastamos dinheiro que não temos, em coisas que não precisamos, para impressionar pessoas que não nos importam."* O agronegócio empresarial, muitas vezes orientado por uma lógica de produção massiva para atender mercados globais e alimentar o consumismo, se torna um dos grandes exemplos desse paradoxo. Enquanto celebra lucros recordes, frequentemente ignora os custos socioambientais que recaem sobre as populações mais vulneráveis e sobre os ecossistemas.

Cabe refletir sobre o papel da agricultura familiar e a crítica à mercantilização da natureza e da cultura por meio da música *"Bancarrota Blues"*, de Chico Buarque.

"Bancarrota Blues"

Uma fazenda
Com casarão
Imensa varanda
Dá gerimum
Dá muito mamão
Pé de jacarandá
Eu posso vender
Quanto você dá?

Algum mosquito
Chapéu de sol
Bastante água fresca
Tem surubim
Tem isca pra anzol
Mas nem tem que pescar

Eu posso vender
Quanto quer pagar?

O que eu tenho
Eu devo a Deus
Meu chão, meu céu, meu mar
Os olhos do meu bem
E os filhos meus
Se alguém pensa que vai levar
Eu posso vender
Quanto vai pagar?

Os diamantes rolam no chão
O ouro é poeira
Muita mulher pra passar sabão
Papoula pra cheirar
Eu posso vender
Quando vai pagar?

Negros quimbundos
Pra variar
Diversos açoites
Doces lundus
Pra nhonhô sonhar
À sombra dos oitis
Eu posso vender
Que é que você diz?

Apresento no contrabaixo, Jorge Elber
Piano, João Rebouças
Bateria, Wilson das Neves
Percussão, Chico Batera
Sax, flauta, clarinete, Marcela Bernardes
Teclados, vocais, Bia Paes Leme
Violão, guitarra, arranjo, direção musical, Luís Cláudio Ramos

Se eu posso me alegrar de ter nascido e de viver, de trabalhar aqui
Ou mesmo lá fora e dizer "eu sou do Brasil"
Essa alegria com certeza vem da minha ligação com a música
E especialmente com os músicos brasileiros
Músicos aqui representados por esta banda
Que eu quero ter sempre comigo
E que faço questão de homenagear

Mas posso vender
Quem vai arrematar?

Sou feliz
E devo a Deus
Meu éden tropical
Orgulho dos meus pais
E dos filhos meus
Ninguém me tira nem por mal
Mas posso vender
Deixe algum sinal
Eu posso vender
Deixe algum sinal
Eu posso vender
Deixa algum si-

Compositores: Edu Lobo / Chico Buarque

A composição, rica em metáforas e ironias, apresenta um cenário onde até os elementos mais simples e essenciais da vida — os recursos naturais, a história e a cultura — estão à venda. Essa obra se alinha profundamente às questões discutidas anteriormente, especialmente no que tange à relação humana com o meio ambiente e o impacto do modelo econômico dominante.

Logo no início da música, Chico descreve uma fazenda com "uma imensa varanda, gerimum, mamão e pé de jacarandá", uma imagem que evoca a riqueza natural do Brasil. No entanto, a pergunta "Quanto você dá?" quebra o encanto ao introduzir a ideia de que até mesmo a natureza está sujeita à lógica do mercado. Essa ironia ressoa fortemente com os desafios que enfrentamos hoje, em um contexto onde a exploração intensiva de recursos naturais — muitas vezes promovida por um agronegócio empresarial descomprometido com a sustentabilidade — acelera a degradação ambiental e contribui para a crise climática.

Chico aprofunda sua crítica ao mencionar "negros quimbundos", "diversos açoites" e "doces lundus", elementos que aludem ao passado colonial do Brasil. Aqui, ele denuncia a romantização de uma época marcada pela exploração e opressão. Esse trecho da música encontra eco nas reflexões sobre a injustiça social como um componente intrínseco da crise ambiental. Assim como a escravidão foi sustentada por uma lógica de exploração, o modelo econômico atual perpetua desigualdades ao concentrar terras, recursos e poder nas mãos de poucos, enquanto comunidades tradicionais e agricultores familiares enfrentam crescentes dificuldades.

Ao mencionar "algum mosquito" e "chapéu de sol", Chico Buarque lança mão da ironia para destacar a banalidade daquilo que o mercado busca comercializar. Tudo, por mais trivial que pareça, pode ser transformado em mercadoria. Essa crítica reforça o alerta de Pepe Mujica, que afirmou que vivemos em um mundo onde gastamos dinheiro que não temos, em coisas que não precisamos. Esse consumismo desenfreado não apenas impulsiona a destruição ambiental, mas também perpetua um sistema em que o valor real da natureza, da cultura e da vida humana é ignorado em favor do lucro.

A visão apresentada em "*Bancarrota Blues*" também dialoga com as iniciativas desenvolvidas no Ifes campus de Alegre, especialmente nos cursos

que promovem a agroecologia e a recuperação de áreas degradadas. Enquanto a música expõe as contradições de um modelo que reduz tudo ao capital, os projetos e pesquisas acadêmicas defendem alternativas que resgatem o equilíbrio entre economia, sociedade e meio ambiente. A agroecologia, por exemplo, valoriza a biodiversidade, o saber local e o uso sustentável dos recursos, questionando diretamente a lógica mercantilista criticada por Chico Buarque.

Além disso, o tom irônico da música, que culmina com a declaração de "felicidade e gratidão a Deus" enquanto a oferta de venda persiste, é um convite à reflexão sobre como moldamos nosso discurso e nossas ações em relação à preservação ambiental. É como se Chico Buarque estivesse nos perguntando: o que resta de nossa identidade, de nossa cultura e de nosso meio ambiente quando tudo é transformado em mercadoria? Essa mesma pergunta permeia as discussões sobre as mudanças climáticas e o papel do agronegócio empresarial, que frequentemente substitui paisagens biodiversas por monoculturas e florestas nativas por pastagens, colocando em risco a sustentabilidade do planeta.

Assim como Chico denuncia a mercantilização do passado e do presente, os debates contemporâneos sobre o meio ambiente questionam a lógica de crescimento infinito em um planeta finito. O aquecimento global, que trouxe 2024 como o ano mais quente da história, é um lembrete de que não podemos continuar tratando o mundo como uma fonte inesgotável de recursos. A música, portanto, não é apenas uma crítica, mas também um alerta: é preciso repensar urgentemente nossa relação com a natureza, com a cultura e com o outro, antes que a "bancarrota" deixe de ser apenas uma metáfora.

"Bancarrota Blues" é, em última análise, um espelho da sociedade, que nos força a encarar o preço que estamos dispostos a pagar — e a cobrar — por tudo que consideramos essencial. Se quisermos construir um futuro sustentável, é necessário, como Mujica enfatiza, transformar não apenas nossas práticas, mas também nossos valores. Afinal, não se trata apenas de preservação ambiental ou justiça social, mas de uma reconfiguração completa do que entendemos por progresso e felicidade.

Inspirados pelo pensamento de Mujica e por iniciativas como as desenvolvidas no Ifes campus de Alegre, é essencial cultivar a coerência entre

nossas palavras e ações. A luta contra as mudanças climáticas não é apenas uma responsabilidade técnica ou política; é uma questão ética e existencial. Afinal, como o próprio Mujica afirmou, "*Ou mudamos, ou desapareceremos como espécie.*"

Os eventos climáticos extremos que têm marcado a história recente reforçam a urgência de adotar políticas e práticas que priorizem a proteção ambiental e promovam a sustentabilidade. Esses temas são abordados de forma contundente na série de livros "*Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*", que contribui significativamente para o debate sobre responsabilidade ambiental, justiça social e os desafios do desenvolvimento sustentável.

O nono volume dessa série, em particular, busca aprofundar questões centrais relacionadas à degradação ambiental, ao esgotamento dos recursos naturais e à construção de um futuro mais sustentável e equitativo. A proposta é oferecer análises detalhadas e multidimensionais, capazes de capturar a complexidade das interações entre atividades humanas, ecossistemas e os limites biofísicos do planeta.

No contexto do Mestrado em Agroecologia, esses temas ganham ainda mais relevância. A exploração contínua de práticas sustentáveis e a disseminação do conhecimento são passos fundamentais para promover a conscientização e transformar modelos de produção e consumo. Essa transformação exige um olhar crítico sobre os sistemas produtivos, em especial os baseados na agropecuária intensiva e na urbanização industrial, que têm sobrecarregado os ecossistemas de forma alarmante.

O crescimento populacional sem precedentes, sobretudo nas áreas urbanas, é um dos principais agravantes desse cenário. Esse crescimento, aliado a um modelo de desenvolvimento baseado em consumo exacerbado, resulta em uma pressão insustentável sobre os recursos naturais. As consequências desse padrão são evidentes: poluição generalizada, esgotamento de recursos essenciais e uma perda significativa da resistência e resiliência dos ecossistemas. Estamos, como já advertido por diversos estudos e autores, ultrapassando os "*limites do crescimento*".

Essas questões também dialogam com reflexões presentes na obra

"Bancarrota Blues" de Chico Buarque, que ironiza a mercantilização desenfreada da natureza, da cultura e da própria história. A metáfora de uma fazenda onde tudo está à venda, desde riquezas naturais até elementos triviais, como um "chapéu de sol", escancara a lógica mercantilista que rege grande parte das ações humanas. Esse cenário é representativo do modelo econômico que transforma tudo — incluindo os ecossistemas — em mercadoria, alimentando ciclos de exploração e degradação ambiental.

No entanto, alternativas viáveis começam a emergir, tanto na teoria quanto na prática. Iniciativas como a recuperação de áreas degradadas por meio de Sistemas Agroflorestais (SAFs) e o fortalecimento da agricultura familiar apontam caminhos para mitigar os impactos ambientais enquanto promovem justiça social e resiliência comunitária. Esses modelos propõem um retorno à valorização da biodiversidade, da cultura local e de práticas agroecológicas, em oposição à homogeneização promovida pelo agronegócio empresarial.

Outro ponto crítico está na necessidade de repensar o modelo de urbanização e desenvolvimento industrial. As áreas urbanas, que concentram a maior parte da população mundial, desempenham papel central na crise ambiental, mas também podem ser agentes de transformação. Experiências com hortas urbanas e outras formas de agricultura urbana mostram como é possível criar espaços que combinem produção sustentável, educação ambiental e fortalecimento comunitário, mesmo em ambientes densamente povoados.

Portanto, a intersecção entre ciência, práticas agroecológicas e consciência ambiental é essencial para construir um futuro onde sustentabilidade e justiça social sejam alcançadas de forma integrada. A pesquisa e o ensino desempenham um papel fundamental nesse processo, fornecendo as ferramentas necessárias para compreender e enfrentar os desafios complexos da degradação ambiental.

Enquanto as temperaturas globais continuam a subir, evidenciando os impactos das mudanças climáticas, é imperativo que a humanidade reavalie suas prioridades. Como destaca Chico Buarque em sua obra, devemos questionar o valor que atribuímos às coisas e repensar a ética por trás de nossas escolhas. Esse processo exige não apenas mudanças nas práticas produtivas, mas também uma transformação nos valores que norteiam a sociedade.

O momento exige coragem para encarar a verdade sobre os limites do crescimento e, simultaneamente, criatividade para encontrar soluções que garantam a sobrevivência do planeta e o bem-estar das gerações futuras. Ao avançar nas pesquisas sobre sustentabilidade, é possível contribuir para a construção de um modelo de desenvolvimento que respeite tanto os limites ecológicos quanto os direitos humanos, promovendo um equilíbrio entre produção, consumo e preservação ambiental.

A seguir, apresento a resenha adaptada do livro *Homo Deus: Uma Breve História do Amanhã*, elaborada pela aluna **Andresa Carolina Mendes Pinheiro**, durante a disciplina de Agroecologia que lecionei no Mestrado em Agroecologia do PPGA do IFES campus de Alegre, no primeiro semestre de 2022.

RESENHA DO LIVRO: *Homo Deus – Uma Breve História do Amanhã*

Referência da obra: HARARI, Yuval Noah. ***Homo Deus: Uma breve história do amanhã***. Tradução de Paulo Geiger. São Paulo: Companhia das Letras, 2016. 606 p.

O livro:

A obra de Yuval Noah Harari investiga o futuro que parece estar reservado à espécie humana por meio da evolução tecnológica, analisando suas possíveis consequências. De maneira geral, o livro traça o percurso das expectativas da humanidade, destacando as dificuldades superadas, as novas compreensões e os desafios do terceiro milênio. Na introdução, Harari esclarece que a obra não busca fazer previsões definitivas sobre o futuro nem constitui um manifesto político, mas pretende discutir nossas escolhas atuais e suas implicações para o gênero humano:

"Minha previsão está focada no que o gênero humano vai tentar alcançar no século XXI, e não no que vai conseguir alcançar" (p. 64).

Parte I: O *Homo Sapiens* conquista o mundo

Em *O Antropoceno*, são abordadas as conquistas desse "novo homem", como indica o título. Harari descreve o processo de evolução humana, desde as relações primitivas com a natureza até a revolução científica, destacando como o ser humano conquistou o meio ambiente. Ele menciona como, nas sociedades primitivas, "as pessoas falavam com animais, árvores e pedras, e também com fadas, demônios e fantasmas [...] (p. 83)". Nessa época, normas e valores emergiam de uma rede de comunicações que incluía humanos e elementos naturais.

Com o avanço da ciência e da indústria, a natureza passou a ser vista como um conjunto de "algoritmos", interpretada e controlada por seres humanos.

No capítulo *A Epifania Humana*, Harari discute o lugar de destaque do *Homo sapiens* e como isso trouxe conquistas à custa de outras espécies. Ele explora a tese de que os seres humanos possuem uma consciência única, baseada em experiências subjetivas. Essas experiências têm características fundamentais, como sensação e desejo, algo inexistente nos animais ou na inteligência artificial, que operam de maneira puramente instintiva ou programada.

Parte II: O *Homo Sapiens* dá um significado ao mundo

Nesta parte, Harari aborda como os humanos criaram redes intersubjetivas que possibilitaram o surgimento de entidades imaginárias perceptíveis por meio de suas experiências, moldando relações de poder e cooperação. A seção é dividida em quatro capítulos:

✓ Os Contadores de Histórias

Nesse capítulo, Harari explora como as narrativas humanas — concretizadas pela escrita e pelo dinheiro — possibilitaram vastas redes de cooperação. Desde a construção de impérios até a deificação de faraós, essas narrativas moldaram a sociedade humana:

“A escrita também fez com que fosse mais fácil aos humanos acreditar na existência dessas entidades ficcionais porque habituou as pessoas a experimentar a realidade por meio da mediação e de símbolos abstratos”.

✓ O Estranho Casal

O capítulo explora o surgimento da ciência moderna, que começou a questionar narrativas ficcionais e propôs explicações baseadas em fatos. Harari discute como ciência e religião frequentemente se misturam, gerando debates complexos:

“Religiões apresentam a tendência irritante de transformar declarações factuais em juízos éticos, criando com isso uma grande confusão”.

✓ A Aliança Moderna

Nesta parte, Harari destaca como o mundo moderno, apesar de não oferecer um sentido cósmico à vida humana, permitiu a busca de significado por meio do progresso científico e do crescimento econômico. Ele aponta que o humanismo — a crença na centralidade do ser humano — passou a ser o credo dominante, dividindo-se em três formas principais: liberalismo, socialismo/comunismo e nacional-socialismo.

✓ A Revolução Humanista

Harari afirma que o humanismo coloca o indivíduo no centro da autoridade suprema, confiando em seus sentimentos e experiências para determinar valores éticos. No entanto, ele alerta que essa perspectiva pode ser transformada por mudanças tecnológicas futuras.

Parte III: O *Homo Sapiens* perde o controle

Nesta seção, Harari aborda os riscos das inovações tecnológicas para a humanidade, dividindo suas ideias em capítulos específicos:

✓ A Bomba-Relógio no Laboratório

A neurociência moderna revela que pensamentos e ações humanas são processos eletroquímicos no cérebro. Harari questiona a ideia do livre-arbítrio, indicando que muitas decisões humanas podem ser manipuladas ou determinadas por algoritmos.

✓ O Grande Desacoplamento

O autor discute o desenvolvimento de máquinas com inteligência não influenciada por consciência, que poderão superar o ser humano. Isso pode levar à criação de uma elite tecnológica e a uma massa de seres humanos "inúteis".

✓ O Oceano da Consciência

Harari explora as novas possibilidades tecnológicas de otimização do corpo, cérebro e espírito. Ele reflete sobre como essas inovações podem questionar a autoridade da vontade humana e até mesmo manipular nossos desejos.

✓ A Religião dos Dados

Harari apresenta o "dataísmo", uma visão de mundo que entende o universo como fluxos de dados. Ele sugere que o antropocentrismo do humanismo será substituído por uma perspectiva centrada em algoritmos, onde a inteligência consciente dará lugar à inteligência artificial.

Considerações Finais

Harari encerra o livro refletindo sobre o futuro da humanidade e questionando:

"O que será de nossa sociedade, nossa política e nossa vida cotidiana, se algoritmos não-conscientes, mas mais altamente inteligentes, nos conhecerem melhor do que nós mesmos?"

Ele destaca que os avanços tecnológicos e sociais só foram possíveis graças à capacidade humana de cooperar em larga escala, unida por histórias que, mesmo sendo ficções, moldam nosso mundo. Contudo, com a ascensão da inteligência artificial e do "dataísmo", os seres humanos podem perder o controle sobre seu próprio destino.

A obra é uma análise instigante e multidimensional das transformações que moldam a humanidade, oferecendo reflexões profundas sobre o presente e os possíveis caminhos para o futuro.

Ao analisar a obra *Homo Deus – Uma Breve História do Amanhã*, apesar dos 9 anos de sua publicação, observa-se que ela continua a abordar questões fundamentais e contemporâneas, ressaltando a complexidade e os desafios do

mundo atual. Esse diálogo entre o presente e o futuro é essencial para refletirmos sobre o modelo de desenvolvimento vigente e seus impactos no meio ambiente. A obra, de forma inquietante e perspicaz, nos leva a questionar o caminho que estamos trilhando, um caminho que muitas vezes ignora as consequências ambientais e sociais da exploração desenfreada de recursos naturais.

Este cenário se conecta diretamente com os temas tratados em nossos livros, como *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*, que visam explorar e oferecer soluções práticas e teóricas para problemas socioambientais urgentes. Assim como as reflexões de Yuval Noah Harari em *Homo Deus*, que nos desafiam a reconsiderar nosso impacto no planeta e a redefinir nossa relação com a natureza, nossas publicações também enfatizam a necessidade de mudanças profundas no modelo de desenvolvimento. O atual modelo de industrialização acelerada tem gerado um impacto negativo no meio ambiente e amplificado as desigualdades sociais, algo que Harari aborda de maneira brilhante, alertando sobre os riscos de uma sociedade cada vez mais descomprometida com a sustentabilidade.

Em consonância com essa análise crítica, nossos livros destacam a importância de repensar práticas agrícolas e a aplicação de modelos mais sustentáveis, com forte ênfase na Agroecologia e na conservação dos recursos naturais. A Agroecologia, como conceito e prática, vai além da produção agrícola sustentável, envolvendo também a promoção de uma maior justiça social, com práticas que beneficiam as comunidades locais e garantem a preservação do meio ambiente em longo prazo. Esse alinhamento com a proposta de *Homo Deus* é evidente: enquanto a obra de Harari nos convida a refletir sobre as consequências da busca incessante por inovação e progresso, os volumes da série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* nos oferecem soluções práticas e interdisciplinares para um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável.

A interdisciplinaridade é um ponto de destaque em ambas as obras. Em nossos livros, é apresentada como uma ferramenta essencial para enfrentar os desafios socioambientais, ilustrada pelo controle biológico de pragas, uma alternativa sustentável ao uso de pesticidas químicos. Também discutimos a

importância de integrar tecnologias avançadas para monitoramento ambiental e ecossistemas, algo que reflete a proposta de *Homo Deus*, ao abordar o papel crescente da tecnologia e da inteligência artificial na redefinição do futuro da humanidade. No entanto, em um contexto de recuperação de áreas degradadas, a tecnologia deve ser vista como um meio de restaurar e preservar, e não como um instrumento de exploração sem limites.

Ademais, os livros da série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* dialogam diretamente com a Agenda 2030 da ONU e suas metas para o desenvolvimento sustentável. Essa agenda oferece um marco de ação para a construção de um futuro mais justo e sustentável, e suas diretrizes são fundamentais para orientar políticas públicas e práticas concretas. A abordagem de Harari, ao destacar as tensões entre a tecnologia, o humanismo e a natureza, reforça a necessidade de integrarmos essas questões nas políticas de desenvolvimento sustentável.

O nono volume de *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* reflete o esforço contínuo em promover a sustentabilidade socioambiental, alinhando-se com a proposta de *Homo Deus*, que alerta para os riscos de uma sociedade em que a tecnologia e os algoritmos possam substituir a autonomia humana e destruir a conexão com o meio ambiente. No entanto, Harari também sugere que a mudança é possível, mas depende de esforços colaborativos e decisões conscientes, baseadas no conhecimento e na visão de futuro, algo que ressoa com os objetivos de nossa série de livros.

A busca por parcerias com colegas, alunos e pesquisadores é um fator chave nesse processo. Como destacado na série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*, a colaboração é essencial para compartilhar conhecimentos e gerar soluções inovadoras. Nesse sentido, a educação e a conscientização têm um papel fundamental, não apenas em transformar práticas agrícolas, mas também em moldar uma sociedade mais consciente e comprometida com o futuro do planeta.

Em última análise, tanto *Homo Deus* quanto a série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* compartilham a mensagem central de que a mudança é possível e necessária. O compromisso com a pesquisa interdisciplinar, a prática da Agroecologia e a promoção da sustentabilidade são

fundamentais para a construção de um futuro mais equilibrado e justo. A reflexão proposta por Harari, sobre as escolhas que fazemos e suas consequências, nos desafia a repensar o papel do ser humano no planeta e, ao mesmo tempo, nos dá esperança de que, por meio da ação coletiva e do conhecimento, podemos alcançar uma sociedade mais sustentável, onde as futuras gerações possam viver de maneira mais harmoniosa com a natureza.

Na EPÍGRAFE, compartilho o poema “Chuva” da poetisa e aluna de Mestrado do PPGA do Ifes campus de Alegre Julia Falqueto Ambrosim, demonstrando uma das demandas fundamentais aqui levantadas e suas correlações.

Em minha análise, o poema “*Chuva*” pode ser interpretado como um apelo simbólico à regeneração, à purificação e à cura, o que se alinha diretamente com as falas de José Mujica, ex-presidente do Uruguai, que frequentemente aborda temas de sustentabilidade, justiça social e o impacto das ações humanas no meio ambiente. As metáforas da chuva que “lava a alma” e “traz coisas boas” podem ser vistas como um reflexo do desejo de restaurar o equilíbrio ecológico e de promover mudanças profundas que alinhem a humanidade com o meio ambiente de maneira mais harmoniosa.

Mujica, em diversas ocasiões, tem alertado sobre a necessidade de repensar nosso modelo de desenvolvimento e consumo, que tem sido responsável pela degradação ambiental e pelas desigualdades sociais. Ele acredita que a verdadeira felicidade não reside no acúmulo de bens materiais, mas na simplicidade e na conexão com a natureza. Esse pensamento ressoa com a metáfora da chuva que “lava a alma”, como se fosse necessário um ato de purificação, uma reavaliação do que realmente importa.

A chuva que “arrasta todo mal” pode ser interpretada como uma metáfora para as políticas públicas e as ações necessárias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Assim como a chuva limpa, as ações de recuperação de áreas degradadas visam a remoção dos danos causados por práticas inadequadas, restaurando a saúde do solo e dos ecossistemas. Em um contexto

de mudança climática, essas ações se tornam ainda mais urgentes, pois a degradação do meio ambiente agrava as desigualdades sociais e econômicas.

A chuva, em sua intensidade, é também uma metáfora para os extremos das mudanças climáticas que estamos enfrentando. Quando o poema pede à chuva que "caia de mansinho", há uma sugestão de equilíbrio e cuidado com o meio ambiente, algo que se alinha com a necessidade de uma abordagem mais equilibrada e responsável para lidar com os recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas. Por outro lado, o pedido para que a chuva "cair forte" pode ser interpretado como um desejo de uma mudança radical e profunda, uma transformação que, assim como uma forte tempestade, traz consigo um renascimento, uma nova chance para o ecossistema e para as comunidades afetadas.

Na recuperação de áreas degradadas, a intervenção deve ser cuidadosa, mas também assertiva. A natureza precisa de "tempo para recompor", e isso é análogo ao pedido do poema para que, após a chuva, haja tempo para que as coisas se "recomponham", sem que mais danos sejam causados. A recuperação das áreas ambientais exige não só o uso de práticas como sistemas agroflorestais, agroecologia e restauração ecológica, mas também a paciência de ver a natureza se recuperar lentamente, tal como a alma que precisa de tempo para se curar e se fortalecer.

O poema reflete um anseio por renovação, restauração e equilíbrio, temas profundamente relevantes no debate sobre mudanças climáticas e recuperação ambiental. Assim como Mujica fala da necessidade de uma mudança de paradigma em relação ao consumo e ao desenvolvimento, o poema clama por uma chuva que traga purificação, mudança e, acima de tudo, a esperança de um futuro mais equilibrado. A chuva que "não machuca", mas sim "lava e cura", pode ser vista como um reflexo das práticas que precisamos adotar para restaurar o que foi perdido e para garantir um futuro sustentável para as próximas gerações.

Percebo, também, que o poema "Chuva" pode ser correlacionado com *Cem Anos de Solidão*, de Gabriel García Márquez, especialmente quando se analisa os temas de renovação, resistência e a relação simbólica entre o ser humano e o meio ambiente.

Em *Cem Anos de Solidão*, a natureza desempenha um papel simbólico central, muitas vezes refletindo o estado emocional e social dos personagens. O rio que seca e depois retorna, as chuvas incessantes e os períodos de seca, e as mudanças de clima que afetam a cidade de Macondo estão entre os elementos naturais que têm grande impacto no desenvolvimento da trama. Essa interdependência entre os personagens e o meio ambiente pode ser vista de maneira análoga ao poema, que fala da chuva como um símbolo de purificação, cura e renovação.

No contexto de *Cem Anos de Solidão*, a chuva que cai "de mansinho" pode ser vista como um paralelo ao momento em que os personagens buscam se livrar de suas próprias máculas, tanto pessoais quanto coletivas. A chuva que purifica, que no poema "lava a alma", reflete o desejo de regeneração e a tentativa de transformar a realidade. Da mesma forma, em Macondo, o ciclo de eventos naturais, muitas vezes catastróficos, serve de reflexão sobre o tempo, o sofrimento e a busca por um novo começo.

O pedido para que a chuva "arraste consigo" o mal e distancie o desânimo reflete a necessidade de afastar as forças negativas que afligem a humanidade. Em *Cem Anos de Solidão*, essa ideia é visível no ciclo de repetição dos destinos dos Buendía e na busca incessante por algo que traga paz e renovação para a família e para o vilarejo. A cidade de Macondo, que vive à sombra de sua própria história, é marcada por momentos de esperança e tragédia, assim como o desejo do poema de transformação.

O poema, ao desejar que a chuva traga uma "enxurrada de sorte", também traz a ideia de um novo ciclo. Em *Cem Anos de Solidão*, apesar de todo o ciclo de destruição e perda, há a esperança de que os descendentes da família Buendía consigam quebrar esse ciclo e criar um novo começo. A metáfora do "recomeço" presente no poema pode ser vista como uma resposta à desesperança de Macondo, onde, apesar de tudo, ainda existe a possibilidade de renovação, tanto para a terra quanto para as relações humanas.

O poema também faz um paralelo interessante com a temática das mudanças climáticas e a recuperação de áreas degradadas. Em *Cem Anos de Solidão*, a natureza reage às atitudes humanas e suas consequências. A cidade de Macondo, por exemplo, é afetada por uma praga de insetos e um período de

chuva incessante que parece não ter fim, simbolizando tanto os ciclos de destruição quanto de regeneração. Esse vínculo com a natureza, com suas reações aos erros humanos e à necessidade de recuperar os danos causados, é uma questão central tanto na obra de Márquez quanto nas discussões sobre sustentabilidade e recuperação ambiental que estão presentes na análise do poema.

Assim, o poema sobre a chuva, que pede purificação e renovação, encontra uma forte correlação com os temas centrais de *Cem Anos de Solidão*, como a busca por equilíbrio com a natureza, o processo de regeneração e a consciência das consequências das ações humanas, além da esperança por um futuro melhor que ainda não foi totalmente perdido. Ambos os textos refletem a luta contra a solidão, a destruição e a busca pela recuperação: seja no nível pessoal ou ambiental.

Agora, a Epígrafe, com o poema “Chuva”.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, fevereiro de 2025.

EPÍGRAFE

“Chuva”

Ôh chuva...

Caia de mansinho

Lave minha alma

Me molhe com carinho

Todo mal que me afronta

Arraste consigo

Do desânimo me distancie

E deixe apenas coisas boas comigo

Ôh chuva...

Se cair forte

Dê abrigo ao meu ser

Traga uma enxurrada de sorte

Não deixe mais resquícios

Depois que estiar

Permita-me recompor

Não tente mais machucar

Julia Falqueto Ambrosim.

Apresentação

A produção de livros, cadernos de aula e apostilas desempenha um papel fundamental no compartilhamento do conhecimento, estimulando a inspiração entre os estudantes e fomentando a colaboração entre colegas na busca por objetivos acadêmicos e de pesquisa. É imensuravelmente gratificante saber que os volumes dedicados ao tema "Tópicos de Recuperação de Áreas Degradadas" foram bem recebidos e corresponderam às expectativas. Essas publicações não só ampliaram a visibilidade das pesquisas realizadas nas disciplinas, como também contribuíram para o fortalecimento do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGA) do Ifes campus de Alegre, alinhando-se às exigências dos órgãos de fomento e financiamento de pesquisas.

Além disso, minha participação na criação de livros das séries "Tópicos em Cafeicultura" e "Tópicos em Gestão Ambiental", bem como minha colaboração na organização da série "Tópicos em Agroecologia" – coordenada pelo meu querido amigo Professor Otacílio José Passos Rangel – é uma oportunidade constante de evolução e atualização. Esses projetos, sempre em sintonia com as mudanças no campo e as necessidades emergentes, promovem uma visão integrada e mais abrangente, especialmente quando conectados a iniciativas de Recuperação de Áreas Degradadas, um passo essencial para uma abordagem sustentável.

A colaboração entre acadêmicos, alunos e orientados tem sido fundamental para o êxito dessas iniciativas. Essa troca de saberes cria um ambiente de aprendizado dinâmico, no qual a inovação floresce, e a parceria na publicação de projetos é uma forma excelente de incentivar a participação ativa e a contribuição de todos.

As publicações atuais e as futuras, junto aos projetos relacionados, têm como objetivo principal promover uma compreensão mais profunda e uma abordagem eficaz da recuperação de áreas degradadas. Essas iniciativas são vitais para sensibilizar a sociedade e impulsionar ações em prol da sustentabilidade ambiental.

O **Volume I** foi composto por três (3) capítulos, abordando os seguintes

temas:

- ✓ **Recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos;**
- ✓ **Aquicultura: Impactos ambientais negativos e a mitigação com práticas agroecológicas;**
- ✓ **Cafeicultura: Recuperação de áreas degradadas e uso de práticas agroecológicas no manejo do café em região de montanhas.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/topicos-em-recuperacao-de-areas-degradadas/>

O **Volume II** manteve o mesmo propósito do Volume I, que consistia em reunir informações essenciais para o desenvolvimento de conceitos de planejamento relacionados à "Recuperação de Áreas Degradadas" (RAD) e à condução das atividades produtivas de maneira sustentável, por meio da aplicação de práticas agroecológicas de conservação.

A continuação da abordagem adotada no primeiro volume se mostrou coerente e de grande valor, proporcionando uma continuidade no entendimento dos princípios e práticas necessárias para lidar com a degradação ambiental e promover a recuperação de áreas que foram perturbadas.

O segundo volume é composto por dez (10) capítulos que abordam os seguintes temas:

- ✓ **Estudos de Impactos Ambientais e seu Relatório - EIA/RIMA;**
- ✓ **Metodologias para a identificação e avaliação de efeitos e impactos ambientais;**
- ✓ **Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas “barraginhas”;**
- ✓ **Microrganismos simbiontes e a fixação biológica de nitrogênio;**
- ✓ **Uso de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade ambiental;**

- ✓ **Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD;**
- ✓ **Reuso da água na agricultura irrigada: efluentes da piscicultura e fertirrigação;**
- ✓ **Desigualdade social: agroecologia, “Agenda 2030” e sustentabilidade.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad2/>

O **Volume III** manteve o mesmo propósito dos Volumes I e II: enfatizar o planejamento sustentável e a adoção de práticas agroecológicas conservacionistas, uma ênfase decisiva nos dias de hoje, à luz dos desafios ambientais que se enfrentam. A promoção da recuperação de áreas degradadas e a implementação de práticas que respeitam o equilíbrio dos ecossistemas representam passos significativos em direção à preservação da biodiversidade e à mitigação dos impactos ambientais.

A integração de conceitos de planejamento e sustentabilidade, juntamente com a aplicação de práticas agroecológicas, representa uma abordagem holística que pode gerar resultados positivos em longo prazo, beneficiando tanto a produção agropecuária quanto a saúde dos ecossistemas. Essa abordagem continuou a fornecer uma base sólida para todos aqueles que buscam promover a recuperação de áreas degradadas e a adoção de práticas mais sustentáveis em suas atividades agropecuárias e de planejamento ambiental. A proposta persiste em reunir informações essenciais para contribuir com um futuro mais sustentável.

Este terceiro volume é composto por dez (10) capítulos que abordam os seguintes temas:

- ✓ **Avaliação de impactos ambientais: definições, glossário e conceitos;**
- ✓ **Avaliação de impactos ambientais: histórico e procedimentos;**
- ✓ **Conservação e recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP);**

- ✓ **Recuperação de áreas degradadas da cafeicultura sob manejo de sistema agroflorestal;**
- ✓ **Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): alternativa agroecológica para recuperação biológica dos solos degradados;**
- ✓ **A relevância da matéria orgânica para a manutenção da qualidade solo;**
- ✓ **Impactos ambientais sobre a biodiversidade do solo decorrentes do uso do fogo: agroecologia e técnicas de produção sustentáveis;**
- ✓ **Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração;**
- ✓ **Sistemas Agroflorestais em Áreas de Preservação Permanente;**
- ✓ **A agrofloresta como forma de recuperação e educação ambiental no município de Castelo, Espírito Santo.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad3/>

O **Volume IV** segue a mesma finalidade dos volumes anteriores, concentrando informações essenciais para o desenvolvimento de conceitos relacionados à "Recuperação de Áreas Degradadas" (RAD) e à condução sustentável das atividades produtivas por meio da adoção de práticas agroecológicas de conservação. Isso reflete um compromisso constante com a promoção de abordagens responsáveis em relação ao meio ambiente e à agricultura.

A busca por coerência ao longo dos volumes demonstra um esforço contínuo para estabelecer uma base sólida de conhecimento e orientação, o que é altamente benéfico para aqueles envolvidos na área de recuperação de áreas degradadas e na busca por práticas agrícolas mais sustentáveis. A abordagem integrada que une o planejamento com as práticas agroecológicas é fundamental para alcançar resultados positivos em longo prazo, assegurando não apenas a

produtividade, mas também a saúde dos ecossistemas e a preservação da biodiversidade.

Foi composto por dez (10) capítulos que exploram os seguintes tópicos:

- ✓ **Ação da poluição nos sistemas ambientais;**
- ✓ **A trajetória da educação ambiental no Brasil e a reciclagem no município de Alegre – ES;**
- ✓ **Agroecologia como meio para a sustentabilidade da agricultura familiar;**
- ✓ **Fatores bióticos na recuperação de áreas degradadas: ação da flora e da fauna;**
- ✓ **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas;**
- ✓ **Sistemas agroflorestais e consórcios na cultura do café;**
- ✓ **Hortas urbanas agroecológicas;**
- ✓ **Recursos genéticos do feijão (*Phaseolus* spp.);**
- ✓ **Desenvolvimento de mudas de couve da Geórgia (*Brassica oleracea* var. *Acephala*) sob diferentes concentrações de biofertilizante;**
- ✓ **Plantas alimentícias não convencionais: sustentabilidade e diversidade no sistema de produção de base agroecológica.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad4/>

O **Volume V** se empenhou em destacar a extrema relevância de dar ênfase à restauração de áreas degradadas, uma preocupação que absolutamente não pode ser subestimada. Em um cenário atual marcado por desafios ambientais cada vez mais intrincados, a busca por soluções sustentáveis é uma necessidade premente.

O esforço conjunto de toda a equipe tem o potencial de causar um impacto genuíno nesse campo, contribuindo para uma transformação nas práticas de agricultura e planejamento, direcionando-as para uma abordagem mais

consciente e responsável em relação ao meio ambiente. Isso, por sua vez, contribuirá para um futuro mais promissor, no qual a harmonia entre as atividades humanas e a natureza possa ser alcançada de maneira efetiva.

Foi composto por dez (10) capítulos, abordando os seguintes temas:

- ✓ **A evolução dos movimentos ambientais e o surgimento da AIA;**
- ✓ **Ações de proteção do solo: mitigação de impactos ambientais no meio rural;**
- ✓ **Agroecologia aplicada aos procedimentos de recuperação de áreas degradadas;**
- ✓ **Compostagem como prática interdisciplinar da Educação Ambiental e Agroecologia;**
- ✓ **Abordagens conservacionistas para prevenção e recuperação da degradação do solo e da água por erosão hídrica;**
- ✓ **Controle biológico na soja no sul do Maranhão;**
- ✓ **Resíduos agrícolas da pecuária leiteira;**
- ✓ **Métodos agroecológicos alternativos para o controle de formigas cortadeiras;**
- ✓ **Levantamento e planejamento conservacionista de pequena propriedade rural no município de Caiana, MG, Brasil;**
- ✓ **Degradação de pastagens: estudo de caso dos procedimentos de recuperação no Município de Atílio Vivácqua, ES.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad5/>

O **Volume VI** concentrou-se firmemente em ressaltar a extrema importância de priorizar a restauração de áreas degradadas, uma questão que não pode, de forma alguma, ser subestimada. Em um contexto atual caracterizado por desafios ambientais cada vez mais complexos, a busca por soluções sustentáveis é imperativa.

O esforço conjunto de toda a equipe possui o potencial de gerar um impacto

autêntico nesse domínio, contribuindo para a transformação das práticas de agricultura e planejamento, direcionando-as para uma abordagem mais consciente e responsável em relação ao meio ambiente. Isso, por sua vez, irá contribuir para um futuro mais promissor, onde a harmonia entre as atividades humanas e a natureza possa ser alcançada de maneira eficaz.

Foi composto por dez (10) capítulos, abordando os seguintes temas:

- ✓ **A dispersão natural de sementes com enfoque em síndromes zoocóricas;**
- ✓ **Revegetação, matéria orgânica e a sustentabilidade nos procedimentos de recuperação de solos degradados;**
- ✓ **Estratégias de recuperação de áreas degradadas;**
- ✓ **Identificação e caracterização dos riscos à degradação ambiental de microbacias hidrográficas em assentamentos de reforma agrária por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério: uma proposta;**
- ✓ **Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na indústria e na agricultura;**
- ✓ **Potencial de óleos essenciais de espécies nativas no controle de *Fusarium verticillioides* em sementes de milho;**
- ✓ **Produção de mudas do café sob diferentes teores de composto orgânico;**
- ✓ **Levantamento socioeconômico e experiências agroecológicas das mulheres ribeirinhas nos quintais da Ilha Saracá, Limoeiro do Ajuru, estado do Pará;**
- ✓ **Abordagem gerencial para o desenvolvimento da agricultura familiar com base no sistema de produção agroecológica;**
- ✓ **Extensão rural - acesso à informação e ao livre mercado.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad6/>

O Volume VII destaca a prioridade de restaurar áreas degradadas como uma solução essencial para os desafios ambientais atuais. O trabalho conjunto da equipe pode impulsionar práticas agrícolas mais conscientes, promovendo uma relação harmoniosa entre atividades humanas e natureza, em direção a um futuro sustentável.

Foi composto por dez (10) capítulos, abordando os seguintes temas:

- ✓ **A degradação dos biomas brasileiros e o papel ecológico das abelhas nativas na regeneração natural**
- ✓ **Utilização de plantas de crescimento espontâneo e alimentícias não convencionais como estratégia de atração à fauna de abelhas em cultivos de café**
- ✓ **Externalidades e impactos ambientais negativos: fator antrópico, capital natural e práticas agroecológicas mitigadoras**
- ✓ **Meliponicultura, educação ambiental e recuperação de áreas degradadas: sustentabilidade no município de Muniz Freire, ES**
- ✓ **Produção de madeira, sequestro de carbono, SAFs e fomento florestal**
- ✓ **Importância das unidades de conservação como prática de preservação e educação ambiental no ensino escolar**
- ✓ **Desafios agroecológicos da produção sucroalcooleira pós-Revolução Verde**
- ✓ **Cultivo de batata-doce irrigada com águas residuárias tratada em pequenas propriedades rurais no semiárido**
- ✓ **Agricultura 4.0: Agroecologia 5.0?**
- ✓ **Pluriatividade no novo rural brasileiro e o papel da agroecologia.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad7/>

O Volume VIII ressalta a importância da restauração de áreas degradadas como uma resposta fundamental aos desafios ambientais contemporâneos. A colaboração da equipe pode fomentar práticas agrícolas mais sustentáveis,

fortalecendo a integração entre a atividade humana e a preservação da natureza para um futuro equilibrado.

O **Volume VIII** é composto também por dez (10) capítulos:

- ✓ **Métodos agroecológicos: abordagens, técnicas e práticas conservacionistas de conservação de água e solo**
- ✓ **Agricultura regenerativa: abordagens, técnicas e práticas conservacionistas de água e solo no Sítio Jaqueira Agroecologia**
- ✓ **Bioteχνologias e procedimentos alternativos na recuperação de pastagens**
- ✓ **Degradação nas pastagens da Zona da Mata Mineira: uso de bioteχνologias e práticas conservacionistas nos procedimentos de recuperação**
- ✓ **Processos de degradação ambiental, demanda por madeira e manejo em florestas plantadas**
- ✓ **A importância do componente arbóreo nos sistemas agroflorestais**
- ✓ **Sistemas silvipastoris: conforto térmico de bovinos leiteiros e recuperação de pastagens degradadas**
- ✓ **Viabilidade econômica da produção agroecológica integrada e sustentável na região do Caparaó Capixaba: programa REFLORESTAR**
- ✓ **Hortas urbanas: desafios e potencialidades para o desenvolvimento sustentável de Cachoeiro de Itapemirim – ES**
- ✓ **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): nutrição, sustentabilidade, agroecologia e recuperação de áreas degradadas**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad8/>

O presente Vol. IX dos “Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas” objetiva promover o conhecimento e a reflexão sobre práticas agrícolas sustentáveis, destacando a importância de ações conscientes e responsáveis na gestão ambiental. Eles buscam proporcionar uma compreensão profunda sobre temas como a restauração de áreas degradadas, a agroecologia, e a integração de soluções para enfrentar os desafios ambientais e socioeconômicos contemporâneos. Além disso, esse IX Vol. visa sensibilizar e capacitar tanto os

profissionais do setor agropecuário quanto o público em geral sobre a necessidade de adotar modelos mais equilibrados e sustentáveis para garantir um futuro mais harmônico entre a produção humana e a preservação ambiental.

O **Volume IX** também é composto por dez (10) capítulos:

O **Capítulo I, Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável**, demonstra que as propostas de desenvolvimento sustentável integram crescimento econômico, justiça social e proteção ambiental, mas enfrentam desafios. Tecnologias verdes, energias renováveis e práticas agroecológicas avançam diante da crise climática e da busca por economias circulares. A agroecologia, ciência voltada à sustentabilidade agrícola, enfrenta obstáculos como transição gradual, necessidade de investimentos, capacitação e mercados restritos. No curto prazo, a queda de produtividade e a instabilidade financeira são desafios para agricultores, agravados por políticas públicas insuficientes e resistência de setores tradicionais. Apesar disso, a agroecologia harmoniza produção, meio ambiente e sociedade, promovendo práticas sustentáveis. Superar desigualdades e políticas inadequadas exige colaboração global e inovação, essenciais para enfrentar a instabilidade ambiental e construir um futuro sustentável.

O **Capítulo II, Controle de plantas espontâneas: práticas para o aperfeiçoamento da produção e sustentabilidade**, sugere que o controle de plantas espontâneas é essencial para manter a produtividade das culturas, já que elas competem por luz, água e nutrientes. O uso de palhada, formada por restos culturais sobre o solo, é uma técnica eficiente que bloqueia a luz solar e dificulta a germinação de plantas daninhas, reduzindo sua proliferação. Além disso, a palhada conserva a umidade do solo e reduz a erosão, desde que o manejo da cobertura vegetal seja bem planejado. As estratégias principais de controle incluem herbicidas, controle mecânico e métodos culturais, como a rotação de culturas. Apesar do uso generalizado de herbicidas, sua aplicação deve ser responsável para evitar resistência em plantas daninhas e minimizar danos ambientais. Abordagens sustentáveis, como o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), combinam diferentes técnicas, reduzindo a dependência de químicos e promovendo a biodiversidade. Um manejo eficaz das plantas espontâneas não só favorece a produtividade das culturas, como também contribui para o uso sustentável do solo e dos recursos naturais.

O **Capítulo III, Homeopatia vegetal: potencial e aplicações no manejo fitossanitário**, discute como o uso de substâncias dinamizadas na agricultura tem ganhado destaque como alternativa no manejo fitossanitário, fundamentando-se nos princípios da homeopatia. Pragas, doenças e distúrbios fisiológicos são vistos não apenas como consequências de agentes externos, mas como reflexos da perda de homeostasia vegetal. Apesar dos resultados promissores em pesquisas e aplicações práticas, os mecanismos de ação dessas substâncias ainda carecem de maior compreensão. Na agricultura, as práticas baseiam-se predominantemente na isopatia, sem a análise detalhada de sintomas típica da homeopatia clássica. No entanto, avanços no entendimento da fisiologia vegetal têm permitido identificar sintomas e respostas semelhantes aos observados em humanos, ampliando o potencial da homeopatia no manejo de culturas. Este estudo revisa trabalhos que abordam o uso de compostos homeopáticos em plantas, contribuindo para a escolha mais precisa de tratamentos.

O Capítulo IV, Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos, demonstra como o controle biológico, baseado no uso de organismos vivos como predadores, parasitoides e patógenos, é uma alternativa agroecológica ao uso de agrotóxicos. Essa prática reduz impactos ambientais, preserva a biodiversidade, evita a resistência de pragas, protege a saúde humana e promove economia para os agricultores. Alinhado aos princípios da agroecologia, fortalece sistemas agrícolas resilientes e sustentáveis. Este capítulo aborda os conceitos, aplicações práticas e benefícios ambientais, sociais e econômicos do controle biológico, destacando-o como solução eficaz para reduzir o uso de agrotóxicos.

O Capítulo V, Conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma: um olhar para o futuro, aponta que os bancos de germoplasma são essenciais para a conservação da biodiversidade, funcionando como reservatórios estratégicos de genes fundamentais à segurança alimentar e à sustentabilidade dos sistemas produtivos. Eles preservam a diversidade genética de plantas, animais e microrganismos, contribuindo para a adaptação às mudanças climáticas, o crescimento populacional e a mitigação da erosão genética. Este capítulo explora a importância desses bancos, seus tipos — como bancos de sementes, tecidos e conservação in situ — e as metodologias utilizadas, destacando seu papel fundamental na construção de sistemas agroecológicos resilientes e na promoção de um futuro sustentável.

O Capítulo VI, Uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos: formas, leis e resultados, demonstra como os resíduos de esgoto, como lodos, representam um desafio ambiental devido à alta taxa de contaminação, mas possuem potencial para aplicação agrícola. Após tratamento adequado, esses materiais podem ser convertidos em biofertilizantes, fornecendo nutrientes e promovendo sustentabilidade, especialmente em sistemas agroflorestais. No entanto, é fundamental atender à legislação e monitorar possíveis substâncias tóxicas e metais pesados. Investimentos em tecnologias e regulamentações são essenciais para garantir segurança e eficiência no uso desses compostos, ampliando sua viabilidade em sistemas agroecológicos.

O Capítulo VII, Reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal como prática agroecológica, mostra uma pesquisa que explora o potencial da *Agave sisalana*, o sisal, com ênfase na reutilização de resíduos sólidos para produzir farinha destinada à alimentação humana, alinhando inovação e sustentabilidade aos princípios da agroecologia. A transformação desses resíduos em biofertilizantes e alimentos reduz desperdícios, mitiga impactos ambientais e promove economia circular, especialmente em regiões semiáridas. Baseada em revisão de literatura científica, a pesquisa avalia a composição nutricional, viabilidade tecnológica e usos da farinha, buscando ampliar a relevância econômica do sisal e fortalecer comunidades rurais por meio de práticas regenerativas e sustentáveis.

O Capítulo VIII, Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na agricultura, identifica que, em 2010, a produção brasileira de rochas ornamentais foi de cerca de 9 milhões de toneladas, caindo para 8 milhões em 2018 devido à desaceleração econômica global. Em 2023, a produção estabilizou-se em torno de 10 milhões de toneladas, com 2,8 milhões destinadas à exportação (queda de 7%) e 7,2 milhões para o mercado interno (aumento de 3%). O granito mantém o Brasil entre os cinco maiores produtores mundiais, representando 5,4% da produção global. Essa grande produção gera resíduos, cujos reaproveitamentos têm sido alvo de pesquisas. Os resíduos de granito contêm 69% de dióxido de silício, 15% de alumínio, 3-5% de potássio, sódio e ferro, e 1-2% de cálcio e magnésio. Estudos indicam que esses resíduos podem ser usados como remineralizadores em práticas de rochagem, oferecendo benefícios ambientais e sociais

ao reduzir impactos, promover a economia circular e fornecer insumos sustentáveis para a agricultura. Além disso, agrega valor às indústrias de rochas ornamentais, transformando resíduos em recursos produtivos.

O Capítulo IX, Impactos ambientais das bitucas de cigarros: redução por meio de reciclagem e compostagem, analisa os impactos ambientais do descarte inadequado de bitucas de cigarro, destacando seu papel como fonte de poluição urbana devido às substâncias tóxicas presentes nos filtros, que contaminam solo e água. A pesquisa propõe a reciclagem e a compostagem como estratégias para mitigar esses impactos. A reciclagem transforma as bitucas em novos produtos, enquanto a compostagem, apesar dos desafios químicos dos filtros, mostra potencial com adaptações adequadas. Além disso, o estudo enfatiza a importância da coleta seletiva e campanhas de conscientização pública para reduzir os danos ambientais. A agroecologia é abordada como guia para a gestão ecológica de resíduos, com princípios aplicados à reciclagem e compostagem, promovendo o fechamento de ciclos de nutrientes. A conclusão aponta que essas soluções sustentáveis reduzem a poluição, promovem a recuperação ambiental e fortalecem práticas sustentáveis.

O Capítulo X, Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda, analisa a adoção de Sistemas Agroflorestais (SAFs) como estratégia eficaz para a recuperação de áreas degradadas e a promoção da biodiversidade, especialmente em um cenário de mudanças climáticas. Os SAFs combinam práticas agrícolas e florestais de forma sinérgica, oferecendo benefícios ambientais, como recuperação do solo, aumento da biodiversidade e sequestro de carbono. Além dos ganhos ecológicos, proporcionam vantagens socioeconômicas, como diversificação da produção e geração de renda para pequenos agricultores. Diante da crise ambiental, os SAFs emergem como solução promissora, com potencial para gerar créditos de carbono e fortalecer economias locais. O capítulo também ressalta sua relevância nas políticas de reflorestamento e recuperação ambiental, posicionando-os como uma alternativa sustentável que integra conservação e desenvolvimento socioeconômico.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad9/>

Nas **Considerações Finais**, destaca-se a necessidade urgente de transformar as ideias e conceitos discutidos ao longo deste trabalho em ações concretas, visando uma mudança real no modelo de produção atual. O modelo agropecuário e urbano-industrial vigente tem sido amplamente criticado por sua insustentabilidade, gerando impactos ambientais e sociais significativos, como a degradação dos solos, a poluição dos recursos hídricos e a crescente desigualdade social. Em face desse cenário, o modelo agroecológico é apresentado como uma alternativa viável e necessária, capaz de promover práticas agrícolas mais equilibradas, sustentáveis e resilientes.

Ao longo dos capítulos, abordaram-se questões críticas sobre os modelos de produção em curso, apontando suas limitações e desafios em termos de sustentabilidade. Espera-se que este trabalho tenha contribuído para uma reflexão mais profunda sobre o papel da agroecologia na construção de sistemas produtivos regenerativos e ecologicamente conscientes. Além disso, a expectativa é que os leitores não apenas compreendam os resultados apresentados, mas também se sintam inspirados a aplicar esses conhecimentos em suas práticas, incentivando a adoção de alternativas mais sustentáveis no campo e na cidade.

Este estudo enfatiza a importância de agir de maneira prática, propondo soluções concretas para os desafios ambientais e sociais globais. O modelo agroecológico surge como uma resposta promissora, capaz de responder a questões como a segurança alimentar, a preservação da biodiversidade e a equidade social, promovendo um desenvolvimento mais justo e sustentável. A mudança no paradigma de produção não é apenas uma necessidade, mas uma urgência para garantir a saúde dos ecossistemas e a qualidade de vida das futuras gerações.

Portanto, este trabalho não se limita a provocar uma reflexão teórica, mas busca inspirar ações transformadoras que possibilitem a construção de um futuro no qual a agricultura e os sistemas alimentares sejam regenerativos, sustentáveis e capazes de fortalecer as comunidades, recuperar os ecossistemas e garantir a segurança alimentar de forma justa e equilibrada. O modelo agroecológico, com seus princípios e práticas, é a chave para essa mudança, representando uma esperança concreta para a criação de sistemas alimentares que respeitem os limites da natureza e promovam o bem-estar coletivo.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, fevereiro de 2025.

Autores

Adriano da Costa Borges

Pós-graduando em Agroecologia e Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santos campus Alegre e Técnico Administrativo em Educação do Ifes campus Cachoeiro. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail:

Aline Marchiori Crespo

Extensionista da INCAPER Cachoeiro do Itapemirim e Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: alinemcrespo@gmail.com

Ana Paula Candido Gabriel Berilli

Professora do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre - ES. E-mail: ana.berilli@ifes.edu.br

Aparecida de Fátima Madella de Oliveira

Professora do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre - ES. E-mail: amadella@ifes.edu.br

Barbara Petri Massariol

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500- 000, Alegre, ES. E-mail: barbarapm98@gmail.com.

Bianca Perciliano Fim

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas, Especialista em Ensino de Ciências e Biologia e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: percilianob@gmail.com

Clarissa Alves de Novaes

Professora do Instituto Federal Sudeste de Minas campus Muriaé. Av. Cel. Monteiro de Castro, 550 - Barra, Muriaé, MG, 36.884-036. E-mail: clarissa.novaes@ifsudestemg.edu.br

Camila Dutra Pimenta

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: camiladutrapimenta@gmail.com

Camilla de Oliveira Souza

Dra. Bolsista do Edital Fapes Nº 02/2024 - Universal Extensão no Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES. E-mail: camilladeoliveirasouza@hotmail.com

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre - ES. E-mail: carlos.oliveira@ifes.edu.br

Daniel Schwan Monteiro de Sousa

Graduando em Técnico em Agricultura em Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) Polo Cachoeiro de Itapemirim, Rua Agripino Oliveira, 60 - Independência, Cachoeiro de Itapemirim - ES, 29.306-500. E-mail: ss.daniel096@gmail.com

Edilara Leandro de Sousa

Pós-graduanda do Programa de Pós-graduação lato sensu em Agroecologia – PPGA Ifes campus de Alegre. Juína/MT, Estrada Comunidade Cristo Rei, Chácara Aricá, linha 6, S/NE-mail: edilarasousa2015@gmail.com

Esteffany Pereira da Silva

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: esteffanypereira067@gmail.com

Evaldo de Paula

Mestre em Agroecologia pelo Instituto Federal do Espírito Santo do Campus de Alegre - Caixa postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: evaldodepaula1969@gmail.com

Felipe da Silva Gomes

Pós-graduado em Agroecologia e Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Sustentabilidade do Instituto Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: felipegomes.engflo@outlook.com

Gabriela Alves de Novaes

Administradora de empresas pela UFV e Especialista em Gestão Estratégica de Pessoas pela Universidade Federal de São João del-Rei. Avenida Bias Fortes, 1122, Centro, Belo Horizonte - MG. CEP: 30.170-014. E-mail: gabianovaes@yahoo.com.br

Gabriela dos Santos Medeiros

Graduada em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, ES. CEP: 29.500-000. E-mail gabsufes@gmail.com

Gilmara da Silva Rangel

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo *campus* de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: rangel.gilmara@gmail.com

Graciandre Pereira Pinto

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo *campus* de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: graciandrepp@gmail.com

Gracieli Lorenzoni Maroto

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: gracieli18@gmail.com

Julia Falqueto Ambrosim

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: juliafalqambro@gmail.com

Hayume Emanuelle Martins Brito

Mestra em Ensino de Química pela UFRJ e Pós-Graduada pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: yumebrito@gmail.com

Larissa Viana Bruneli

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: larissa_bruneli@hotmail.com

Luana Aparecida de Oliveira Rodrigues

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. Rua Emeliana Emery, Centro- nº 128. Guaçuí - ES. CEP: 29560-000. E-mail: luanarodrigues19955@gmail.com

Luana Soares Egidio

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. Rua Emeliana Emery, Centro- nº 128. Guaçuí - ES. CEP: 29560-000. E-mail: luanaegidio81@gmail.com

Maria Alice Brandão Silva

Mestra em Agroecologia pelo Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES. E-mail: alice.gestaoambiental@gmail.com

Maurício Novaes Souza

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: mauricios.novaes@ifes.edu.br

Monique Moreira Moulin

Professora do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre. Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: mmmoulin@ifes.edu.br

Naianni de Sillis Rezende

Graduanda em Bacharelado em Ciências Biológicas no Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: naianni.sr@gmail.com

Oseas de Almeida Lima

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: 90oseas@gmail.com

Otacílio José Passos Rangel

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre - ES. E-mail: otaciliorangel@gmail.com

Otávio Pereira Araujo

Mestre em Agroecologia pelo Instituto Federal do Espírito Santo- Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000. Alegre, ES. E-mail: araujo.otavio1994@gmail.com

Rafael Rodrigo Ferreira de Lima

Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail:

Regiane Carla Bolzan Carvalho

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo *campus* de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.520-000, Alegre, ES. E-mail: regianeCBC@gmail.com

Silvane de Almeida Campos

Doutora em Solos e nutrição de plantas pela UFV e Agroecóloga pelo IFSEMG campus Rio Pomba. Rua Dr. Queiroz, 168. Rio Pomba, MG. CEP: 36.180-000. E-mail: silvaneacampos@yahoo.com.br

Silvia Aline Bérghamo Xavier

Mestranda e Pós-graduada em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: silviaaline.xavier@gmail.com

Telma Machado Oliveira Peluzio

Professora do Instituto Federal do Espírito Santo Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre - ES. E-mail: tmpeluzio@ifes.edu.br.

Thaís de Souza Pastor

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: thaispastor1994@gmail.com

Willian Moreira da Costa

Mestrando e Pós-graduado em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: willianbiologo@hotmail.com

Índice

CAPÍTULO 1..... 45

Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável

Edilara Leandro de Sousa, Maurício Novaes Souza, Telma Machado Oliveira Peluzio, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Clarissa Alves de Novaes, Gabriela Alves de Novaes

CAPÍTULO 2..... 70

Controle de plantas espontâneas: práticas para o aperfeiçoamento da produção e sustentabilidade

Silvane de Almeida Campos, Maurício Novaes Souza, Camila Dutra Pimenta, Edilara Leandro de Sousa, Hayume Emanuelle Martins Brito, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Felipe da Silva Gomes

CAPÍTULO 3..... 91

Homeopatia vegetal: potencial e aplicações no manejo fitossanitário

Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Gilmara da Silva Rangel, Edilara Leandro de Sousa, Hayume Emanuelle Martins Brito, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 4..... 117

Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos

Felipe da Silva Gomes, Barbara Petri Massariol, Bianca Perciliano Fim, Gracieli Lorenzoni, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 5..... 141

Conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma: um olhar para o futuro

Larissa Viana Bruneli, Naianni de Sillis Rezende, Luana Aparecida de Oliveira Rodrigues, Maria Alice Brandão Silva, Evaldo de Paula, Monique Moreira Moulin, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 6 165

Uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos: formas, leis e resultados

Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Maurício Novaes Souza, Thaís de Souza Pastor, Willian Moreira da Costa

CAPÍTULO 7 202

Reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal como prática agroecológica

Rafael Rodrigo Ferreira de Lima, Maurício Novaes Souza, Gilmar da Silva Rangel, Thaís de Souza Pastor

CAPÍTULO 8 228

Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na agricultura

Adriano da Costa Borges, Maurício Novaes Souza, Julia Falqueto Ambrosim, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Camila Dutra Pimenta, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima

CAPÍTULO 9 257

Impactos ambientais das bitucas de cigarros: redução por meio de reciclagem e compostagem

Hayume Emanuelle Martins Brito, Maurício Novaes Souza, Telma Machado Oliveira Peluzio, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Otávio Pereira Araujo

CAPÍTULO 10 291

Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda

Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Gabriela dos Santos Medeiros, Maurício Novaes Souza, Camilla de Oliveira Souza, Otacílio José Passos Rangel, Graciandre Pereira Pinto, Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, Silvia Aline Bérghamo Xavier

CONSIDERAÇÕES FINAIS 318

CAPÍTULO 1

Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável

Edilara Leandro de Sousa, Maurício Novaes Souza, Telma Machado Oliveira Peluzio, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Clarissa Alves de Novaes, Gabriela Alves de Novaes

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c1>

Resumo

As propostas de desenvolvimento sustentável integram crescimento econômico, justiça social e proteção ambiental, mas apresentam desafios. A adoção de tecnologias verdes, energias renováveis e práticas agroecológicas têm avançado, impulsionada pela crise climática e pela busca por economias circulares e redução da pegada ecológica. A mobilização social também cresce com iniciativas colaborativas entre comunidades e governos. A agroecologia, ciência voltada à sustentabilidade agrícola, enfrenta obstáculos como transição gradual, necessidade de investimentos, capacitação e infraestrutura. No curto prazo, pode ocorrer queda de produtividade e instabilidade financeira para agricultores. Mercados restritos para produtos agroecológicos e políticas públicas insuficientes também agravam esses desafios, assim como a resistência de setores tradicionais. Apesar disso, a agroecologia busca harmonizar produção agrícola, meio ambiente e sociedade, promovendo práticas sustentáveis. Superar desigualdades e políticas inadequadas exige colaboração global e inovação, essenciais para enfrentar a instabilidade ambiental e construir um futuro sustentável. O trabalho analisa as potencialidades e desafios da agroecologia, propondo estratégias para uma transição equilibrada a sistemas produtivos sustentáveis.

Palavras-chave: Tecnologias Verdes, Economia Circular, Sustentabilidade, Energias Renováveis, Práticas Agroecológicas, Políticas Públicas, Mobilização Social, Pegada Ecológica.

1. Introdução

A crise agrícola e ecológica que atualmente afeta o mundo reflete o fracasso do paradigma dominante de desenvolvimento, caracterizado pela degradação dos recursos naturais e pela insustentabilidade dos sistemas agrícolas convencionais. Segundo Mollison (1981) e Souza (2024), esses sistemas destroem ecossistemas, esgotam os solos e contribuem para a perda da biodiversidade e a exaustão dos recursos hídricos. As florestas, essenciais para a regulação climática e a formação de solos férteis, também são severamente impactadas, prejudicando os processos naturais que sustentam a vida no planeta. Como apontado por Lapola *et al.* (2023), florestas degradadas perdem sua capacidade de evapotranspiração, comprometendo a regulação climática e a ciclagem de nutrientes essenciais.

No Brasil, Primavesi (2015) destaca a importância de manejar os solos de forma adequada, utilizando tecnologias que respeitem as condições ambientais locais e promovam práticas sustentáveis. Contudo, o acesso a essas inovações é frequentemente limitado para pequenos agricultores, perpetuando desigualdades e dificultando a disseminação do desenvolvimento sustentável (Chambers; Ghildyal, 1985; Louback *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024; Souza, 2024).

Nesse cenário, a agroecologia emerge como uma alternativa viável, integrando princípios ecológicos à produção agrícola. Mais do que garantir a produção de alimentos, a agroecologia busca promover justiça social, preservação ambiental e viabilidade econômica. Altieri (1987) argumenta que os sistemas agroecológicos, ao fortalecerem as interações ecológicas, aumentam a resiliência dos ecossistemas agrícolas, assegurando a sustentabilidade em longo prazo. Essa abordagem está alinhada aos objetivos do desenvolvimento sustentável, que buscam equilibrar os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Este trabalho tem como objetivo discutir os principais desafios enfrentados pelos sistemas agroecológicos, explorando as barreiras que ainda precisam ser superadas para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado em maior escala. A pesquisa analisará a relevância das políticas públicas, o papel da tecnologia e a necessidade de uma transição gradual e eficaz para práticas

agrícolas mais sustentáveis. A análise será embasada em estudos contemporâneos e abordará como a integração de ciência, inovação e saberes tradicionais pode contribuir para a construção de um futuro mais equilibrado e sustentável.

2. Desafios da Agroecologia

Casado e Mielgo (2007), em um levantamento sobre os desafios para a implantação de técnicas agroecológicas na Europa, identificaram barreiras recorrentes em diversas áreas, incluindo os âmbitos social, econômico e ambiental. No entanto, destacaram que um dos obstáculos mais significativos é de ordem política. A falta de apoio governamental e a ausência de políticas públicas específicas para a agroecologia limitam a expansão e o fortalecimento de práticas sustentáveis (Quadro 1).

No Brasil, nas últimas décadas, a agroecologia tem se consolidado como um modelo que integra a produção de alimentos à preservação ambiental, à justiça social e econômica e ao respeito à diversidade cultural. Esse movimento atende à crescente demanda por sistemas agrícolas mais produtivos, sustentáveis e equitativos. O contexto histórico e político do país teve um papel decisivo nesse avanço, posicionando o Brasil como protagonista nas discussões internacionais sobre sustentabilidade.

A agroecologia no Brasil está profundamente enraizada em movimentos sociais que buscam uma agricultura mais justa e sustentável. Organizações como a Articulação Nacional de Agroecologia (ANA) têm desempenhado um papel central, pressionando por políticas públicas que favoreçam a transição para práticas agroecológicas. Essas mobilizações resultaram em importantes iniciativas governamentais, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO). Esses programas fortalecem os pequenos agricultores e incentivam práticas agrícolas sustentáveis, promovendo uma base sólida para a transição rumo a sistemas produtivos mais equilibrados e integrados.

Quadro 1. Os desafios elencados como barreiras à agroecologia.

Barreiras técnicas	Barreiras sociais	Barreiras econômicas e de mercado	Barreiras legais
Desconhecimento técnico: Muitos agricultores não têm acesso suficiente a informações sobre práticas agroecológicas e técnicas de manejo ecológico.	Isolamento e pressão social: Agricultores que adotam práticas agroecológicas podem enfrentar resistência de suas comunidades ou outros produtores, levando ao isolamento.	Dificuldades de comercialização: Há uma demanda limitada por produtos ecológicos nos mercados internos, e o acesso a esses produtos pode ser difícil, com poucos pontos de venda e preços elevados.	Falta de proteção contra contaminação: Agricultores ecológicos enfrentam desafios como a contaminação difusa de produtos químicos e organismos geneticamente modificados de fazendas vizinhas, o que compromete a pureza de suas produções.
Falta de referências de práticas: A aplicação de soluções agroecológicas em condições específicas de cada região muitas vezes carece de referências adequadas, o que dificulta a implementação.	Falta de apoio organizacional: A ausência de suporte de cooperativas, associações de agricultores e outras estruturas organizacionais dificulta a adoção de práticas agroecológicas.	Concorrência desleal: A pressão de grandes corporações e multinacionais no controle do mercado de insumos e alimentos coloca a agricultura ecológica em desvantagem.	Impedimentos no registro de variedades tradicionais: As regras para o registro e comercialização de sementes e variedades tradicionais dificultam o uso de espécies mais adaptadas às práticas agroecológicas.
	Falta de referências de práticas: A aplicação de soluções agroecológicas em condições específicas de cada região muitas vezes carece de referências adequadas, o que dificulta a implementação.		

Fonte: Adaptado de Casado e Mielgo, 2007.

Caporal e Costabeber (2000) destacam que a transição para sistemas agroecológicos vai além da adoção de novas tecnologias: ela demanda transformações profundas no modelo de produção, consumo e organização do trabalho agrícola. Esse processo exige políticas públicas de incentivo, apoio técnico e um ambiente institucional que favoreça a pesquisa e a inovação em agroecologia.

As universidades brasileiras têm desempenhado um papel fundamental no avanço desse campo, tanto por meio de pesquisas científicas quanto na formação de profissionais qualificados. Até o final de 2013, 136 cursos estavam em funcionamento em diferentes níveis, incluindo técnico, graduação e pós-graduação (Balla; Massukado; Pimentel, 2014). Esses cursos, especialmente na região Nordeste, abrangem desde práticas agroecológicas até seus impactos socioeconômicos e ambientais.

A colaboração entre centros de pesquisa, movimentos sociais e agricultores tem impulsionado soluções inovadoras, adaptando práticas tradicionais às demandas contemporâneas. Um exemplo dessa integração é o 18º volume dos Anais do III Seminário Nacional de Educação em Agroecologia (2023), que reúne 56 experiências de educação formal no campo da agroecologia.

Altieri (1999) reforça que a agroecologia deve ser entendida como uma ciência interdisciplinar, combinando ecologia, agronomia, sociologia e economia em uma abordagem sistêmica para a agricultura sustentável. Sua proposta enfatiza a importância de aumentar a biodiversidade nas propriedades, melhorar a qualidade do solo e reduzir a dependência de insumos externos. Primavesi (2014) complementa, destacando que, embora os solos tropicais sejam naturalmente menos férteis que os temperados, seu potencial produtivo é superior quando manejados adequadamente com matéria orgânica.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são exemplos de práticas que promovem a sustentabilidade, integrando árvores, culturas agrícolas e, ocasionalmente, animais (Figura 1). Steenbock, Vezzani e Leme (2023) explicam que essas práticas potencializam processos ecológicos e promovem a biodiversidade.



Figura 1. Sistema agroflorestal. Fonte: <https://matadovale.com.br/os-sistemas-agroflorestais-safs/>, 2022.

Os SAFs integram agricultura e floresta, aperfeiçoando a produção no campo. Inspirados na regeneração natural das florestas, os SAFs combinam espécies vegetais de diferentes fases de sucessão e estratos (baixo, médio, alto e emergente), como árvores frutíferas, leguminosas, tubérculos e árvores produtoras de madeira (Corrêa Neto *et al.*, 2016).

De acordo com esses mesmos autores, o mogno africano, por exemplo, atua como árvore de clímax, fornecendo cobertura de solo durante seu crescimento e oferecendo madeira valiosa ao final de seu ciclo. Os SAFs promovem biodiversidade, proteção do solo, redução de custos com adubação e controle de pragas, além de gerar lucro diversificado, tornando-se uma solução sustentável e economicamente viável para o campo.

No entanto, Coelho (2012) alerta que o desenvolvimento desses sistemas exige uma abordagem multifocal e não linear, tornando a pesquisa desafiadora. Ele critica ainda que muitos debates sobre agroecologia sejam pautados por premissas idealistas, nem sempre alinhadas à prática.

O papel do Brasil no cenário internacional também é significativo. Sediando eventos globais como a Rio-92 e a Rio+20, o país implementou políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável, como o **Plano Nacional de Recursos Hídricos** e a **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Programas como o **Bolsa Verde**, que incentiva famílias em áreas de

conservação, ilustram a tentativa de conciliar proteção ambiental e inclusão social. Além disso, o Brasil teve um papel central na aprovação de documentos como a **Agenda 21** e a **Convenção sobre Diversidade Biológica**, reafirmando seu compromisso com a sustentabilidade global.

Segundo Costabeber (1998) e Caporal e Costabeber (2000), a transição agroecológica é um processo multidimensional que envolve avanços técnicos, sociais e éticos. Isso requer inovação, pesquisa e o envolvimento de diversos setores da sociedade, apoiados por políticas públicas robustas.

Apesar dos avanços, a agroecologia no Brasil enfrenta desafios significativos, como a expansão do agronegócio em larga escala e a pressão por práticas intensivas baseadas em insumos químicos, que frequentemente resultam em degradação ambiental. Entretanto, o fortalecimento das políticas públicas e a crescente conscientização social sobre a necessidade de uma produção mais sustentável oferecem uma base sólida para a continuidade desse processo (Louback *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024).

Estudos recentes, como os de Cohen *et al.* (2013), Louback *et al.* (2023) e Silva *et al.* (2024), discutem a adaptação da agricultura às mudanças climáticas, destacando que sistemas agroecológicos são particularmente resilientes diante de crises climáticas. Ao promover maior biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais, a agroecologia se apresenta como uma resposta não apenas às demandas sociais e ambientais, mas também aos desafios impostos pela crise climática.

Portanto, a agroecologia no Brasil oferece uma oportunidade única de construir um modelo de desenvolvimento sustentável, que integra tecnologia, conhecimento científico, justiça social e preservação ambiental. Para alcançar essa transição, será necessário fortalecer políticas públicas, ampliar investimentos em pesquisa e inovação e garantir a participação ativa de movimentos sociais e produtores rurais, em um processo contínuo de aprendizado e adaptação.

2. Perspectivas da Agroecologia

A Agroecologia é uma ciência que oferece princípios ecológicos para estudar e manejar ecossistemas produtivos e de preservação, promovendo práticas que sejam culturalmente sensíveis, socialmente justas e economicamente viáveis. Dessa forma, busca criar agroecossistemas sustentáveis, integrando a conservação dos recursos naturais com a produção agrícola (Figura 2).



Figura 2. Multiplicação de cágados em risco de extinção em lagoa às margens do rio Arapiuns, afluente do rio Tapajós, Santarém, Pará. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2022.

A Agroecologia, regida por princípios básicos e éticos, promove práticas agrícolas sustentáveis focadas na produção de alimentos de qualidade em harmonia com o ecossistema, valorizando a biodiversidade. Destaca-se pelo envolvimento comunitário em decisões sobre o uso da terra e inclusão social nas práticas agrícolas (Figura 3).

Diretamente alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a agroecologia fortalece a segurança alimentar e aumenta a renda das comunidades rurais ao reduzir o uso de agrotóxicos, promovendo uma alimentação mais saudável. Além disso, incentiva a educação comunitária e a troca de saberes, aprimora a gestão dos recursos hídricos por meio de técnicas de conservação e gera empregos sustentáveis. Essa abordagem também

desempenha um papel fundamental na proteção e restauração de ecossistemas, contribuindo significativamente para a preservação da biodiversidade (Gomes *et al.*, 2020).



Figura 3. Propriedade agroecológica no município de Atílio Vivácqua, ES: visita de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

3. Relação com os objetivos de desenvolvimento sustentável

Bertoni e Neto (2010) ressaltam que a evolução social da sociedade moderna está cada vez mais vinculada à dependência dos recursos naturais. Nesse contexto, alertam que, sem uma proteção eficaz das terras cultiváveis, será inevitável enfrentar uma escassez considerável desses recursos. Em paralelo, a transição agroecológica no Brasil emerge como uma iniciativa para transformar o modelo agrícola convencional, promovendo práticas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis (Schmitt, 2009). Esse movimento tem evidenciado um crescimento significativo no número de agricultores preparados para adotar práticas agroecológicas.

Enquanto ciência, a agroecologia estuda os sistemas agroalimentares, promovendo o desenvolvimento sustentável com foco na resiliência ecológica, na viabilidade econômica e na justiça social (Gliessman, 2015). Santos e Vestena (2024), em uma revisão sistemática, identificaram uma ampla gama de

serviços ecossistêmicos proporcionados pela agroecologia, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Serviços Ecossistêmicos prestados pela agroecologia

Serviços de provisão	Serviços de regulação	Serviços de suporte:	Serviços culturais:
Alimentos: A produção de alimentos de forma sustentável é um dos principais benefícios dos sistemas agroecológicos. Água: A gestão sustentável da água em agroecossistemas contribui para a disponibilidade de água potável. Recursos medicinais: Plantas medicinais são preservadas e cultivadas em sistemas agroecológicos.	Regulação da qualidade do solo: A agroecologia melhora a fertilidade e previne a erosão dos solos. Regulação da água: A adoção de práticas agroecológicas contribui para a purificação da água e a manutenção dos ciclos hidrológicos. Sequestro de carbono: Sistemas agroflorestais e práticas agrícolas regenerativas promovem o sequestro e armazenamento de carbono, ajudando a mitigar as mudanças climáticas. Controle de pragas e doenças: A diversidade biológica em agroecossistemas atua como um agente natural de controle de pragas e doenças.	Ciclagem de nutrientes: A agroecologia promove a ciclagem eficiente de nutrientes, mantendo a saúde e a produtividade dos ecossistemas agrícolas.	Interações sociais e culturais: A agroecologia valoriza o conhecimento tradicional e promove a reconexão das comunidades com a terra, fortalecendo práticas sustentáveis e a segurança alimentar local.

Fonte: Adaptado de Santos e Vestena, 2024.

Complementarmente, Costa e Sguarezi (2023) sustentam que a agroecologia está diretamente relacionada a vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando-se principalmente os seguintes (Quadro 3):

Quadro 3. Objetivos do Desenvolvimento sustentável

Objetivos do Desenvolvimento sustentável mais relacionados à agroecologia de acordo com Costa e Sguarezi (2023).			
ODS 2: Fome Zero e Agricultura Sustentável	ODS 6: Água Potável e Saneamento	ODS 12: Consumo e Produção Responsáveis –	ODS 15: Vida Terrestre

Fonte: Adaptado de Costa e Sguarezi, 2023.

Santos e Vestena (2024) também destacam a relevância do ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), que busca fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

A transição agroecológica é, sem dúvida, um processo complexo, exigindo um diálogo contínuo entre os saberes da população local. Outro aspecto fundamental é a adaptação dessas mudanças, que implicam em uma transformação significativa do modelo convencional, marcado pelo uso de insumos sintéticos e pela pressão midiática em favor do modelo tecnológico estabelecido desde a Revolução Verde. Nesse contexto, o conhecimento compartilhado entre as comunidades emerge como um princípio essencial da agroecologia, especialmente em sua dimensão social (Laranjeira *et al.*, 2019).

De acordo com Gliessman (2001), a transição de sistemas convencionais para sistemas agroecológicos baseia-se em seis princípios fundamentais:

- ✓ **Diversidade:** Promover a biodiversidade em culturas e sistemas de cultivo, aumentando a resiliência e a produtividade.
- ✓ **Integração:** Combinar práticas e componentes, como a rotação de culturas e a integração de animais, para otimizar o uso de recursos.

- ✓ **Manejo de Nutrientes:** Adotar adubação orgânica e práticas de ciclagem de nutrientes para melhorar a fertilidade do solo.
- ✓ **Conservação de Água:** Implantar técnicas que garantam o uso sustentável e eficiente da água.
- ✓ **Participação Comunitária:** Envolver comunidades locais no planejamento e na gestão, valorizando conhecimentos tradicionais e atendendo às suas necessidades.
- ✓ **Manejo de Pragas:** Utilizar métodos de controle biológico e práticas preventivas para reduzir a dependência de agrotóxicos

Para Souza e Resende (2014), os resultados de uma revisão integrativa apontaram as fases da transição agroecológica como um processo gradual de transformação dos agroecossistemas (Figura 4). Essas fases foram associadas a pesquisas que exploram suas interconexões, destacando sua importância e papel no contexto da agroecologia. É relevante observar que essas fases podem ocorrer simultaneamente ou de forma independente, dependendo do dinamismo interno de cada agroecossistema. Pelo seu pioneirismo, este material pode ser considerado uma referência essencial, uma vez que não foram encontrados outros estudos que detalhassem, de maneira tão abrangente, os diversos processos envolvidos na conversão para sistemas agroecológicos. Esses autores possuem uma abordagem mais focada na praticidade do processo.



Figura 4. Roteiro geral para o início do processo de transição agroecológica.

Fonte: Souza e Resende, 2014.

4. Tecnologia no desenvolvimento sustentável

O uso de tecnologias desempenha um papel fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável, oferecendo soluções para os desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados globalmente. A integração dessas tecnologias abrange diversas áreas e práticas inovadoras (Silva *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024):

✓ **Fontes de Energia Renovável:** a adoção de tecnologias que utilizam fontes renováveis, como energia solar, eólica e biomassa, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

✓ **Agricultura de Precisão:** com o uso de *drones* e sensores avançados, é possível monitorar as culturas de forma precisa, reduzindo o desperdício de insumos como fertilizantes e defensivos agrícolas. Essa prática não apenas melhora a eficiência dos recursos, mas também aumenta a produtividade e reduz impactos ambientais, como a contaminação de solos e águas.

✓ **Agricultura Vertical:** tecnologias de cultivo em ambientes controlados, como estufas verticais, aperfeiçoam o uso do espaço e permitem a produção em áreas urbanas, diminuindo a necessidade de transporte e reduzindo a pegada de carbono associada à logística alimentar. Além disso, essas práticas possibilitam a produção contínua e sustentável de alimentos em regiões com restrições de terra ou clima.

✓ **Gestão da Água:** Sistemas inteligentes para o monitoramento da umidade do solo e irrigação eficiente ajudam a economizar água, recurso vital cada vez mais escasso. Tecnologias como sensores de solo, irrigação por gotejamento e sistemas automatizados garantem a aplicação precisa de água, aumentando a produtividade agrícola e evitando o desperdício.

✓ **Reciclagem e Economia Circular:** Tecnologias que tornam os processos de coleta, separação e reciclagem mais eficientes contribuem para a economia circular, reduzindo a geração de resíduos e promovendo a reutilização de materiais. Isso não apenas diminui a pressão sobre recursos naturais, mas também fomenta novas cadeias de valor e oportunidades econômicas.

A sinergia entre essas inovações, quando utilizada de forma consciente e integrada, é essencial para a construção de um futuro sustentável. Além de mitigar os impactos e externalidades ambientais, essas tecnologias incentivam a inclusão social e o fortalecimento econômico das comunidades, demonstrando que o progresso tecnológico pode e deve estar alinhado com os princípios da sustentabilidade.

5. Princípios do desenvolvimento sustentável

A definição de desenvolvimento sustentável, proposta pela Comissão de Brundtland em 1987, enfatiza a necessidade de atender às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. Essa visão, apresentada pela então primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland, se tornou um marco para os debates sobre sustentabilidade global. Conforme ela expressou, o desenvolvimento sustentável não é apenas uma questão de satisfazer as necessidades imediatas, mas também de garantir que os recursos essenciais para a sobrevivência sejam preservados para as futuras gerações (Brundtland *apud* Estender; Pitta, 2008).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) amplia essa definição, considerando o desenvolvimento sustentável como a melhoria da qualidade de vida humana, dentro dos limites dos ecossistemas e respeitando a capacidade de suporte do planeta. Isso envolve práticas que atendam às necessidades atuais, mas de forma responsável, evitando o esgotamento dos recursos naturais. O uso sustentável dos recursos renováveis é fundamental para garantir que os mesmos possam se regenerar e continuar a fornecer benefícios às próximas gerações.

Dentro dessa abordagem, os princípios do desenvolvimento sustentável, conforme delineados pelo PNUMA, são essenciais para guiar as ações e políticas globais. Estes princípios incluem:

✓ **Respeito e cuidado com a comunidade dos seres vivos:** Um compromisso com a biodiversidade e com todas as formas de vida no planeta, reconhecendo sua interdependência.

- ✓ **Melhoria da qualidade de vida humana:** Melhorar as condições de vida, promovendo bem-estar social e econômico sem prejudicar o meio ambiente.
- ✓ **Conservação da vitalidade e diversidade do planeta Terra:** Proteger os ecossistemas e a biodiversidade, fundamentais para o equilíbrio ambiental e para a manutenção dos serviços ecológicos.
- ✓ **Minimizar o esgotamento de recursos não-renováveis:** Evitar o consumo excessivo e destrutivo de recursos naturais limitados, promovendo alternativas renováveis e sustentáveis.
- ✓ **Permanecer dentro dos limites de capacidade de suporte do planeta Terra:** Agir de forma que as atividades humanas não ultrapassem a capacidade regenerativa dos ecossistemas.
- ✓ **Modificar atitudes e práticas pessoais:** Estimular mudanças de comportamento em nível individual e coletivo para práticas mais sustentáveis.
- ✓ **Permitir que as comunidades cuidem de seu próprio ambiente:** Valorizar o conhecimento local e promover a autonomia das comunidades na gestão ambiental.
- ✓ **Gerar uma estrutura nacional para a integração de desenvolvimento e conservação:** Criar políticas públicas que integrem o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental.
- ✓ **Constituir uma aliança global:** Fomentar a colaboração entre governos, organizações internacionais, setor privado e sociedade civil para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável.

Esses princípios fornecem um quadro que interliga todas as metas do Desenvolvimento Sustentável, ressaltando a necessidade de um equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e conservação ambiental. O cumprimento desses princípios é vital para garantir um futuro sustentável e equitativo para todos os habitantes do planeta.

6. A crise climática e o desenvolvimento sustentável

A crise climática tem se configurado como um dos maiores desafios globais do século XXI, impactando diretamente o desenvolvimento sustentável. Esse

fenômeno afeta diversos aspectos vitais, incluindo a disponibilidade de recursos naturais essenciais como água, solo e biodiversidade. A escassez de água e a degradação do solo, em particular, comprometem a agricultura, a pesca e a silvicultura — atividades fundamentais para a segurança alimentar global. Quando esses setores são impactados, as perdas econômicas se tornam expressivas, exacerbando a pobreza, especialmente nas comunidades mais vulneráveis e dependentes dessas atividades (Oliveira, 2021).

Além disso, as mudanças climáticas também têm gerado consequências diretas sobre a saúde humana, contribuindo para a disseminação de doenças, problemas respiratórios e insegurança alimentar. Esses efeitos negativos impõem uma pressão crescente sobre os sistemas de saúde e comprometem o bem-estar das populações mais afetadas. A crise climática, portanto, não é um fenômeno isolado, mas uma série de eventos interligados que exigem respostas coordenadas e urgentes para garantir a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à água potável, saúde, segurança alimentar e a redução das desigualdades.

Como ressaltado por Oliveira (2021), a mitigação e adaptação às mudanças climáticas são essenciais para alcançar esses objetivos e garantir um futuro mais resiliente e sustentável. A água, considerada por Rachel Carson (2010) como um dos recursos naturais mais preciosos, tem sofrido sérios impactos devido à crise ambiental. Em seu livro *Primavera Silenciosa*, Carson chama a atenção para a vulnerabilidade da água doce potável, que, além de ser cada vez mais escassa, enfrenta crescentes ameaças de contaminação.

Embora a Terra tenha abundância de água, grande parte dessa água é salgada ou imprópria para consumo humano e atividades agrícolas, devido à alta concentração de sais marinhos. A escassez de água doce potável é ainda mais agravada pela poluição, proveniente principalmente do uso indiscriminado de defensivos agrícolas e do descarte inadequado de resíduos industriais e domésticos. Esses fatores comprometem não apenas os estoques de água potável, mas também a qualidade da água disponível para a agricultura, a indústria e o consumo humano, aumentando o risco de escassez hídrica global.

Esse contexto reforça a necessidade de estratégias de gestão da água mais eficientes, baseadas no uso sustentável e na recuperação dos

ecossistemas hídricos. Além disso, é urgente a adoção de tecnologias que minimizem o desperdício de água, como a agricultura de precisão, e a implementação de políticas públicas voltadas para a proteção dos corpos hídricos e o uso responsável dos recursos naturais.

7. Desafios para alcançar o desenvolvimento sustentável

O atual modelo de crescimento econômico global gerou uma série de desequilíbrios profundos. Embora nunca tenha havido tanta riqueza e fartura no mundo, também nunca houve tanta miséria, degradação ambiental e poluição. Esse contraste evidencia a urgência de se buscar formas de desenvolvimento mais equilibradas, que consigam conciliar a prosperidade econômica com a preservação ambiental, ao mesmo tempo em que combatem a pobreza global. Nesse contexto, surge o conceito de desenvolvimento sustentável, que busca integrar esses aspectos de maneira a garantir o bem-estar das gerações atuais e futuras (Figura 5).

Como destaca Leonel (1998), a degradação ambiental deve ser entendida como um processo social, no qual os danos ecológicos não são eventos isolados, mas consequências diretas das interações sociais e das ações humanas sobre o meio ambiente. A partir dessa perspectiva, as questões ambientais não podem ser dissociadas das estruturas sociais, econômicas e políticas que as moldam. Portanto, qualquer ação voltada para a sustentabilidade deve considerar essas relações complexas, buscando soluções que integrem a recuperação ecológica e a justiça social.

A agroecologia, por sua vez, surge como uma alternativa viável para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), enfrentando diversos desafios ao longo de sua implementação. Dentre esses desafios, destacam-se as mudanças climáticas, que com o aumento da temperatura global e eventos climáticos extremos, impactam ecossistemas e atividades econômicas, como a agricultura e a pesca. A desigualdade social, que se manifesta na disparidade no acesso a recursos e oportunidades, também impede a inclusão de comunidades de baixa renda no desenvolvimento sustentável (Louback *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024).



Figura 5. Objetivos do desenvolvimento sustentável. Fonte: <https://www.uninter.com/noticias/os-compromissos-da-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>.

De acordo com Louback *et al.* (2023) e Silva *et al.* (2024), a escassez de recursos naturais, como água, solo fértil e biodiversidade, limitam as opções de desenvolvimento e coloca em risco a segurança alimentar. O crescimento populacional, que exerce uma pressão crescente sobre os recursos naturais e as infraestruturas, também é uma preocupação constante. Além disso, a dependência de combustíveis fósseis e a resistência à transição para energias renováveis impõem desafios técnicos e econômicos, enquanto as políticas públicas inadequadas podem comprometer a eficácia das iniciativas sustentáveis.

Nesse contexto, a Educação Ambiental tem se mostrado um instrumento fundamental para a construção de um futuro sustentável. Surgindo e se transformando ao longo dos anos, a Educação Ambiental se propõe a ajudar na

resolução dos desafios ambientais, promovendo uma abordagem pedagógica abrangente e participativa. Ela visa atingir toda a população, estabelecendo uma consciência crítica sobre os problemas ambientais contemporâneos e promovendo comportamentos responsáveis. O objetivo é desenvolver uma educação que não apenas informe, mas que capacite os indivíduos a compreenderem as complexidades dos problemas ambientais e a se engajarem ativamente na busca por soluções sustentáveis (Figura 6).



Figura 6. Propriedade agroecológica no município de Atílio Vivácqua, ES - visita de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre: momento lúdico de Educação Ambiental. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

8. Considerações

A agroecologia enfrenta desafios e oportunidades significativas na busca por um desenvolvimento sustentável que seja socialmente justo, economicamente viável e ambientalmente responsável. Entre os principais desafios estão o acesso à terra, a capacitação adequada sobre o desenvolvimento sustentável e agroecologia, as dificuldades de inserção de seus produtos no mercado, a degradação da biodiversidade e a escassez de recursos financeiros. Para superar esses obstáculos, é fundamental que a agroecologia seja promovida por meio de políticas públicas eficazes, financiamentos sustentáveis e ações coletivas que integrem os saberes científicos, tradicionais e as práticas locais de forma harmônica.

O desenvolvimento de modelos financeiros sustentáveis e políticas de incentivo são fundamentais para garantir a viabilidade econômica dos sistemas agroecológicos. O acesso a créditos e a assistência técnica, aliados a programas de subsídios para práticas sustentáveis, pode proporcionar um impulso essencial para o fortalecimento da agroecologia, garantindo que os produtores possam aplicar tecnologias verdes e manter a produtividade. Além disso, a promoção de práticas de conservação da biodiversidade e manejo sustentável, como o uso de Sistemas Agroflorestais (SAFs), pode contribuir diretamente para a recuperação de ecossistemas degradados, ao mesmo tempo em que sustenta a produção agrícola de maneira resiliente e integrada.

A agroecologia requer uma abordagem transdisciplinar que una o conhecimento científico com os saberes tradicionais das comunidades locais. A capacitação contínua dos agricultores em práticas sustentáveis e agroecológicas, por meio de estratégias inovadoras de educação ambiental, é uma das principais ferramentas para a transformação dos sistemas produtivos. Como evidenciado em projetos como o "Crescer e Multiplicar", o trabalho colaborativo entre moradores, técnicos e pesquisadores permite a adaptação de tecnologias inovadoras e a implantação de práticas que ajudam na recuperação de áreas degradadas e na promoção da sustentabilidade.

A educação ambiental e a capacitação são, portanto, fundamentais para o desenvolvimento de uma sociedade mais consciente e engajada na preservação dos recursos naturais e na adoção de práticas agroecológicas. A utilização de sistemas de produção que integram a preservação da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais, como o cultivo de café orgânico, pode se tornar um modelo de boas práticas para outras regiões e atividades produtivas.

Embora o conceito de desenvolvimento sustentável tenha uma aplicação global, sua implementação precisa ser adaptada às realidades locais. Cada região enfrenta desafios distintos em relação ao clima, biodiversidade e cultura, e as soluções sustentáveis devem ser ajustadas de acordo com essas particularidades. Isso significa que as políticas públicas precisam ser sensíveis às necessidades locais, garantindo que os recursos e conhecimentos estejam disponíveis de forma acessível e eficaz.

A agroecologia, nesse contexto, se apresenta como uma alternativa viável para a agricultura familiar, promovendo uma economia mais inclusiva e justa. Valorizar o pequeno produtor e fortalecer redes de comercialização justa e sustentável são aspectos essenciais para a criação de vínculos mais fortes entre a produção rural e o consumo local. No entanto, para que esses avanços se consolidem, é necessário que haja um esforço contínuo de participação coletiva e aprendizagem constante, de modo a fortalecer as práticas agroecológicas e garantir um desenvolvimento equilibrado entre as necessidades humanas e a preservação ambiental.

As políticas públicas desempenham um papel fundamental no apoio à adoção de práticas agroecológicas e no fortalecimento da sustentabilidade ambiental. Incentivos governamentais, programas de capacitação para agricultores, subsídios para tecnologias limpas e proteção legal para áreas de preservação são algumas das estratégias que podem criar um ambiente favorável à transição para sistemas agroecológicos. A implantação de políticas públicas integradas deve ser baseada em uma visão sistêmica, que considere as interações entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos de cada região.

É essencial também garantir a inclusão social das comunidades locais, proporcionando a elas a oportunidade de se tornarem agentes ativos no processo de desenvolvimento sustentável. O fortalecimento da agricultura familiar, por meio da capacitação e da criação de mercados justos, permitirá que essas comunidades enfrentem os desafios da escassez de recursos e da degradação ambiental de forma mais resiliente.

Decerto, a agroecologia oferece uma resposta robusta aos desafios do desenvolvimento sustentável, ao promover práticas agrícolas que respeitam o meio ambiente, as pessoas e as comunidades. No entanto, a transição para sistemas agroecológicos enfrenta barreiras complexas que exigem uma ação coordenada entre políticas públicas, investimentos financeiros, educação ambiental e colaboração entre diferentes atores sociais. O fortalecimento da agricultura familiar, a promoção de práticas de conservação da biodiversidade, a adaptação às novas tecnologias e o uso sustentável dos recursos naturais são fundamentais para o avanço de um futuro mais sustentável.

A adoção de uma visão sistêmica e a integração de todos os elementos discutidos — educação, políticas públicas, inovação tecnológica e inclusão social — permitirão que a agroecologia se consolide como uma estratégia eficaz para a promoção de um desenvolvimento que seja sustentável tanto no âmbito local quanto global. O compromisso coletivo e a aprendizagem contínua serão os pilares que sustentarão a construção de uma sociedade mais equilibrada e em harmonia com o meio ambiente.

9. Referências

ABA. Associação Brasileira de Agroecologia. **Anais... III Seminário Nacional de Educação em Agroecologia** - Construindo caminhos para o fortalecimento dos territórios de Bem Viver, Castanhal, PA. v. 18, n. 1, 2023. Disponível em: <<https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/issue/view/13>>.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. São Paulo: Editora Expressão Popular; AS-PTA, 2012.

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: The Science of Sustainable Agriculture. CRC Press. 1999.

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: The Scientific Basis of Alternative Agriculture. CRC Press. 1987.

ARTAXO P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados** [Internet]. v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. Available from: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>

BALLA, J, V, Q.; MASSUKADO, L, M.; PIMENTEL, V. C. Panorama dos cursos de agroecologia no Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Brasília/DF: ISSN: 1980-9735. v. 9, n. 2, p. 3-14, 2014.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. 7ª Edição, São Paulo, Ícone, 2010.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: Alguns Conceitos e Princípios. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 10-22, 2000.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia**: Uma Ciência do Campo da Complexidade. UFRGS. 2000.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. 1. ed. São Paulo, Gaia, 2010.

CASADO, G. I.; MIELGO, A. M. A. **La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable**. 2007. DOI: 10.7818/RE.2014.16-1.00

CHAMBERS, R.; GHILDYAL, B. P. Agricultural Research for Resource-poor Farmers: The Farmer-first-and-last Model. **Agricultural Administration**, v. 20, n. 1, p. 1-30, 1985.

COELHO, G. C. **Sistemas agroflorestais**. São Carlos. RIMA editora, 2012.

COHEN, M. J.; TIRADO, C.; ABERMAN, N-L.; THOMPSON, B.; CATTANEO, A. Climate Change and Agriculture: Impacts and Adaptation. **Annual Review of Environment and Resources**, n. 38, p. 283-307, 2013.

CORRÊA NETO, N. E.; MESSERSCHMIDT, N. M.; STEENBOCK, W.; MONNERAT, P. F. **Agroflorestando o mundo de facão a trator**. Petrobrás Ambiental: Barra do Turvo. 2016. Disponível: <https://matadovale.com.br/os-sistemas-agroflorestais-safs/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

COSTA, C. R. F.; SGUAREZI, S. B. Agroecologia e ODS: há um caminho convergente entre a prática e a Agenda 2030? **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 434-451. DOI: <https://doi.org/10.33240/rba.v18i1.23719> 2023.

COSTABEBER, J. A. **Acción colectiva y procesos de transición agroecológica en Rio Grande do Sul, Brasil**. Córdoba, 1998. 422p. (Tese de Doutorado) Programa de Doctorado en Agroecología, Campesinado e Historia, ISECETSIAN, Universidad de Córdoba, España, 1998.

COSTABEBER, J. A.; MOYANO, E. Transição agroecológica e ação social coletiva. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.1, n.4, p.50-60, out./dez. 2000.

DIAS, G. F. **Educação ambiental: princípios e práticas**. 6ª ed. São Paulo: Editora Gaia, 2000.

ESTENDER, A. C.; PITTA, T. T. M. **O conceito do desenvolvimento sustentável**. 22 p. 2008.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems**. 3rd Edition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.

GOMES, M. F.; OLIVEIRA BARBOSA, E. H. de; SANTOS OLIVEIRA, I. G. dos Desenvolvimento sustentável, agenda 2030 e sua adoção no Brasil: superação das desigualdades. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 42164-42175, 2020.

LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, n. 379, p. eabp8622, 2023. DOI:10.1126/science.abp8622

LARANJEIRA, N. P.; CARCELLE, S. J. A.; MIRANDA, D.; SÁ, T. D. A.; TRENTTO, L. G.; SOUZA, T. S.; CARDOSO, I. M. Para uma ecologia de saberes: trajetória da construção do conhecimento agroecológico na associação brasileira de agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 2, p.65-79, 2019. <https://doi.org/10.33240/rba.v14i2.22959>.

LEONEL, M. **A morte social dos rios**. São Paulo: Instituto de Antropologia e Meio Ambiente: Fapesp, 1998.

LEONEL, F. A. **Desenvolvimento e sustentabilidade: reflexões sobre o processo de degradação ambiental**. São Paulo: Editora Universitária, 1998.

LOUBACK, A. F. *et al.* Desafios e oportunidades na transição para um desenvolvimento sustentável. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 45, n. 3, p. 238-254, 2023.

MOLLISON, B. **Introdução à permacultura - Panfletos da Série Curso de Design em Permacultura publicado por** Yankee Permaculture - Centro de Permacultura Barking Frogs, Editado a partir das transcrições do Curso de Design em Permacultura The Rural Education Center, Wilton NH USA, 1981. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204099?show=full>. Acesso em: 26 mar. 2024.

OLIVEIRA, G. S. de. **O El Niño e Você - o fenômeno climático**. São José dos Campos: Editora Transtec, 2001.

OLIVEIRA, P. **A crise climática e seus impactos no desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Ambiental, 2021.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Programa das Nações Unidas para o meio ambiente (PNUMA)**. 2013. Disponível em: <https://www.iis-rio.org/temas/desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 26 set. 2024.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pragas e doenças: técnicas alternativas de produção agropecuária e defesa do meio ambiente**. 2º edição, São Paulo: Expressão popular, 2016.

PRIMAVESI, A. **Pergunte ao solo e as raízes: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia**. 1ª Edição, São Paulo, Nobel, 2014.

SANTOS, R. A. A. dos; VESTENA, L. R. A agroecologia e os serviços ecossistêmicos no contexto latino americano: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 19, n. 3, p. 353-370, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33240/rba.v19i3.53881>.

SCHMITT, C. J. Transição agroecológica e desenvolvimento rural: um olhar a partir da experiência brasileira. In: SAUER, S.; BALESTRO, M. V. (Org.). **Agroecologia e os desafios da transição agroecológica**. São Paulo: Expressão popular, 2009.

SILVA, M. A. P. da; CASSA, N.; EGÍDIO, L. S.; GONÇALVES, M. M.; MENON, M. M.; DOMINGOS, E. L.; VARDIERO, L. G. G.; SOUZA, M. N. Métodos agroecológicos: abordagens, técnicas e práticas conservacionistas de conservação de água e solo. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VIII. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 42-67. ISBN: 978-65-84548-25-1. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-25-1.c1>

SILVA, M. J. *et al.* Agroecologia e sustentabilidade: superando os desafios globais. **Journal of Environmental Sciences**, v. 56, p. 112-130, 2024

SOUZA, J. D.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2014.

SOUZA, M. N.; MENDONÇA, R. L. de P. D.; BIGHI, A. R.; LOPES, A. C.; NOVAES, G. A. de; NOVAES, C. A. de. Sistemas de administração da produção e tecnologias apropriadas: agroecologia e sustentabilidade socioambiental. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. II. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 37-67. ISBN: 978-65-84548-23-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c1>

STEENBOCK, W.; VEZZANI, F. B. LEME. C. **Agrofloresta**. Aprendendo a produzir com a Natureza. 2º Edição Bambual. 2023.

TOLEDO, V. M. The Ecological Rationality of Peasant Production. In: **Agroecology and Small Farm Development**, p. 53-60. CRC Press. 1990.

CAPÍTULO 2

Controle de plantas espontâneas: práticas para o aperfeiçoamento da produção e sustentabilidade

Silvane de Almeida Campos, Maurício Novaes Souza, Camila Dutra Pimenta, Edilara Leandro de Sousa, Hayume Emanuelle Martins Brito, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Felipe da Silva Gomes

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c2>

Resumo

O controle de plantas espontâneas é fundamental para garantir a produtividade das culturas, uma vez que essas plantas competem por luz, água e nutrientes com as culturas. A utilização de palhada (restos culturais sobre o solo) é uma técnica eficiente, pois bloqueia a luz solar e dificulta a germinação das plantas daninhas, reduzindo sua proliferação. Para potencializar esse efeito e assegurar benefícios como conservação da umidade e redução da erosão, é fundamental planejar adequadamente o manejo da cobertura vegetal. As principais estratégias de controle incluem o uso de herbicidas, controle mecânico e métodos culturais, como a rotação de culturas. Embora os herbicidas sejam amplamente utilizados, sua aplicação deve ser feita de maneira responsável para evitar a resistência das plantas espontâneas/daninhas e minimizar os impactos ambientais. Técnicas sustentáveis, como o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), que combina abordagens diversas, reduzem a dependência de produtos químicos, promovendo a biodiversidade e a eficiência no manejo em longo prazo. O controle eficaz das plantas espontâneas favorece a produtividade e contribui para um manejo mais sustentável do solo e dos recursos naturais.

Palavras-chave: Controle de plantas daninhas. Palhada. Manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). Sustentabilidade. Rotação de culturas.

1. Introdução

Métodos de controle de plantas espontâneas referem-se a estratégias e técnicas adotadas para gerenciar ou eliminar plantas que surgem de forma não planejada em áreas agrícolas, jardins ou paisagens naturais. Essas plantas, muitas vezes chamadas de "ervas daninhas", "plantas invasoras" ou "plantas espontâneas", competem com as culturas agrícolas por recursos como luz, água e nutrientes, podendo prejudicar o crescimento e a produtividade das plantas desejadas.

Nos últimos anos, o sistema de plantio direto (SPD), que combina técnicas de cultivo e controle de plantas espontâneas, tem experimentado uma expansão significativa no Brasil. De 2006 a 2017, a área de SPD no Brasil aumentou 84,9%, de 17,9 para 33,0 milhões de hectares (Fuentes-Llanillo *et al.*, 2021). Essa prática agrícola é amplamente reconhecida por seus benefícios, como a conservação de recursos naturais, a preservação da biodiversidade do solo, o aumento da produtividade das culturas e a mitigação do aquecimento global, devido ao sequestro de carbono (Guareschi; Pereira; Debiasi, 2020).

Contudo, para que o plantio direto seja implementado de forma eficaz, é necessário um gerenciamento criterioso, especialmente em relação ao controle de plantas daninhas. A taxa de emergência das espécies presentes no banco de sementes do solo é um fator determinante na avaliação das necessidades de controle, devendo ser analisada no contexto específico de cada sistema de manejo (Silva *et al.*, 2020).

O controle eficaz de plantas daninhas exige a integração de métodos variados. Um planejamento adequado, que inclua a rotação de culturas, é indispensável para a viabilidade econômica e ecológica do sistema (Rizzardi, Marchesan; Andrade, 2021). A ausência de revolvimento do solo, característica essencial do SPD, altera significativamente a dinâmica populacional das plantas daninhas, o que resulta em mudanças na composição da comunidade infestante ao longo do tempo (Debiasi; Franchini; León, 2020). Essas alterações não se limitam às características biológicas das espécies, mas também abrangem aspectos ecológicos, influenciados diretamente pelas práticas de manejo adotadas (Silva *et al.*, 2020b).

Um conceito central nesse contexto é o de banco de sementes, definido como a reserva de sementes viáveis no solo, capazes de germinar e substituir plantas adultas (Debiasi; Franchini; León, 2020). A densidade de sementes de plantas daninhas na camada superficial do solo pode variar amplamente, chegando a até 7.000 sementes por metro quadrado em diferentes agroecossistemas (Ferreira *et al.*, 2023). A germinabilidade dessas sementes também apresenta variabilidade entre espécies. Por exemplo, sementes de *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa* apresentam alta taxa de germinação e podem se esgotar em poucos anos, enquanto espécies como a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) permanecem viáveis por até quatro décadas (Silva; Silva; Carvalho, 2022).

Embora o SPD apresente vantagens significativas em termos de sustentabilidade e produtividade, o controle inadequado de plantas daninhas pode comprometer esses benefícios. A presença de plantas daninhas pode acarretar perdas operacionais na colheita, aumento dos custos de produção e prejuízos à produtividade devido à interferência direta com as culturas (Carvalho; Nicolai; Christoffoleti, 2020). Essas plantas também atuam como hospedeiras de pragas, doenças e patógenos, aumentando os desafios de manejo (Santos; Ferreira; Pereira, 2022).

O controle eficiente das plantas daninhas deve ser iniciado antes da instalação da cultura ou, preferencialmente, na safra anterior. Isso é essencial para minimizar os impactos sobre o ciclo produtivo e garantir a eficiência do SPD. A integração de práticas como o monitoramento do banco de sementes, o uso de herbicidas em doses adequadas e a rotação de culturas são estratégias fundamentais para reduzir a interferência das plantas daninhas e aperfeiçoar os resultados econômicos e ambientais desse sistema (Alvino; Costa; Moreira, 2020).

Assim, embora o SPD represente um avanço significativo na agricultura brasileira, sua eficácia depende de estratégias de manejo integradas e de um controle adequado das plantas daninhas, considerando as especificidades biológicas e ecológicas de cada área cultivada. A implantação criteriosa dessas práticas é essencial para maximizar os benefícios econômicos, sociais e ambientais desse sistema de produção.

O período crítico de prevenção à interferência (PCPI) é aquele em que, desde o plantio ou a emergência, as plantas daninhas devem ser controladas de forma eficiente para evitar perdas quantitativas e qualitativas na produção (Silva *et al.*, 2015). O controle deve ser realizado durante todo esse período, sendo fundamental conhecer o momento ideal para iniciar as práticas de manejo da vegetação indesejada (Carvalho *et al.*, 2009).

No sistema de plantio direto (SPD), a maior concentração de sementes de plantas daninhas se encontra próxima à superfície do solo. Ao longo do tempo, ocorre um decréscimo do banco de sementes devido à indução de germinação ou perda de viabilidade, associado às alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de modificações na penetração de luz, umidade e temperatura. A cobertura morta exerce papel fundamental, funcionando como barreira física à emergência de plantas daninhas e, ao se decompor, podendo liberar substâncias alelopáticas que inibem a germinação das sementes invasoras (Cobucci *et al.*, 2004).

A utilização de plantas de cobertura é essencial para o sucesso do SPD, especialmente em sistemas orgânicos de produção (Queiroz *et al.*, 2010). Contudo, a adaptação do SPD às normas de produção orgânica representa um desafio significativo para pesquisadores, extensionistas e agricultores. No SPD orgânico, o uso de herbicidas é proibido, de acordo com as diretrizes da produção orgânica, e não existem dessecantes aprovados para esse sistema (Corrêa *et al.*, 2011). O controle de plantas daninhas, portanto, permanece como o principal entrave técnico para a adoção do SPD em sistemas orgânicos (Fontanétti *et al.*, 2006; Debiasi; Franchini; León, 2020).

Nos sistemas convencionais, o plantio direto se baseia em monoculturas e no uso de herbicidas para a dessecação da cultura de sucessão e o controle de plantas daninhas (Altieri *et al.*, 2011; Debiasi; Franchini; León, 2020). Para o manejo eficiente, o cultivo de plantas de cobertura durante a entressafra torna-se essencial. Essas culturas devem apresentar alta produção de matéria seca, capacidade de sombreamento e inibição do desenvolvimento das plantas daninhas. A eficiência da cobertura depende de fatores como quantidade e tipo de resíduo aplicado, além da biologia das espécies envolvidas (Fontanétti *et al.*, 2006; Crespo *et al.*, 2020) (Figura 1).

As plantas de cobertura vêm recebendo destaque em pesquisas devido ao seu potencial no controle de plantas daninhas, principalmente nas fases iniciais das culturas, e por promoverem aumento da matéria orgânica no solo (Veronese *et al.*, 2012). A supressão das plantas daninhas está associada a fatores físicos, químicos e biológicos proporcionados pela presença da palhada. Dentre as culturas de cobertura, a aveia preta é amplamente utilizada devido à sua elevada capacidade de cobertura do solo (Silva *et al.*, 2009; Silva; Silva; Carvalho, 2022).



Figura 1. Manejo das plantas de cobertura com roçadeira costal motorizada aos 82 dias - plantio direto de milho-verde sobre diferentes plantas de cobertura de verão no sistema orgânico de produção. Fonte: Crespo *et al.*, 2020.

O uso isolado de métodos de controle raramente é suficiente para um manejo eficaz de plantas daninhas. O manejo integrado, quando aplicado corretamente ao sistema de produção, proporciona maior eficiência e sustentabilidade no controle dessas espécies. Dessa forma, a adoção de práticas integradas e o uso de plantas de cobertura são estratégias fundamentais para mitigar os danos causados pelas plantas daninhas no SPD.

2. Métodos de controle de plantas espontâneas ou daninhas

O controle de plantas daninhas consiste em técnicas e estratégias destinadas a minimizar ou eliminar a competição dessas plantas com as culturas agrícolas. Essas espécies competem por recursos essenciais, como água, luz e

nutrientes, além de servirem como abrigo para pragas e doenças, comprometendo a produtividade das lavouras.

Os métodos de controle podem ser classificados em categorias principais: preventivo, cultural, mecânico, físico, biológico, choque elétrico e químico. Cada abordagem apresenta vantagens e limitações, e sua aplicação deve considerar a cultura cultivada, as condições ambientais e as práticas de manejo adotadas na área (Monquero, 2014; Vargas; Roman, 2012). Breve discussão sobre cada um desses métodos.

✓ Controle preventivo

O controle preventivo de plantas daninhas é uma abordagem fundamental na agricultura, com o objetivo de evitar a introdução, o estabelecimento ou a propagação de espécies invasoras em áreas ainda não infestadas. Isso envolve uma série de práticas eficazes que visam minimizar o risco de contaminação das lavouras e proteger as culturas agrícolas de competidores indesejados (Martins *et al.*, 2022; Ferrari *et al.*, 2023).

Uma das práticas mais comuns é o uso de sementes de alta pureza e vigor, que assegura que as plantas cultivadas não carreguem sementes de plantas daninhas. Além disso, a limpeza de equipamentos de preparo do solo é essencial para prevenir o transporte de sementes de uma área infestada para uma área limpa. A utilização de mudas livres de plantas daninhas também desempenha papel fundamental na prevenção de infestações (Silva *et al.*, 2020b; Martins *et al.*, 2022; Ferrari *et al.*, 2023).

O uso de material orgânico de boa qualidade isenta de propágulos de espécies problemáticas é outro ponto importante. Isso inclui a inspeção rigorosa de resíduos vegetais, como palhada e composto, que podem servir como veículos para a disseminação de sementes de plantas daninhas. A limpeza de canais de irrigação também é uma prática essencial, pois esses locais podem acumular sementes de plantas daninhas que são dispersas durante o processo de irrigação (Cobucci *et al.*, 2004; Alvino *et al.*, 2011; Silva, 2020; Martins *et al.*, 2022; Ferrari *et al.*, 2023).

Para esses mesmos autores, o controle das populações de plantas daninhas na entressafra é igualmente relevante, evitando que elas se estabeleçam e se propaguem durante o período de descanso das culturas. Além disso, a fiscalização rigorosa de campos de produção de sementes é necessária para garantir que o material utilizado não esteja contaminado com sementes indesejáveis. Essas ações preventivas ajudam a evitar a introdução de novas espécies e reduzem a necessidade de controles mais invasivos no futuro.

O uso de cobertura vegetal e a utilização de barreiras físicas, como o *mulching* (cobertura morta) com palha ou outros materiais orgânicos, são técnicas eficazes para limitar o crescimento de plantas invasoras, ao reduzir a incidência de luz solar sobre o solo (Figura 2). Além disso, essas barreiras contribuem para a conservação da umidade, favorecendo o desenvolvimento das culturas cultivadas (Crespo; Souza, 2022).



Figura 2. *Mulching* diminui o uso de água e a infestação de plantas espontâneas na cultura do café. Crédito ElectroPlastic. Fonte: <https://revistacampoenegocios.com.br/mulching-diminui-o-uso-de-agua-no-cafe/>, 2022.

Também, a rotação de culturas, que envolve a alternância de espécies plantadas em uma mesma área, dificultando a adaptação e a proliferação de plantas daninhas específicas. Essa prática aproveita as diferentes características das culturas, como sombreamento e exigências nutricionais, para inibir a sobrevivência de espécies invasoras. Além disso, a rotação contribui para

o manejo sustentável do solo, promovendo sua saúde, beneficiando as culturas e diminuindo a dependência de herbicidas (Martins *et al.*, 2022; Ferrari *et al.*, 2023).

A prática do plantio direto, por si só, por manter o solo continuamente coberto, reduz significativamente a incidência de plantas daninhas, pois a camada de cobertura sobre o solo cria condições menos favoráveis para o crescimento dessas espécies. Além disso, o sistema promove um controle mais natural e sustentável das ervas invasoras, alinhando produtividade e conservação ambiental.

Combinadas, essas práticas de controle preventivo proporcionam uma abordagem sustentável e de longo prazo para o manejo de plantas daninhas, além de reduzir a dependência de herbicidas e outros insumos químicos (Crespo; Souza, 2022; Martins *et al.*, 2022; Ferrari *et al.*, 2023).

✓ **Controle cultural**

O controle cultural de plantas daninhas é uma abordagem que visa utilizar práticas relacionadas ao manejo da própria cultura para inibir o crescimento e a propagação das plantas daninhas, favorecendo o desenvolvimento das culturas desejadas. Essa estratégia é eficaz, pois, ao manipular as condições de cultivo, é possível reduzir a competitividade das plantas daninhas por recursos essenciais como luz, água e nutrientes (Carvalho, 2013, Silva *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023).

Entre as práticas de controle cultural mais adotadas, destaca-se o uso de cultivares mais competitivas, que são capazes de crescer de maneira vigorosa, dificultando o estabelecimento e o crescimento das plantas daninhas. O espaçamento mais estreito e a maior densidade de plantio também contribuem significativamente para a competição com as plantas daninhas, ao criar uma cobertura mais densa, que limita a quantidade de luz disponível para as plantas daninhas, inibindo sua germinação e crescimento (Oliveira *et al.*, 2022; Pereira, 2023).

Além disso, o uso de sistemas de cultivo distintos, como a rotação de culturas, é uma estratégia importante no controle das plantas daninhas, pois

impede que as espécies daninhas se adaptem a um único tipo de cultivo e favorece a diversidade biológica. O uso de plantas de cobertura, também conhecidas como plantas "intercalares", é outra prática eficiente, pois essas plantas competem diretamente com as daninhas, oferecendo sombra e alterando as condições físicas, químicas e biológicas do solo de forma a inibir a germinação e o crescimento das plantas daninhas (Carvalho, 2013; Pereira, 2023). Além disso, podem gerar renda extra para os produtores.



Figura 3. Cultivo de soja como cultura intercalar em lavoura de café. Fonte: Café Point, 2023.

Essas práticas culturais são complementares a outros métodos de controle e são fundamentais para a sustentabilidade agrícola, pois não dependem do uso de herbicidas e ajudam a manter o equilíbrio ecológico dos sistemas agrícolas. Além disso, elas proporcionam uma redução nos custos de produção e promovem a preservação da biodiversidade e da saúde do solo (Martins *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022; Pereira, 2023).

✓ **Controle mecânico**

O controle mecânico de plantas daninhas se baseia no uso de instrumentos que cortam ou removem essas espécies, sendo uma prática viável em diversas situações, especialmente em lavouras perenes para o manejo de coberturas vegetais. Entre as principais técnicas, destacam-se a capina

mecânica tratorizada, a roçagem com roçadeiras elétricas ou motorizadas, roçadeiras tratorizadas e o uso de implementos como o rolo-faca. A roçagem pode ser realizada manualmente ou de forma mecanizada, utilizando implementos acoplados a tratores (Carvalho, 2013).

No cultivo do café, o controle mecânico de plantas daninhas nas entrelinhas do cafezal exige a disponibilidade de máquinas e implementos adequados, além de condições favoráveis, como entrelinhas amplas e terrenos planos ou com declividade inferior a 25%. Na linha da cultura, o controle ocorre frequentemente pelo enterro de pequenas plântulas, resultado do deslocamento do solo durante a passagem dos implementos. Esse método, seja como alternativa ou complemento a outras práticas, oferece maior eficiência operacional e economia, especialmente em grandes áreas de cultivo.

Para a execução dessa técnica, é possível utilizar microtratores, tratores de bitola estreita ou modelos específicos para cafezais, que operam implementos como cultivadoras, roçadoras e trinchas. No entanto, esses equipamentos apresentam custo elevado e demandam mão de obra especializada, o que pode dificultar sua adoção em alguns contextos (Figura 4).



Figura 4. Controle das plantas espontâneas nas entrelinhas da lavoura do café com roçadeira mecânica. Fonte: Revista Cultivar, 2023.

Um exemplo inovador no início do século XXI era a roçadeira articulada, que possui seis linhas compostas por pequenas roçadeiras com três facas cada, projetadas para eliminar plantas daninhas exclusivamente nas entrelinhas das

culturas. Esse equipamento, desenvolvido pela Embrapa Soja, foi concebido para avaliar alternativas de manejo de plantas daninhas no sistema de semeadura direta da soja (Brighenti *et al.*, 2007b).

✓ Controle físico

O controle físico de plantas daninhas envolve práticas que exercem influência direta sobre essas espécies, destacando-se o uso do fogo, geralmente aplicado com lança-chamas. Essa técnica, embora antiga e de uso limitado no Brasil, foi amplamente utilizada no cultivo de algodão e tem ganhado relevância entre agricultores orgânicos, especialmente na Europa (Carvalho, 2013; Martins *et al.*, 2021).



Figura 5. Trator “lança-chamas” controla ervas daninhas sem a necessidade de produtos químicos. Fonte: <https://engenhariae.com.br/>, 2023.

Outra prática importante é a utilização de cobertura morta, composta por palha ou resíduos vegetais, que exerce três efeitos principais sobre as plantas daninhas. O efeito físico consiste no impedimento da germinação das sementes devido à limitação da absorção de luz, especialmente em sementes fotoblásticas positivas. Além disso, a cobertura morta pode dificultar a emergência das plântulas ao impedir que estas atravessem a camada de palha depositada sobre o solo (Carvalho, 2013; Silva *et al.*, 2020).

✓ Controle biológico

O controle biológico das plantas daninhas por meio de coberturas vegetais atua de forma indireta, melhorando as condições do solo e favorecendo o desenvolvimento de microrganismos que desempenham papel fundamental na quebra da dormência de sementes de plantas daninhas. Além disso, esses microrganismos podem auxiliar na deterioração das sementes, tornando o ambiente mais hostil à germinação (Carvalho, 2013).



Figura 6. Potencial do nematoide *Ditylenchus gallaeformans* ao biocontrole de plantas daninhas. Fonte: <https://nematologia.com.br/>, 2024.

Um dos efeitos mais destacados das coberturas vegetais é o efeito alelopático, em que plantas que produzem compostos bioativos podem inibir o crescimento das plantas daninhas. Esses compostos alelopáticos têm a capacidade de suprimir a germinação ou até mesmo matar as plantas daninhas sensíveis, oferecendo uma estratégia adicional de controle. Este efeito tem se tornado um foco crescente de pesquisa, pois pode reduzir a dependência de herbicidas, especialmente em sistemas de produção mais sustentáveis e na agricultura orgânica (Santos *et al.*, 2017).

Além do controle direto sobre as plantas daninhas, as coberturas vegetais também influenciam a dinâmica do solo, promovendo um ambiente mais equilibrado para a biodiversidade microbiana, o que pode aumentar a resistência do solo às invasões de plantas indesejáveis. Esse conjunto de efeitos – biológico,

físico e alelopático – torna as coberturas vegetais uma das práticas mais eficazes e ecologicamente sustentáveis no manejo de plantas daninhas (Veronese *et al.*, 2020).

✓ Controle por choque elétrico

O controle elétrico de plantas daninhas é uma tecnologia inovadora e promissora que utiliza eletricidade gerada por equipamentos acoplados à tomada de força do trator para eliminar as espécies indesejadas. O funcionamento desse sistema baseia-se na aplicação de descargas elétricas nas plantas daninhas, provocando danos irreversíveis à sua fisiologia, como a murcha e morte das plantas em um curto espaço de tempo. Esse tipo de manejo tem sido testado como uma alternativa ao uso de herbicidas, sendo considerada uma prática mais sustentável em sistemas agrícolas, especialmente em contextos onde a agricultura orgânica ou a redução de produtos químicos é uma prioridade (Brighenti *et al.*, 2007b; Moraes *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2022).

O equipamento é projetado com campânulas de aplicação dispostas em uma barra, montada perpendicularmente à parte central do trator. Esse arranjo permite ao operador realizar o balizamento de maneira precisa, garantindo que a aplicação da descarga elétrica seja eficaz nas entrelinhas das culturas. Como resultado, as plantas daninhas são atingidas de forma localizada, minimizando o impacto nas plantas cultivadas e permitindo uma integração harmoniosa com o sistema de semeadura direta, em que o solo não é revolvido, mantendo sua estrutura e os benefícios ambientais da prática (Moraes *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2022) (Figura 7).

Além disso, o uso da eletricidade como método de controle oferece vantagens significativas, como a eliminação da dependência de herbicidas, a redução do impacto ambiental e a possibilidade de controle em diferentes condições climáticas e de solo. Esse controle direcionado permite também que as plantas cultivadas não sejam afetadas pela aplicação elétrica, uma característica importante quando se considera a preservação das culturas (Martins *et al.*, 2022).

Contudo, apesar das promessas, o controle elétrico ainda é uma tecnologia em desenvolvimento e precisa ser mais amplamente estudado e validado em diferentes condições agrícolas. Pesquisas continuam sendo realizadas para avaliar a eficiência do sistema em diversos tipos de cultivo, como soja, milho, arroz, entre outros, além de investigar a viabilidade econômica da adoção desse método em larga escala. A evolução dessa tecnologia poderá representar uma revolução na agricultura sustentável, tornando-a mais precisa, menos dependente de insumos químicos e mais eficiente na gestão das plantas daninhas (Moraes *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2022).



Figura 7. Equipamento da Crop.Zone: uma das principais empresas de capina elétrica. Fonte: <https://neofeed.com.br/>, 2024.

Contudo, é importante considerar que, em um contexto de busca por práticas sustentáveis, as pesquisas voltadas para a eletrocussão de plantas espontâneas merecem maior incentivo e atenção.

✓ Controle químico

O controle químico de plantas daninhas baseia-se no uso de herbicidas, produtos químicos desenvolvidos para matar ou inibir o crescimento dessas plantas invasoras. Com a evolução de novos compostos e a adoção do controle químico como o principal método, atualmente, quase 50% dos defensivos agrícolas comercializados são herbicidas. A ampla aceitação do uso de

herbicidas se deve a vários fatores, como a redução da dependência de mão de obra, que se torna cada vez mais cara e escassa, a rapidez e eficiência no controle de plantas daninhas, mesmo durante épocas chuvosas, a capacidade de aplicação diretamente na linha de plantio sem prejudicar o sistema radicular das culturas e a possibilidade de controlar plantas daninhas de reprodução vegetativa (Silva; Silva, 2007) (Figura 8).



Figura 8. Controle químico de plantas espontâneas. Fonte: <https://www.forseedsementes.com.br/>, 2024.

Apesar de sua eficácia, o controle químico idealmente deve ser utilizado como um método auxiliar, complementando outras práticas de manejo. Nos principais cultivos agrícolas, especialmente os de grande escala, os herbicidas têm se tornado o método predominante para o controle de plantas daninhas, principalmente em áreas de plantio direto. Entre os herbicidas mais usados destacam-se o glifosato e o sulfosato, que atuam por intermédio da translocação pelo xilema e floema, atingindo todas as partes da planta. Esses produtos apresentam baixa persistência no solo devido à forte adsorção pelas partículas de argila e matéria orgânica, o que limita sua disponibilidade para absorção pelas raízes e reduz o impacto ambiental, pois se degradam rapidamente (Cobucci *et al.*, 2004; Carvalho, 2013).

Para esses mesmos autores, visando garantir a eficácia dos herbicidas, é importante considerar fatores externos como o tipo de solo, o teor de água no solo, a umidade relativa do ar, a temperatura e os ventos, além da tecnologia de

aplicação, que desempenha um papel fundamental na eficiência do controle químico. A aplicação dos herbicidas deve ser feita quando as plantas daninhas estiverem em pleno desenvolvimento e apresentarem boa cobertura vegetal. É recomendado evitar a aplicação durante períodos de estresse nas plantas, como deficiência hídrica ou baixas temperaturas. Além disso, a aplicação deve ser realizada com volumes de calda inferiores a 50 L ha⁻¹ para reduzir o escoamento e otimizar a absorção. Deve-se também evitar o uso de herbicidas quando houver previsão de chuva em menos de seis horas após a aplicação.

De acordo com esses mesmos autores, a combinação de Paraquat e Diuron é uma estratégia eficaz, pois a absorção simultânea dos dois herbicidas inibe a ação rápida do Paraquat, proporcionando maior controle das plantas daninhas. No caso do uso do 2,4-D para dessecação, é fundamental observar o período de carência para a semeadura da cultura subsequente, evitando prejuízos à cultura plantada.

Contudo, há de se considerar, que o uso de herbicidas tem gerado impactos e externalidades ambientais e sociais significativos. A aplicação indiscriminada pode levar à contaminação do solo, da água e do ar, afetando ecossistemas e a saúde humana. Além disso, o uso excessivo contribui para o desenvolvimento de resistência em plantas daninhas, tornando o controle mais difícil e exigindo doses maiores de produtos químicos. Critica-se também a dependência de herbicidas no sistema agrícola, que pode comprometer a biodiversidade e a saúde do solo, prejudicando a sustentabilidade em longo prazo. A busca por alternativas mais sustentáveis, como o manejo integrado de plantas daninhas, é cada vez mais necessária (Souza, 2024).

✓ **Controle integrado de plantas daninhas (MIPD)**

O Controle Integrado de Plantas Daninhas (CIPD) é uma abordagem que combina diferentes métodos de controle - mecânico, químico, cultural e biológico - visando maximizar a eficácia do manejo e minimizar os impactos negativos no ambiente e nas culturas. Essa estratégia integrada busca um equilíbrio, levando em consideração tanto a necessidade de controlar as plantas daninhas quanto a preservação da biodiversidade e a redução da resistência dessas plantas aos

herbicidas, o que se tornou uma preocupação crescente nos últimos anos (Santos *et al.*, 2020; Jha; Norsworthy; Beckie, 2021).

O uso de múltiplas técnicas permite que o controle de plantas daninhas seja mais flexível e adaptável às diferentes condições de manejo agrícola. Por exemplo, o controle mecânico, como a capina e a roçada, podem ser utilizados em conjunto com o controle químico, utilizando herbicidas seletivos em momentos específicos para reduzir a pressão sobre a resistência das plantas daninhas (Carvalho, 2013). Já o controle cultural, com o uso de cultivares mais competitivas, densidade de plantio mais alta e rotação de culturas, contribui para o controle natural das plantas daninhas, tornando o ambiente mais favorável para as culturas desejadas e menos para as invasoras (Alvim *et al.*, 2019).

Além disso, o controle biológico, que envolve o uso de inimigos naturais das plantas daninhas, como insetos e patógenos, pode ser uma ferramenta complementar, especialmente em sistemas agrícolas mais sustentáveis, como na agricultura orgânica (Oliveira *et al.*, 2022). O uso do CIPD tem demonstrado bons resultados em longo prazo, pois promove a sustentabilidade, reduzindo a dependência de herbicidas e favorecendo a adoção de práticas mais amigáveis ao meio ambiente.

A integração desses métodos visa não apenas o controle das plantas daninhas, mas também o equilíbrio do ecossistema agrícola, a melhoria da qualidade do solo, a preservação de recursos naturais e a sustentabilidade das práticas agrícolas. A implantação eficaz de um sistema de controle integrado de plantas daninhas exige conhecimento técnico, monitoramento constante e uma abordagem adaptativa que leve em consideração as especificidades de cada sistema agrícola.

3. Considerações

Há de se ressaltar a importância do controle eficaz das plantas daninhas em diversos sistemas agrícolas, reconhecendo sua relevância para a produtividade e sustentabilidade das culturas. As plantas daninhas competem com as culturas por recursos essenciais como luz, água e nutrientes, prejudicando o crescimento das plantas cultivadas e, conseqüentemente, a

produtividade. Nesse sentido, a adoção de métodos de controle adequados, como o uso de palhada, controle mecânico, rotação de culturas e a aplicação de herbicidas de forma responsável, é fundamental para garantir a saúde do solo e a sustentabilidade do agroecossistema.

Embora o uso de herbicidas seja comum, sua aplicação deve ser racionalizada, com o objetivo de minimizar impactos ambientais, como a contaminação do solo e a resistência das plantas daninhas. Nesse contexto, o Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), que combina diferentes técnicas, se apresenta como uma estratégia eficiente, promovendo a redução da dependência de químicos, a preservação da biodiversidade e o aumento da eficiência no controle das plantas daninhas.

Em sistemas agroecológicos, o controle de plantas daninhas é baseado em práticas que promovem o equilíbrio ecológico, reduzindo a necessidade de insumos químicos. Estratégias como o consórcio de culturas, rotação de culturas e cobertura do solo com palhadas ou adubos verdes são amplamente utilizadas para evitar a competição das plantas daninhas com as culturas principais. Além disso, técnicas de manejo como capinas manuais, uso de ferramentas mecânicas e controle biológico, empregando inimigos naturais, ajudam a manter a biodiversidade e minimizar impactos ambientais. Essas práticas fortalecem o sistema produtivo, aumentando a resiliência e a sustentabilidade.

Por fim, é necessário destacar que o manejo de plantas daninhas deve ser adaptado às condições específicas de cada sistema agrícola, considerando fatores como o tipo de cultivo, as condições ambientais e a necessidade de práticas sustentáveis. O controle integrado, baseado em uma abordagem diversificada, representa o caminho para um sistema agrícola mais equilibrado, eficiente e ecologicamente responsável, garantindo não só maior produtividade, mas também a preservação dos recursos naturais para as futuras gerações.

4. Referências

ALTIERI, M. A; LANA, M. A; BITTENCOURT, H. V; KIELING, A. S; COMIN, J. J. LOVATO, P. E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.35, n.8, p.855-869, 2011.

ALVIM, S. M. *et al.* Manejo integrado de plantas daninhas: princípios e práticas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, p. 93-101, 2019.

ALVINO, F. de O.; COSTA, N. V.; MOREIRA, R. A. Manejo integrado de plantas daninhas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 12-23, 2020.

BRIGHENTI, A. M. *et al.* **Manual de identificação e manejo de plantas daninhas em cultivos de soja**. Brasília: Embrapa, 2023b. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875060/1/ManualBrighenti.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 16 jan. 2025.

CARVALHO, L. B., SCHERER, L. C., LUCIO, F. R., ALVES, P. L. C. A. Efeitos da dessecação com glyphosate e chlorimuron-ethyl na comunidade infestante e na produtividade da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.27, p.1025-1034, 2009. Número Especial.

CARVALHO, S. A. **Manejo cultural de plantas daninhas: Estratégias sustentáveis em sistemas agrícolas**. Editora Agroecologia, 2013.

CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferência de plantas daninhas na produtividade de culturas. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 845-852, 2020.

COBUCCI, T. *et al.* **Manejo integrado de plantas daninhas em sistemas agrícolas sustentáveis**. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2004.

CORRÊA, M. L. P.; GALVÃO, J. C. C.; FONTANETTI, A.; FERREIRA, L. R.; MIRANDA, G. V. Dinâmica populacional de plantas daninhas na cultura do milho em função de adubação e manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.354-363, 2011.

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N. Plantio direto de milho-verde orgânico sobre diferentes plantas de cobertura de verão. In: VARNIER, E.; VIEIRA, L. H. S.; MENINI, L.; SILVEIRA, L. F. V.; SANTOS, M. C. P.; MEIRELES, R. C. (Org.). **Coletânea Multicampi de Trabalhos em Pesquisa, Extensão e Ensino: IFES Alegre, Itapina e Santa Teresa /– Curitiba: CRV, 2022. 186 p. (Coleção Produção Acadêmica – IFES em Rede, v. 1). 2022. p. 37-38.**

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. C.; ARAÚJO, J. B. S.; RANGEL, O. J. P.; SOUZA, J. L. de Survey of the floristic composition and the structure of spontaneous vegetation present at green corn cultivated in organic no-tillage system. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**, v. 7, n. 11, p. 184-193, 2020.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; LEÓN, C. G. Rotação de culturas no sistema plantio direto: benefícios e desafios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. 3, p. 285-293, 2020.

FERRARI, S. *et al.* Práticas preventivas e seus efeitos na produtividade agrícola: Um estudo comparativo. **Revista de Agricultura e Sustentabilidade**, v. 18, p. 102-112, 2023.

FERREIRA, R. F. *et al.* Controle de plantas daninhas em feijoeiro: eficácia de herbicidas e práticas culturais no sistema de produção orgânica. **Planta Daninha**, v. 41, p. 1-12, 2023. DOI: 10.1590/s0100-835820230000100023.

FONTANETTI, A.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. Z.; MIRANDA, G. V. Produção de milho orgânico no sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 127-136, 2006.

FUENTES-LLANILLO, R.; DE MARIA, I. C.; TAVARES FILHO, J. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0200128, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tHkrjWBmMjJCwt4D4BtRgGL/>. Acesso em: 18 jan. 2025.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; DEBIASI, H. Sistemas conservacionistas e dinâmica do carbono no solo. **Agronomia Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 12-30, 2020.

JHA, P.; NORSWORTHY, J. K.; BECKIE, H. J. Precision Weed Management. In: Crops Mapping, Sensing and Targeting Weeds for Site-Specific Weed Control. **Weed Technology**, v. 35, n. 1, p. 9-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2020.105>. Acesso em: 12 out. 2024.

MARTINS, L. *et al.* Práticas culturais no controle de plantas daninhas: Avanços e desafios. **Revista de Manejo Ecológico**, v. 12, p. 112-122, 2021.

MARTINS, M. *et al.* Tecnologias emergentes para o controle preventivo de plantas daninhas em agricultura orgânica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, p. 178-189, 2022.

MONQUERO, P. A. **Plantas daninhas**: aspectos ecológicos e seu manejo. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

MORAES, L. D. *et al.* Tecnologias inovadoras para o manejo de plantas daninhas: Desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 23, p. 45-56, 2020.

OLIVEIRA, J. *et al.* Sistemas integrados e a eficiência do controle cultural de plantas daninhas. **Jornal de Agricultura Sustentável**, v. 24, p. 98-108, 2022.

PEREIRA, R. *et al.* Estratégias de rotação de culturas para controle de plantas daninhas em sistemas agrícolas. **Ciência e Tecnologia em Agricultura**, v. 40, p. 67-75, 2023.

QUEIROZ, L. R.; GALVÃO, J. C. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, M. F.; TARDIN, F. D. Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.28, n.2, p.263-270, 2010.

RIZZARDI, M. A.; MARCHESAN, E.; ANDRADE, R. F. Manejo de plantas daninhas no sistema plantio direto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 22-36, 2021.

SANTOS, A. R. *et al.* Efeitos alelopáticos no controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, p. 79-91, 2017.

SANTOS, E. L. *et al.* Controle integrado de plantas daninhas: Eficácia e benefícios ambientais. **Revista Brasileira de Manejo Sustentável**, v. 28, p. 70-79, 2020.

SANTOS, J. L.; FERREIRA, R. J.; PEREIRA, E. F. Dinâmica populacional de plantas daninhas no sistema plantio direto. **Weed Science**, v. 70, n. 1, p. 112-120, 2022.

SILVA, A. A.; D'ANTONINO, L.; SILVA, A. F.; VARGAS, L. Manejo de plantas daninhas. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J.C.C.; PIMENTEL, M.A. (Eds). **Milho do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p.242-272.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRON, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.56, n.4, p.496-506, 2009.

SILVA, A. F.; SILVA, L. L.; CARVALHO, F. P. Controle integrado de plantas daninhas: técnicas e desafios. **Planta Daninha**, v. 40, n. 2, p. 1-15, 2022

SILVA, F. C. *et al.* **Manejo sustentável de plantas daninhas**. 2. ed. São Paulo: Editora Agrícola, 2020.

SILVA, L. *et al.* Avaliação de práticas preventivas no manejo de plantas daninhas em sistemas agroecológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 22, p. 214-224, 2020b.

SILVA, L. F.; SILVA, P. R. Uso de herbicidas no controle de plantas daninhas: Aspectos econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 72-80, 2007.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 311 p. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5>

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Brasília: Embrapa, 2012.

VERONESE, F. F. *et al.* Práticas agroecológicas no manejo de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 312-320, 2020.

VERONESE, M; FRANCISCO, E. A. B; ZANCANARO, L; ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, 2012.

CAPÍTULO 3

Homeopatia vegetal: potencial e aplicações no manejo fitossanitário

Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Gilmara da Silva Rangel, Edilara Leandro de Sousa, Hayume Emanuelle Martins Brito, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c3>

Resumo

O uso de substâncias dinamizadas na agricultura tem se destacado como alternativa no manejo fitossanitário, fundamentado em conceitos de homeopatia. Pragas, doenças e distúrbios fisiológicos não são apenas consequências de agentes externos, mas refletem a perda da homeostasia vegetal. Apesar de resultados positivos em pesquisas e no campo, os mecanismos de ação das substâncias dinamizadas ainda são pouco compreendidos. Na agricultura, as aplicações se baseiam majoritariamente na isopatia, sem a análise detalhada de sintomas, característica da homeopatia clássica. Contudo, avanços no entendimento da fisiologia vegetal permitem a identificação de sintomas e respostas semelhantes às observadas em humanos, ampliando o potencial da homeopatia no manejo de culturas. Este estudo revisa trabalhos que exploram compostos homeopáticos em plantas, contribuindo para a escolha assertiva dos medicamentos.

Palavras-chave: Homeopatia vegetal. Manejo fitossanitário. Substâncias dinamizadas. Isopatia. Homeostasia. Fisiologia vegetal.

1. Introdução

Um dos grandes desafios da agricultura global é a reorientação dos sistemas de produção de alimentos, incorporando práticas agroecológicas que assegurem tanto o direito humano à produção quanto ao acesso à alimentação adequada (Caisan, 2012). A melhoria dos manejos agrícolas, ajustados às realidades de cada ecossistema, pode aumentar a eficiência produtiva por meio da adoção de tecnologias e práticas alinhadas à sustentabilidade.

Os problemas fitossanitários, como pragas e doenças das culturas, frequentemente levam os agricultores a recorrer ao uso intensivo de agrotóxicos e insumos sintéticos altamente solúveis. Contudo, esses produtos deixam resíduos tóxicos no solo, na água e nos alimentos, representando riscos ambientais e à saúde humana. Diante disso, é imperativo buscar métodos alternativos para o controle de pragas e doenças nas plantas cultivadas.

A agricultura orgânica emerge como uma resposta significativa, promovendo a sustentabilidade econômica e ecológica enquanto amplia os benefícios sociais. Este sistema prioriza métodos culturais, biológicos e mecânicos como alternativas aos compostos sintéticos, contribuindo para a preservação ambiental e a saúde humana (MAPA, 2003).

Apesar do avanço das práticas agroecológicas, a adoção de novas técnicas agrícolas ainda gera incertezas e controvérsias. Para alguns, a agricultura orgânica é uma proposta utópica, enquanto para outros representa uma revolução. Há, contudo, uma posição intermediária que defende mudanças graduais e equivalentes à agricultura convencional (Bezerra; Veiga, 2000).

A ciência da homeopatia, com mais de 200 anos de aplicação eficaz em humanos e animais, também tem mostrado resultados promissores na agricultura. O uso de preparados homeopáticos em cultivos orgânicos, tanto no manejo de doenças e pragas quanto no equilíbrio fisiológico das plantas, é regulamentado pela Instrução Normativa nº 46, de 6 de outubro de 2011 (BRASIL, 2011).

O manejo ecológico de pragas com preparados homeopáticos pode aperfeiçoar a produção nas unidades agrícolas familiares, reduzindo os custos de produção sem comprometer a produtividade. Essa prática respeita os

processos naturais e utiliza tecnologias adaptadas às condições ambientais e socioeconômicas locais (Boff, 2008). Além disso, os preparados homeopáticos, por serem naturais e aplicados em concentrações mínimas, favorecem o equilíbrio dos serviços ecológicos, como o predatismo e o microparasitismo, auxiliando no controle biológico natural (Casali, 2004).

Nesse contexto, ações integradas para aumentar a sustentabilidade da produção de alimentos se tornam fundamentais. Elas respondem tanto às demandas do setor produtivo quanto às expectativas da sociedade, destacando o potencial da homeopatia no manejo fitossanitário.

Este capítulo aborda os principais enfoques e efeitos da homeopatia no manejo fitossanitário e na sustentabilidade da agricultura. Além disso, explora conceitos e possibilidades de aplicação da agroecologia na pesquisa agrônômica, considerando os desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados pela agricultura contemporânea.

2. Agroecologia e o desenvolvimento rural

O termo agroecologia inicialmente conecta seus interesses e pretensões ao campo da agricultura e da sociedade. Hecht (1989) e Peron *et al.* (2024) enfatizam que a agroecologia agrega saberes ambientais e um sentimento social em relação à agricultura, abarcando conceitos e aspectos que transcendem os limites da própria agricultura.

A ciência da agroecologia começou a ganhar forma nos anos da década de 1980, a partir de estudos sobre a experiência de camponeses e da recuperação do conhecimento agrário. Caporal e Costabeber (2007) e Peron *et al.* (2024) destacam que a agroecologia surgiu como uma perspectiva teórica alternativa, fundamentada em uma análise científica que valoriza a conservação da biodiversidade ecológica e cultural, com uma visão sistêmica sobre o fluxo de energia e de materiais nos sistemas econômicos.

De acordo com Glessman (1990), a agroecologia é a ciência capaz de atender de forma integrada aos seguintes critérios: i) baixa dependência de insumos comerciais; ii) uso de recursos renováveis locais; iii) aceitação e, ou, tolerância às condições naturais, evitando alterações intensas do meio; iv)

manutenção da capacidade produtiva em longo prazo; v) preservação da biodiversidade biológica e cultural; vi) utilização do conhecimento popular local.

Sob outro ponto de vista, a agroecologia se relaciona ao estudo dos fenômenos ecológicos que ocorrem nos cultivos e manifesta grande potencial para solução de questões tecnológicas na agricultura. Pretty (1996) e Peron *et al.* (2024) argumentam que a agroecologia favorece o redesenho e a gestão de agroecossistemas sustentáveis. Altieri (1995) e Souza Neta *et al.* (2024) complementam que a agroecologia é mais do que a aplicação de princípios ecológicos: trata-se de compreender processos produtivos em uma perspectiva ampla, analisando ciclos minerais, transformações energéticas e relações socioeconômicas como uma unidade integrada.

Nos últimos anos, a agroecologia tem sido utilizada como ferramenta metodológica para entender a funcionalidade dos sistemas agrários, abordando problemas que são objeto de pesquisa nas ciências agrárias convencionais (Guzmán Casado *et al.*, 2000; Peron *et al.*, 2024). Sevilla Guzmán (1999) e Souza Neta *et al.* (2024) destacam que o desenvolvimento, em sua proposta mais ampla, busca potencialidades socioculturais e econômicas de uma sociedade em harmonia com o meio ambiente.

No contexto histórico, Esteva (1996) e Souza Neta *et al.* (2024) observam que, a partir do pensamento liberal, o conceito de desenvolvimento sustentável foi associado ao crescimento econômico, tomando como referência os padrões de vida e consumo das sociedades industrializadas. Contudo, segundo Bermejo (1994), meados dos anos da década de 1970 trouxeram à tona os limites desse modelo, evidenciando desigualdades sociais crescentes, exclusão e sérios danos ambientais, como contaminação por agrotóxicos e geração de resíduos.

Meneghetti (2001) e Bruneli *et al.* (2024) apontam que as crises do modelo de desenvolvimento reforçaram o debate sobre agricultura sustentável, destacando a precariedade econômica, social e ambiental desse sistema. Fioreze (2005) ressalta que o desenvolvimento sustentável deve equilibrar a conservação dos recursos ambientais com o crescimento econômico em longo prazo, sendo ora entendido como uma mudança tecnológica, ora como uma transformação estrutural mais ampla.

Caporal e Costabeber (2007) destacam que o planejamento do desenvolvimento sustentável envolve cinco (5) dimensões principais: i) sustentabilidade social, focada na equidade; ii) sustentabilidade econômica, com distribuição equilibrada de recursos; iii) sustentabilidade ecológica, respeitando a capacidade de suporte dos ecossistemas; iv) sustentabilidade espacial, buscando distribuição territorial equilibrada das atividades econômicas; v) sustentabilidade cultural, promovendo a continuidade de sistemas agrícolas locais e soluções específicas.

Duas correntes principais disputam o conceito de sustentabilidade: a ecotecnocrática, que enfatiza soluções biotecnológicas; e a ecossocial, que prioriza os aspectos econômicos e sociais dos agroecossistemas, rejeitando a abordagem química e mecanizada (Caporal; Costabeber, 2007). Assad e Almeida (2004) e Bruneli *et al.* (2024) alertam que a sustentabilidade na agricultura ainda enfrenta desafios, pois interesses individuais e econômicos muitas vezes impedem práticas menos impactantes.

Por outro lado, a agricultura orgânica tem avançado em algumas regiões do Brasil, especialmente em propriedades familiares. Fiedler *et al.* (2020) atribuem esse progresso à implementação do Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (Planapo), que incentiva práticas agroecológicas, promove o consumo de alimentos saudáveis e dissemina conhecimento sobre agricultura sustentável. O Planapo tem sido essencial para fortalecer a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, ampliando seus benefícios ecológicos, econômicos e sociais (Brasil, 2017).

3. Homeopatia na agricultura

A crescente demanda por produção agropecuária nas populações atuais exige pesquisas que busquem insumos com baixos efeitos residuais, preservando a saúde do agricultor e do consumidor. Nesse contexto, o uso da homeopatia e de fitoterápicos na agricultura surge como uma tecnologia limpa para a produção de alimentos (Almeida, 2003).

A homeopatia, termo de origem grega (*homoios* = semelhante e *pathos* = sofrimento ou doença), significa "doença semelhante". O médico alemão

Christian Friedrich Samuel Hahnemann, precursor da homeopatia, desenvolveu essa abordagem, hoje aplicada a seres humanos, animais, plantas e microrganismos. O princípio básico é que o organismo, possuindo poder vital, pode reagir ao medicamento homeopático, promovendo seu restabelecimento (Rossi *et al.*, 2004). Segundo Hamly (1979), a homeopatia se fundamenta em quatro pilares:

- i) o semelhante cura o semelhante;
- ii) experimentação em organismos sadios;
- iii) doses dinamizadas;
- iv) uso de medicamento único.

Os medicamentos homeopáticos têm origem nos reinos animal, vegetal e mineral, sendo suas potências indicadas por números e letras que definem o modo de preparo. A eficácia desses medicamentos é confirmada pela prática clínica, evidenciando sua ação dinâmica (Rossi, 2005) (Figura 1).



Figura 1. Preparo de “remédios homeopáticos”. Fonte: <https://www.alavoura.com.br/>, 2022.

A aplicação de preparados homeopáticos na produção de alimentos representa alternativa sustentável, atendendo às exigências do sistema orgânico de produção. Esses preparados são adequados para sistemas agroecológicos, pois influenciam os processos fisiológicos das plantas sem causar efeitos

tóxicos. Entre os benefícios, destacam-se o controle de doenças causadas por vírus, fungos e bactérias, a redução da incidência de pragas e o aumento da biomassa vegetal (Espinoza, 2001) (Figura 2).



Figura 2. Regulamentação da IN 7 (19/5/1999): homeopatia é indicada para produção de orgânicos no Brasil. Fonte: <https://www.alavoura.com.br/>, 2022.

De acordo com Rossi *et al.* (2004), preparados homeopáticos podem induzir resistência a insetos e pragas, contribuindo para a manutenção da produtividade por meio da produção de metabólitos secundários. Esses compostos são responsáveis por influenciar a atração ou repulsão de pragas e patógenos. Andrade *et al.* (2004) demonstraram que a aplicação de preparados homeopáticos de *Justicia carnea* nas potências 6CH, 12CH, 18CH e 30CH aumentou a produção de cumarina em plantas de Chambá, melhorando seus mecanismos de defesa.

Pesquisas evidenciam que metabólitos secundários produzidos naturalmente pelas plantas possuem ação eficaz contra pragas e doenças, sendo uma alternativa promissora em comparação aos pesticidas sintéticos, pois se degradam mais rapidamente e deixam menos resíduos no ambiente (Agut *et al.*, 2018; Avelino *et al.*, 2019; Nwanade *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2023). Esses compostos, frequentemente encontrados em óleos essenciais, também exibem atividades fungicidas e bactericidas, fortalecendo seu papel em sistemas de manejo integrado (Pavela *et al.*, 2016).

No cultivo de milho, Almeida *et al.* (2003) observaram resultados significativos no controle da lagarta do milho ao utilizarem preparados homeopáticos em altas diluições: *Dorus sp.* 4CH, *Euchlaena* 6CH e nosódio de *Spodoptera sp.* 30CH. Resultados semelhantes foram registrados por Rupp *et al.* (2012), que constataram a redução de larvas de mosca-das-frutas em pessegueiros ao aplicarem *Staphysagria* 6CH e nosódio de mosca-das-frutas 6CH com intervalos regulares.

Experimentos realizados com formigas cortadeiras (*Acromyrmex spp.*) demonstraram que o nosódio de formigas na potência 30CH reduziu significativamente o forrageamento (Giesel, 2007). Quanto ao controle de doenças, Rossi *et al.* (2004) evidenciaram a redução da severidade da *Xanthomonas campestris* em tomateiros após a aplicação de nosódios na irrigação (4CH e 6CH). De maneira semelhante, Erdmann (2008) relatou a diminuição da ferrugem em plantas de *Hypericum inodorum* ao utilizar nosódios da doença na potência 30DH.

4. Resultados em trabalhos de pesquisa

Diversos estudos demonstram a efetividade da homeopatia no manejo fitossanitário. Neste trabalho, buscou-se relatar e descrever os efeitos de diferentes preparados homeopáticos sobre plantas de morangueiro cultivadas em sistema semihidropônico aberto. Os preparados utilizados foram: *Arnica montana* CH12 e um composto homeopático contendo *Calcarea carbonica*, *Calcarea phosphorica* e *Magnesia phosphorica*, ambos aplicados nas potências CH12 e CH18.

As aplicações dos preparados iniciaram logo após a implantação do cultivo e continuam até o presente momento. No início de 2017, contudo, as mudas antigas foram substituídas por novas, obtidas a partir dos estolões emitidos por plantas provenientes da Argentina. Assim, as observações descritas a seguir se referem, sobretudo, ao período após a implantação dessas novas mudas.

Os resultados das aplicações se tornaram evidentes nos primeiros dias de cultivo, com brotações vigorosas, ausência de sinais de murcha e ausência de

ataque por insetos ou doenças. A taxa de mortalidade das mudas foi baixa, registrando apenas 4,9% (Figura 3).

As recomendações para o uso do composto contendo *Calcarea carbonica*, *Calcarea phosphorica* e *Magnesia phosphorica* foram realizadas conforme descrito por Casali *et al.* (2009).



Figura 3. Brotações novas sem sinais de doença e, ou, deficiência nutricional (A); Frutos bem formados e pedúnculos mais fortes e rígidos (B); e, Sinais de recuperação das folhas com sinais de deficiência nutricional e de início de senescência (C). Fonte: Tonin *et al.*, 2022.

Outro benefício identificado pelo uso do composto foi seu efeito sobre os pedúnculos, que se tornaram mais fortes e rígidos, permitindo que os frutos permanecessem suspensos, sem contato direto com os *slabs* por um tempo significativamente maior do que o observado antes das aplicações. Esse efeito contribuiu indiretamente para a redução da contaminação dos frutos por doenças.

Adicionalmente, observou-se que as folhas, que apresentavam sinais de deficiências nutricionais e senescência, começaram a reverter esse processo. As folhas mais velhas, com claros indícios de deficiências e início de senescência, começaram a apresentar um comportamento de recuperação, retomando parcialmente seu aspecto normal. Esse processo prolongou a atividade das folhas, em comparação com situações semelhantes onde a homeopatia não foi utilizada, estendendo assim sua contribuição para a nutrição das plantas.

É importante destacar que os medicamentos homeopáticos não atuam diretamente sobre os sinais e sintomas das doenças, mas influenciam a força vital do organismo. De acordo com a filosofia homeopática, os desequilíbrios e as doenças têm origem no desarranjo dessa força vital (Casali *et al.*, 2006; Fontes, 2012). Esse entendimento exige uma mudança na forma como se compreende a origem das doenças e os mecanismos de cura. Para Hahnemann, é a força vital de todos os seres vivos que sustenta o equilíbrio e a saúde, e quando essa força está desequilibrada, surgem distúrbios que se manifestam em deficiências e doenças. Esse conceito deve ser adotado por aqueles que desejam utilizar a homeopatia como ferramenta terapêutica em sistemas vegetais.

Em um estudo adicional, com o objetivo de determinar a resposta de plantas sadias de artemísia ao preparado homeopático *Arnica montana*, o experimento foi conduzido a pleno sol na Universidade Federal de Viçosa, MG. As plantas de *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip, cultivadas a partir de sementes em vasos de 10 litros com substrato composto por terra, areia e esterco bovino (na proporção 3:1:0,5), receberam adubação em cobertura com esterco bovino um mês após o plantio. Quinze dias depois, iniciou-se a aplicação das soluções homeopáticas. Para a preparação, foram adicionadas dez gotas (0,6 mL) da homeopatia *Arnica montana* a cada litro de água desmineralizada. A solução foi agitada e 200 mL aplicada no solo ao redor das plantas.

A extração do partenólídeo foi realizada a partir da parte aérea desidratada, seguindo o método de Brown *et al.* (1997) com adaptação de Carvalho *et al.* (2003). O teor de partenólídeo nas amostras foi determinado por cromatografia gasosa, conforme descrito por Carvalho *et al.* (2003). O teor de partenólídeo foi expresso de duas formas: (1) teor de partenólídeo por planta, em relação à massa seca da parte aérea (em miligrama), e (2) teor de partenólídeo em 100 gramas de massa seca (porcentagem).

Os resultados mostraram que a aplicação dos preparados homeopáticos na escala centesimal não teve impacto significativo sobre a altura das plantas nem sobre o acúmulo de massa fresca na parte aérea, contrastando com os resultados de Carvalho *et al.* (2003), que observaram efeitos diferentes ao aplicar preparados de *Arnica montana* na escala decimal. Andrade (2001) também

relatou uma redução no teor de cumarina, principal defesa química de *Justicia pectoralis*, após a aplicação de *Arnica montana* em escala centesimal. A autora sugeriu que essa diminuição nos níveis de defesa poderia refletir uma retomada à homeostase, restaurando o equilíbrio entre os processos de crescimento e defesa. A diminuição no teor de partenólídeo, especialmente nas dinamizações CH3 e CH5, evidenciou a especificidade da homeopatia *Arnica montana* no controle desse composto.

Considerando que o partenólídeo é o principal componente da defesa química da artemísia, e que a homeopatia busca o equilíbrio com o meio ambiente, sugere-se que a aplicação da homeopatia reduziu a necessidade de defesa química, diminuindo assim a biossíntese ou o acúmulo do partenólídeo que, assim como outros terpenoides, exige alto custo energético de produção (Gershenzon, 1994).

O uso de medicamentos homeopáticos e substâncias dinamizadas para o controle de doenças de plantas e seus patógenos têm crescido recentemente. Araújo *et al.* (2020) investigaram os efeitos acaricidas de três óleos essenciais, incluindo o óleo de pimenta-rosa (*Schinus terebinthifolius*), contra o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*). A análise revelou a presença de 43 compostos químicos nos frutos verdes e maduros da pimenta-rosa, correspondendo a 96,7% e 98,5% do total dos óleos essenciais, respectivamente. O limoneno destacou-se como o principal componente, com concentrações de 42,5% no óleo de frutos verdes e 34,1% no óleo de frutos maduros. Os testes demonstraram toxicidade significativa contra o ácaro, sendo o óleo dos frutos maduros mais eficaz que compostos isolados, como α -terpineol e terpinoleno, reforçando a teoria da sinergia entre os compostos presentes no óleo essencial.

De forma complementar, Ataíde *et al.* (2018) caracterizaram e avaliaram o potencial acaricida do óleo essencial de gengibre (*Zingiber officinale*) contra o ácaro-rajado. A análise química revelou 26 compostos, destacando-se o zingibereno (17,21%), o geranial (16,46%) e o cânfeno (10,19%) como os mais concentrados. Nos ensaios de toxicidade, o óleo de gengibre demonstrou eficácia de 100% sobre fêmeas de *T. urticae* na concentração de 20 μ L/mL, com valores de CL50 de 3,38 μ L/mL e CL90 de 13,30 μ L/mL, evidenciando sua eficácia no manejo sustentável de pragas agrícolas.

O manejo de plantas espontâneas utilizando a homeopatia surge como uma alternativa promissora, pois os preparados homeopáticos têm o potencial de atuar nos agroecossistemas de forma integrada, promovendo a produção de alimentos saudáveis dentro de um sistema equilibrado. A homeopatia é considerada uma ciência aplicável a todos os seres vivos, incluindo humanos, animais domésticos, silvestres, vegetais e micro-organismos (Rossi *et al.*, 2004). No Brasil, os preparados homeopáticos foram reconhecidos como insumos agrícolas pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento em maio de 1999 (Brasil, 1999).

Em um estudo conduzido por Almeida e Câmara (2012), foram investigados métodos alternativos para o manejo da tiririca (*Cyperus rotundus*), incluindo o uso de cobertura morta, extrato aquoso de mucuna-preta e preparados homeopáticos de plantas de tiririca. Para a confecção dos extratos aquosos, as folhas frescas de mucuna-preta, colhidas no estágio de floração, foram picadas e imersas em água deionizada, numa concentração de 10% em peso/volume de matéria seca, a temperatura ambiente, e deixadas em repouso por 2 horas. Após a filtragem, os extratos foram acondicionados em frascos até sua aplicação, que ocorreu diretamente no solo com volumes de 100 mL por vaso para as concentrações de 5% e 10%.

Nos experimentos com preparados homeopáticos, foi utilizada a escala centesimal hahnemanniana (CH)¹ para a confecção dos extratos. A tintura mãe (TM), solução precursora dos preparados homeopáticos, foi elaborada a partir de plantas inteiras de tiririca (*Cyperus rotundus*) (T1) e apenas da parte aérea (T2). Para cada tintura, foram coletadas 5 plantas ao acaso no campo, que foram lavadas, picadas, colocadas em álcool 70%, maceradas e deixadas em repouso por 15 dias, conforme o procedimento descrito.

As avaliações das variáveis de massa de matéria fresca e seca da parte aérea e dos tubérculos, comprimento da parte aérea, número final de plantas e tubérculos produzidos foram realizadas 45 dias após o plantio.

¹ É a proporção de 1/100 entre o insumo ativo e o insumo inerte empregada na preparação das diferentes dinamizações (uma parte do insumo ativo em 99 partes de insumo inerte, perfazendo um total de 100 partes). O método hahnemanniano é um processo de manipulação de medicamentos homeopáticos, criado pelo médico Samuel Hahnemann.

Os resultados indicaram diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis avaliadas. Especificamente, para a massa de matéria fresca total, apenas os tratamentos com palha de mucuna-preta, tanto em cobertura quanto incorporada ao solo, não apresentaram diferença em relação à testemunha. Por outro lado, observou-se uma redução na produção das massas de matéria fresca tanto da parte aérea quanto dos tubérculos de tiririca nos tratamentos que receberam extrato aquoso de mucuna-preta e aqueles que receberam as aplicações dos preparados homeopáticos. Além disso, houve redução na massa de matéria seca da parte aérea nos tratamentos com essas aplicações, quando comparados à testemunha (Tabela 1).

Tabela 1. Massa de matéria fresca total (MFT), massa de matéria seca total (MST), massa de matéria fresca da parte aérea (MFPa), massa de matéria seca da parte aérea (MSPa), massa de matéria fresca do tubérculo (MFTb), massa de matéria seca do tubérculo da tiririca (MSTb), cultivados em vasos sob diferentes tratamentos de controle

Tratamentos	MFT	MST	MFPa	MSPa	MFTb	MSTb
(g)						
T1 – CH16PI	81,13 ¹ b	15,88 b	29,38 b	5,90 c	24,69 c	9,59 b
T2 – CH16PA	67,90 b	15,49 b	31,82 b	6,11 c	25,01 c	8,17 b
T3 – EMP a 5%	80,01 b	15,58 b	28,72 b	5,59 c	28,63 c	9,62 b
T4 – EMP a 10%	67,28 b	14,33 b	32,51 b	6,18 c	23,58 c	8,17 b
T5 – MPC	135,79 a	21,30 a	65,76 a	12,19 a	49,81 a	13,09 a
T6 – MPI	102,88 a	25,29 a	46,10 a	8,99 b	34,37 b	12,30 a
T 7-Testemunha	106,68 a	18,89 b	54,10 a	8,70 b	39,11 b	10,19 b
CV(%)	19,09	16,46	25,61	20,52	16,11	15,37

¹ Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente a 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Fonte: Almeida *et al.* 2012.

Com exceção do tratamento com palhada de mucuna-preta em cobertura, os demais tratamentos favoreceram a produção de tubérculos de tiririca (Figura 4).

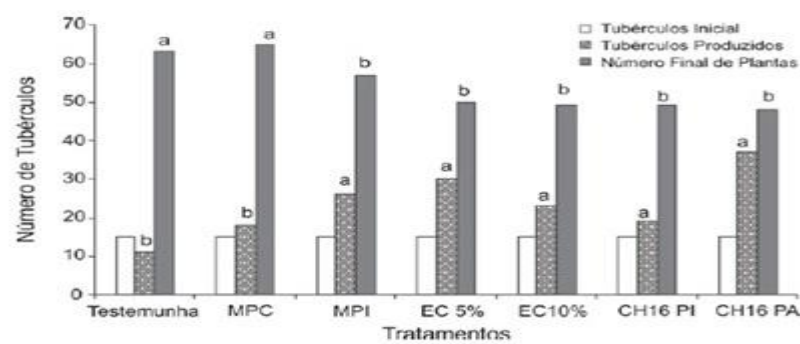


Figura 4. Número inicial de tubérculos, número de plantas no final do experimento e número de tubérculos produzidos durante a condução de experimento de cultivo de tiririca em vasos, sob diferentes tratamentos de controle (letras sobre as barras comparam os tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade). Fonte: Almeida et al. 2012.

Os trabalhos mencionados na Tabela 2 foram selecionados por apresentarem alta qualidade metodológica, conforme o critério *Manuscript Information Score* ($MIS \geq 5$), estabelecido por um grupo de pesquisadores (BETTI et al., 2009). Esse critério baseia-se na avaliação do desenho experimental, materiais utilizados, instrumentos de medição, técnicas de dinamização e tipos de controle empregados.

Tabela 2. Estudos sobre o efeito de dinamizações homeopáticas em doenças de plantas e seus patógenos que apresentaram alta qualidade metodológica

Autores e ano	Espécies utilizadas	Objetivos	Parâmetros avaliados	Tratamentos (substância e dinamização)	Controle	Frequência e forma de aplicação do tratamento	Efeitos
Shah-Rossi et al. (2009)	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Verificar o efeito de substâncias dinamizadas sobre a infecção da bactéria <i>Pseudomonas syringae</i> na planta	Taxa de infecção nas folhas	30 substâncias dinamizadas na 30dH	Água; água dinamizada	Plantas mergulhadas nos tratamentos, depositando 1,5 mL no centro da roseta da planta e irrigando a planta com os tratamentos	Redução da infecção pelo complexo homeopático Biplantol
Datta (2006)	Amoreira	Verificar o efeito de <i>Cina maritima</i> em <i>Meloidogyne incognita</i>	Variáveis de crescimento da planta e de infecção	<i>Cina</i> 200cH e <i>Cina</i> T.M. (tintura mãe) em tratamento antes e após a inoculação	Solução hidroalcoólica 90%	Plantas pulverizadas 4x, com intervalo de 3 dias, com 10 mL do tratamento/planta; <i>Cina</i> T.M. diluída a 1:40 e <i>Cina</i> 200cH a 1:20 para pulverização	Os tratamentos aumentaram o comprimento, biomassa fresca de ramos e raízes, n° de folhas/planta e área foliar. Reduziram n° de galhas/planta. Aplicação antes da inoculação foi mais eficaz
Sukul et al. (2006)	Quiabo	Verificar a influência de medicamentos homeopáticos em plantas infectadas com <i>Meloidogyne incognita</i>	Número de galhas e população do nematoide nas raízes	<i>Cina</i> 30cH, <i>Santonin</i> 30cH	Água e solução hidroalcoólica 30c	Pulverização durante dez dias, iniciando 7 dias após a inoculação. Cada planta recebeu de 5 a 10 mL do tratamento diluído em água, na proporção 1:1000	O medicamento <i>Cina</i> 30cH e o <i>Santonin</i> 30cH reduziu o n° de galhas e a população do nematoide nas raízes. Aumentou a população no solo

Betti et al. (2003)	Fumo	Estimar os efeitos do trióxido de arsênico em plantas de fumo inoculadas com o vírus do mosaico do fumo	Lesões de hipersensibilidade	Dinamizações de As_2O_3 (5dH, 45dH, 5cH e 45cH)	Água e água dinamizada	Foram retirados 10 discos da terceira ou quarta folha inoculadas de cada planta e colocados em placa de petri com 15 mL de tratamento	As dinamizações decimais de As_2O_3 , especialmente a 45dH diminuiu o n° de lesões de hipersensibilidade
Sukul et al. (2001)	Tomateiro	Estudar os efeitos de <i>Cina maritima</i> dinamizada em <i>Meloidogyne incognita</i>	Número de galhas e população do nematoide nas raízes	<i>Cina</i> 200cH e 1000cH	Glóbulos com solução hidroalcoólica 90%	Pulverização foliar com 10 mL/planta do tratamento, diluído a 7,2 mg de glóbulos/mL de água destilada. Plantas foram pulverizadas por 10 dias, 1 vez ao dia	<i>Cina</i> 200cH reduziu o n° de galhas/planta. As 2 dinamizações de <i>Cina</i> reduziram a população do nematoide nas raízes
Sukul e Sukul (1999)	Caupi	Avaliar o efeito de <i>Cina maritima</i> 1000c sobre <i>Meloidogyne incognita</i>	Número de galhas; população do nematoide	<i>Cina</i> 1000cH	Glóbulos com solução hidroalcoólica 90%	Pulverização foliar	O tratamento reduziu o n° de galhas e população do nematoide na raiz e no solo

Fonte: Betti *et al.*, 2009.

Entre os seis estudos que obtiveram $MIS \geq 5$, apenas um utilizou controle negativo sistemático. A implantação regular de controle negativo sistemático nos futuros estudos sobre ultradiluições homeopáticas em plantas é fundamental. Além disso, a repetição dos experimentos é fundamental para controlar a estabilidade do sistema, eliminar resultados falso-positivos e confirmar a validade dos resultados, como apontado por Teixeira e Carneiro (2017).

Entre os trabalhos publicados mais recentemente e que estão apresentados na Tabela 3, treze não realizaram repetição dos ensaios, e somente quatro declararam que o avaliador desconhecia os tratamentos aplicados.

A qualidade das pesquisas com homeopatia em vegetais pode ser melhorada, pela observação, nos protocolos de pesquisa e na redação dos artigos, das sugestões apresentadas por alguns autores (Stock-Schröer *et al.*, 2009; Witt, 2009; Stockschröer *et al.*, 2011; Stock-Schröer, 2015).

Tabela 3. Trabalhos recentes sobre o efeito de dinamizações homeopáticas em doenças de plantas e seus patógenos.

Autores e ano	Espécie utilizada	Objetivos	Parâmetros avaliados	Tratamento (substância e dinamização)	Controle	Frequência e forma de aplicação do tratamento	Efeitos
Bertalot et al. (2012)	Morangueiro	Controle da mancha das folhas causada por <i>Mycosphaerella fragariae</i>	Nº de manchas nas folhas	Preparado homeopático de <i>Equisetum hyemale</i> na dH28; preparado biodinâmico e preparado fitoterápico	Água; calda bordalesa	A cada 15 dias, por aspersão	O preparado homeopático foi semelhante à calda bordalesa no controle da doença. Reduziu o nº de manchas nas folhas
Datta; Datta (2012)	Amoreira	Controle de <i>Meloidogyne incognita</i> e doenças foliares	Mortalidade de J2; nº de folhas, área foliar, conteúdo de proteínas nas folhas/raízes, população do nematoide, nº de galhas, incidência de doenças foliares; parâmetros de alimentação/reprodução do bicho-da-seda	<i>Acacia auriculiformis</i> preparada na dinamização 200cH	Etanol 90%	Diariamente por 15 dias, iniciando 76 dias após a poda	Nº de galhas/nematoides na rizosfera e raízes diminuíram. Redução no nº de folhas infectadas por doenças. Parâmetros relacionados ao bicho-da-seda foram significativamente melhores
Dias et al. (2016)	Tomateiro	Controle de <i>Meloidogyne incognita</i>	Comprimento da raiz, volume da raiz, altura total da planta, número de folhas, biomassa fresca de parte aérea e biomassa seca de parte aérea; índice de galhas, nº de ovos e nº de J2; fator de reprodução	<i>Thuja</i> na dinamização 200cH, <i>Cina</i> na 200cH, produtos biológicos e um fitoterápico	Água	0,01% de <i>Thuja</i> 200cH e de <i>Cina</i> 200cH. Aplicação de 10 mL dos tratamentos via pulverização foliar, durante oito semanas, a cada 8 dias.	Não houve efeito dos tratamentos nas variáveis da planta, índice de galhas, nº de ovos e nº de J2. Apenas o fator de reprodução indicou que os medicamentos homeopáticos aumentaram a resistência das plantas
Gama et al. (2015)	Sisal	Controle de <i>Aspergillus niger</i>	Crescimento, esporulação e germinação do fungo <i>in vitro</i> ; incidência/severidade da doença	<i>Carbo vegetabilis</i> , <i>Ferrum metallicum</i> , <i>Natrum muriaticum</i> , <i>Phosphorus</i> e <i>Sulphur</i> na 3, 5, 7, 9 e 12 cH (<i>in vitro</i>). <i>C. vegetabilis</i> 12cH, <i>F. metallicum</i> 9cH, <i>N. muriaticum</i> 5cH, <i>Phosphorus</i> 3cH e <i>Sulphur</i> 5cH (casa de vegetação)	Água destilada	Tratamento em meio BDA a 0,005%. Seis gotas L ⁻¹ de água de irrigação, durante 15 dias contínuos, antes da inoculação	Alguns tratamentos inibiram o crescimento do fungo. Nenhum tratamento reduziu a esporulação. A maioria dos tratamentos reduziu germinação dos esporos. Sem efeito na incidência da doença. <i>F. metallicum</i> 9cH reduziu a severidade em 62%
Gonçalves et al. (2016)	Cebola	Avaliar o efeito de <i>Solanum lycopersicum</i> e <i>Camellia sinensis</i> dinamizados sobre tripses, mildio e produtividade	Incidência de tripses; danos por tripses; severidade de mildio; produtividade	<i>S. lycopersicum</i> e <i>C. sinensis</i> a 6, 12 e 30cH, em pulverizações foliares a 0,5%	Sem tratamento	Sete pulverizações realizadas uma vez por semana	Não houve efeito sobre o mildio. Chá verde na 6 e 30cH reduziu dano por tripses
Gonçalves et al. (2015)	Cebola	Avaliar o efeito de <i>Sulphur</i> sobre tripses, mildio, índice de clorofila e produtividade	Incidência de tripses; severidade de mildio; índice de clorofila e produtividade	<i>Sulphur</i> 6, 12 e 30cH a 0,5%	Sem tratamento	6 ou 7 pulverizações realizadas, 1x por semana	Não houve efeito significativo

Gonçalves et al. (2012)	Cebola	Avaliar o efeito de <i>Natrum muriaticum</i> e <i>Calcarea carbonica</i> sobre tripes, mildio e produtividade	Incidência de tripes, incidência e severidade de mildio; produtividade	<i>N. muriaticum</i> e <i>Calcarea carbonica</i> ambos na dinamização 6cH nas dosagens de 0,1%, 0,5% e 1%	Sem tratamento	7 pulverizações realizadas, 1x por semana	<i>N. muriaticum</i> (1%) 6cH reduziu a infestação de tripes aos 83 dias após o transplante (DAT) e a 0,5% aos 90 DAT. Mildio e produtividade não foram afetados
Hanif, Dawar (2016)	<i>Vigna</i> spp., quiabo e girassol	Avaliar o efeito de medicamentos homeopáticos no controle de <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> e <i>Rhizoctonia solani</i>	Inibição dos fungos <i>in vitro</i> , isolamento dos patógenos das raízes, isolamento de <i>Rhizobium</i> dos nódulos e desenvolvimento das plantas	<i>Arnica montana</i> e <i>Thuja occidentalis</i> 30cH	Água destilada esterilizada e álcool	10 glóbulos contendo os tratamentos, nas concentrações de 100%, 75% e 50% v/p	Os medicamentos a 50% e 75% reduziram a infecção pelos patógenos e aumentaram o desenvolvimento das plantas, mas inibiram a formação de nódulos
Lorenzetti et al. (2017)	Soja	Avaliar o controle de <i>Macrophomina phaseolina</i> por <i>Sepia</i> e <i>Arsenicum</i>	Nº de microescleródios, crescimento do micélio, crescimento da lesão na planta e cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC)	<i>Sepia</i> e <i>A. album</i> 6, 12, 24, 36 e 48cH	Água destilada e solução hidro-alcoólica a 30%	Tratamentos no meio de cultura a 0,005%. Pulverização 3 dias antes e no dia da inoculação, e 3, 10 e 17 dias após a inoculação, além da aplicação no solo de 1µL/vaso	<i>Sepia</i> reduziu em até 32% o crescimento do fungo. Nenhum tratamento afetou a produção de microescleródios. <i>A. album</i> e <i>Sepia</i> na 24cH reduziram a AUDPC entre 50% e 70%
Lorenzetti et al. (2016)	Soja	Avaliar o efeito de um bioterápico e de <i>Sulphur</i> no controle de <i>Macrophomina phaseolina</i>	Crescimento micelial e produção de microescleródios	<i>Sulphur</i> e bioterápico nas dinamizações 6, 12, 24, 36 e 48cH	Água destilada e solução hidro-alcoólica a 30%	Os tratamentos foram incorporados ao meio de cultura. Nos testes <i>in vivo</i> foi feita aplicação dos tratamentos a 0,1% no solo, em 5 dias	<i>Sulphur</i> reduziu em até 50% o número de microescleródios <i>in vitro</i> . Não houve efeito do bioterápico. Nos testes <i>in vivo</i> não houve efeito significativo
Mioranza et al. (2017)	Tomateiro	Avaliar o efeito de <i>Thuja occidentalis</i> no controle de <i>Meloidogyne incognita</i> , no crescimento da planta e nos mecanismos de defesa vegetal	Variáveis de desenvolvimento da planta; massa de ovos, nº de ovos e J2 em 100 cm ³ de solo, nº de ovos e J2 nas raízes, nº de galhas nas raízes; atividade das enzimas peroxidase, polifenol oxidase, penilalanina amonialiase	<i>T. occidentalis</i> 6, 12, 24, 50, 100, 200 e 400 cH	Água	Imersão das raízes nos tratamentos a 0,1% antes do transplante. Pulverização das folhas uma vez na semana; no teste <i>in vitro</i> os nematoides foram expostos diretamente aos tratamentos	A dinamização 100cH diminuiu o nº de J2 nas raízes, enquanto a 200cH estimulou o desenvolvimento das raízes e aumentou o peso dos frutos. No segundo ano 100cH diminuiu o nº de J2 no solo. Houve aumento da atividade de enzimas de defesa vegetal
Modolon et al. (2014)	<i>Alternaria solani</i>	Avaliar o efeito dos medicamentos sobre o crescimento micelial do patógeno	Crescimento do micélio	<i>Arsenicum album</i> , <i>Nitricum acidum</i> , <i>Staphysagria</i> todos nas dinamizações 6, 12, 25, 30, 50, 60, 80 e 100cH	Água desmineralizada e controle sem intervenção	Os tratamentos foram colocados sobre, ou incorporados antes da solidificação dos meios BDA e BDA+V8	<i>A. album</i> , <i>N. acidum</i> e <i>Staphysagria</i> inibiram o fungo quando aplicados sobre o meio BDA. Não houve efeito no meio BDA+V8

Modolon et al. (2012)	Tomateiro	Avaliar o efeito dos tratamentos no manejo de pragas e da mancha de Septoria	Incidência de <i>Septoria lycopersici</i> , dano de insetos nos frutos e produção a campo. Em casa de vegetação avaliou-se incidência e severidade de mancha de Septoria e produção de frutos	<i>Staphysagria</i> , <i>Arsenicum album</i> , <i>Sulphur</i> 12cH no primeiro ensaio. <i>Solanum lycopersicum</i> , <i>S. aculeatissimum</i> , <i>Arnica montana</i> e <i>Sulphur</i> 12dH e 24dH	Controle sem pulverização	Na casa de vegetação aplicou-se 60 mL L ⁻¹ a cada 3 dias. A campo utilizou-se 10 mL L ⁻¹ dos tratamentos a 600 L ha ⁻¹ , com aplicações semanais	<i>Staphysagria</i> 12cH aumentou o diâmetro dos frutos. <i>A. montana</i> 12dH aumentou o peso de frutos em 48%. Em casa de vegetação o bioterápico de tomate na 12dH e 24dH reduziu incidência e severidade de <i>Septoria</i> . <i>S. aculeatissimum</i> 12dH e 24dH. <i>A. montana</i> e <i>Sulphur</i> nas mesmas dinâmizações também reduziram a doença
Oliveira et al. (2017)	<i>Alternaria solani</i> e <i>Corynespora cassicola</i>	Avaliar o efeito na germinação de esporos dos fungos e na produção de fitoalexinas em soja	Esporos germinados e acúmulo de fitoalexinas	<i>Eucalyptus citriodora</i> e <i>Cymbopogon citratus</i> em várias dinâmizações	Água destilada e solução hidroalcoólica a 0,7% e 0,3%	As dinâmizações foram diluídas a 1% em água e colocadas em contato com os esporos. Cotilédones de soja colocados em placas de Petri com os tratamentos	Todos os tratamentos reduziram a germinação dos patógenos. Para <i>E. citriodora</i> a percentagem de redução foi entre 13% a 49%, e para <i>C. citratus</i> a inibição foi entre 23% e 59%. Não houve efeito sobre o acúmulo da fitoalexina gliceolina
Oliveira et al. (2014)	Feijoeiro	Avaliar o potencial dos tratamentos na indução de resistência em plantas	Atividade de enzimas; indução da fitoalexina phaseolina e conteúdo de clorofila. As amostras foram coletadas 6, 12, 24, 48 e 216 horas após a pulverização dos tratamentos	<i>Corymbia citriodora</i> , <i>Calcaree carbonica</i> , <i>Silicea terra</i> e <i>Sulphur</i> a 12, 24, 30 e 60cH pulverizados na parte aérea	Água destilada e solução hidroalcoólica a 0,3%; Harpina como controle positivo	Pulverização dos tratamentos nas duas faces das folhas	Todos os tratamentos, pelo menos em uma análise, aumentaram a atividade das enzimas. <i>C. citriodora</i> e <i>C. carbonica</i> induziram o acúmulo de faseolina.
Rissato et al. (2018)	Feijoeiro	Avaliar a atividade antimicrobiana e o controle do mofo branco pelos tratamentos	Desenvolvimento da doença, n° de plantas mortas, n° de escleródios, crescimento do micélio.	<i>Phosphorus</i> e <i>Calcaree carbonica</i> nas dinâmizações 6, 12, 24, 36 e 48cH	Solução hidroalcoólica 30%	Tratamentos (0,1%) foram colocados no solo (3 dias antes, no dia e 3, 10 e 17 dias após a inoculação)	<i>Phosphorus</i> 12cH, <i>Phosphorus</i> 48cH, <i>Calcaree carbonica</i> 12cH e <i>Calcaree carbonica</i> 48cH induziram resistência na planta diminuindo o progresso da doença em até 83%, e o n° de plantas mortas em até 90%. Algumas dinâmizações diminuíram o crescimento do fungo e <i>C. carbonica</i> 48cH inibiu a produção de escleródios
Rissato et al. (2016a)	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Avaliar a atividade antifúngica	N° de escleródios e crescimento micelial	Bioterápico de <i>S. sclerotiorum</i> e <i>Sulphur</i> , ambos na 6, 12, 24, 36 e 48cH	Água destilada e solução hidroalcoólica	Incorporação dos tratamentos ao meio de cultura na concentração de 0,1%	Não houve efeito sobre o crescimento micelial de <i>S. sclerotiorum</i> . Bioterápico 24cH, <i>Sulphur</i> 36cH e 48cH reduziram o número de escleródios

Rissato et al. (2016b)	Feijoeiro	Avaliar o efeito de <i>Calcarea carbonica</i> e <i>Phosphorus</i> no controle do mofo branco, causado por <i>S. sclerotiorum</i>	Área abaixo da curva de progresso da doença e percentagem de plantas mortas	<i>C. carbonica</i> e <i>Phosphorus</i> nas dinamizações 6, 12, 24, 36 e 48cH	Solução hidroalcolica 30%	Aplicação no solo, na concentração de 0,1% em 5 datas	<i>C. carbonica</i> 6cH e <i>Phosphorus</i> 6, 12, 24, 36 e 48cH reduziram a intensidade da doença. Apenas <i>C. carbonica</i> 12cH e 24cH reduziram a percentagem de plantas mortas pelo mofo branco
Rissato et al. (2016c)	<i>Fusarium solani</i>	Avaliar o efeito de <i>Sulphur</i> e <i>Calcarea carbonica</i> sobre o fungo	Área abaixo da curva de crescimento micelial e produção de esporos	<i>Sulphur</i> e <i>C. carbonica</i> nas dinamizações 6, 12, 24 e 36cH	Solução hidroalcolica 30%	Incorporação dos tratamentos no meio de cultura na concentração de 0,1%	O crescimento micelial foi reduzido por <i>C. carbonica</i> 12, 24 e 36cH. A esporulação do fungo foi reduzida por <i>Sulphur</i> 24 e 36cH e <i>C. carbonica</i> 12cH
Swarowsky et al. (2014)	Tomateiro	Avaliar o efeito de <i>Cina</i> no controle do nematoide <i>Meloidogyne incognita</i> raça 3	Nº de galhas nas raízes, ovos e juvenis J2 presentes nas raízes e solo, bem como crescimento das plantas	<i>Cina</i> nas dinamizações 12, 24, 50, 100, 200 e 400cH	Etanol 70%, Carbofuran, água destilada, plantas não tratadas e não inoculadas	Os tratamentos (0,1%) foram pulverizados semanalmente. Em laboratório os juvenis foram colocados em recipientes contendo os tratamentos	<i>Cina</i> estimulou o desenvolvimento das raízes, mesmo na presença do nematoide. <i>Cina</i> 100cH estimulou o crescimento dos ramos. Não houve efeito nematostático, nem efeito nematocida das dinamizações testadas
Toledo et al. (2016)	<i>Alternaria solani</i>	Avaliar o efeito in vitro das dinamizações contra o patógeno	Crescimento do micélio, esporulação, germinação dos conídios	Própolis, isoterápico de <i>A. solani</i> e isoterápico de folhas infectadas 6, 12, 30 e 60cH; <i>Sulphur</i> , <i>Silicea terra</i> , <i>Staphysagria</i> , <i>Phosphorus</i> , <i>Ferrum sulphuricum</i> e <i>Kali iodatum</i> 6, 12, 30 e 100cH	Solução hidroalcolica 30% e água destilada	Os tratamentos foram incorporados ao meio de cultura	<i>Sulphur</i> 100cH, <i>Sphysisagria</i> 100cH e água dinamizada a 60 e 100cH reduziram o crescimento do micélio; própolis em 6, 30 e 60cH e <i>Ferrum sulphuricum</i> 6 e 30cH reduziram a esporulação; os dois isoterápicos na 6cH e <i>Ferrum sulphuricum</i> 12 e 30cH reduziram a germinação dos esporos
Toledo et al. (2015)	Tomateiro	Avaliar o efeito dos tratamentos no controle da pinta preta causada por <i>Alternaria solani</i> e em variáveis do crescimento da planta	Severidade da doença, área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC), volume das raízes (VR), biomassa seca das raízes (BSR), biomassa fresca da parte aérea (BFPA) e biomassa seca da parte aérea (BSPA)	Própolis, <i>Sulphur</i> e <i>Ferrum sulphuricum</i> nas dinamizações 6, 12, 30 e 60cH	Solução hidroalcolica 10% e água destilada	Os tratamentos foram pulverizados na concentração de 0,005% em solução hidroalcolica 10%, 72 h antes da inoculação com o patógeno, e depois de 7 dias foram realizadas novas pulverizações a cada 72 h	Todas as dinamizações de própolis reduziram a AUDPC. Própolis 30 e 60cH incrementou o VR, além da BFPA e BSR. <i>Sulphur</i> 12 e 30cH reduziram a AUDPC. <i>F. sulphuricum</i> 6, 12 e 30 cH reduziram a AUDPC. <i>Sulphur</i> em todas as dinamizações aumentou a BFPA e em 60cH incrementou BSR, o que também ocorreu com <i>F. sulphuricum</i> 60cH
Trebbs et al. (2016)	Couve-flor	Avaliar o efeito do arsênico dinamizado sobre a mancha de <i>Alternaria brassicicola</i>	Germinação de esporos do fungo, severidade da doença e produção	As_2O_3 35 e 45dH, <i>Cuprum metallicum</i> 35 e 45dH e <i>Nosódio</i> 35 e 45dH	Água destilada, 5mM de BABA e oxicloreto de cobre	Três pulverizações em pré ou pós-inoculação	As_2O_3 35dH, <i>Cuprum</i> 35 e 45dH induziram grande inibição da germinação dos esporos. As_2O_3 35dH induziu redução na doença em condição controlada e no ensaio a campo

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

Apesar dos resultados promissores obtidos por diversos autores, é fundamental que mais estudos sejam realizados para aprofundar o entendimento sobre a interferência de fatores intrínsecos à espécie vegetal ou cultivar utilizada, e como esses elementos podem impactar as respostas das plantas aos tratamentos homeopáticos. As variações genéticas, o estágio de desenvolvimento, as condições ambientais e os métodos de cultivo são fatores que podem exercer influências significativas sobre a eficácia dos preparados homeopáticos. A especificidade das respostas vegetais, que podem variar conforme essas variáveis, torna a análise desses fatores um aspecto essencial para garantir a robustez e a aplicabilidade das conclusões de cada estudo.

Por outro lado, ao se observarem as publicações mais recentes sobre dinamizações homeopáticas em plantas, é possível perceber um salto qualitativo nas pesquisas, refletido em um amadurecimento da metodologia adotada. Nos últimos anos, os experimentos têm demonstrado um refinamento tanto no desenho experimental quanto nas técnicas utilizadas, com destaque para a melhoria na descrição e condução desses estudos. A incorporação de controles mais rigorosos, a padronização das metodologias e o uso de tecnologias mais avançadas têm contribuído para a obtenção de dados mais consistentes e confiáveis.

Além disso, novas sugestões têm surgido para o aprimoramento dos experimentos, como a ampliação da variabilidade dos materiais utilizados (incluindo diferentes espécies e cultivares), o uso de múltiplos tratamentos homeopáticos e a consideração de aspectos como a interação entre a homeopatia e outras práticas agrícolas sustentáveis. Tais aprimoramentos permitem uma análise mais profunda e integrada dos efeitos dos preparados homeopáticos, considerando a complexidade dos agroecossistemas e a necessidade de respostas mais equilibradas e holísticas no manejo de plantas.

Esses avanços na qualidade metodológica também apontam para a necessidade de expandir o campo de pesquisa em direção à aplicação prática dos resultados, seja no controle de pragas, no estímulo ao crescimento ou na melhoria da saúde das plantas. O estabelecimento de protocolos experimentais mais robustos, combinados com uma compreensão mais refinada dos fatores biológicos, permitirá que a homeopatia seja utilizada de maneira ainda mais eficaz e segura no manejo agrícola.

5. Considerações

É possível afirmar que a homeopatia se estabelece como uma ciência crescente e promissora no manejo de agroecossistemas, desempenhando um papel fundamental na transformação de propriedades agrícolas para sistemas agroecológicos. A homeopatia, com suas dinâmicas de atuação em nível de energias e compostos bioativos, oferece uma abordagem holística e integrada ao manejo sustentável, possibilitando um maior equilíbrio entre os diversos

elementos que compõem o sistema agrícola, como plantas, solo, água, biodiversidade e saúde ambiental. Sua aplicação no manejo fitossanitário das plantas, no controle de pragas e doenças, sem o uso intensivo de produtos químicos, fortalece a resistência natural das plantas e contribui para a resiliência do ecossistema.

Além disso, a homeopatia reduz significativamente a dependência de insumos externos, como fertilizantes e pesticidas convencionais, o que favorece a autonomia dos agricultores (as). A independência econômica dos produtores é, assim, uma das principais vantagens dessa abordagem, pois ela permite uma maior redução de custos e um sistema de produção mais sustentável e acessível, especialmente para pequenos e médios agricultores. A redução de custos também está intimamente ligada à preservação da qualidade do solo e da água, elementos vitais para a continuidade da produção agrícola em longo prazo.

Essa autonomia, aliada à preservação ambiental, reflete diretamente nos pilares fundamentais da sustentabilidade: o ambiental, o social e o econômico. A homeopatia promove a conservação e a regeneração dos recursos naturais, respeitando a biodiversidade e o equilíbrio ecológico, aspectos essenciais da agroecologia. Ao mesmo tempo, contribui para a promoção da justiça social e da inclusão, oferecendo alternativas mais acessíveis aos agricultores (as), especialmente em comunidades que buscam alternativas aos modelos de agricultura intensiva. Socialmente, a prática homeopática pode fortalecer a autonomia local e os saberes tradicionais, promovendo a educação e a conscientização ambiental.

Em termos econômicos, a adoção de práticas homeopáticas pode ser uma chave para a viabilidade econômica das propriedades rurais, garantindo que os custos com insumos sejam reduzidos e, ao mesmo tempo, que a produtividade das culturas seja mantida ou até melhorada, respeitando o tempo de regeneração natural dos ecossistemas. Dessa forma, a homeopatia não só complementa, mas também amplia os princípios e as práticas agroecológicas, tornando-se uma ferramenta estratégica para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

Por fim, os resultados da aplicação de homeopatia em agroecossistemas demonstram um grande potencial de transformação na maneira como a agricultura pode ser conduzida, sempre em consonância com os princípios de sustentabilidade e respeito ao meio ambiente. A crescente pesquisa e o aprofundamento das metodologias homeopáticas ampliam as perspectivas para um futuro onde a agricultura não seja apenas produtiva, mas também regenerativa, justa e equilibrada. A homeopatia, assim, se firma como uma poderosa aliada na busca por um modelo de agricultura verdadeiramente sustentável, equilibrado e acessível a todos os produtores e consumidores.

6. Referências

- AGUT B.; PASTOR, V.; JAQUES, J. A.; FLORS, V. Can plant defense mechanisms provide new approaches for the sustainable control of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*? **Int. J. Mol. Sci.**, v. 19, n. 2, p. 614, 2018. DOI: 10.3390/ijms19020614.
- ALMEIDA, A. A. **Preparados homeopáticos no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith, 1797) (Lepidóptera: Noctuidae) em milho**. 2003. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- ALMEIDA, K.; CÂMARA, F. L. A. Preparados homeopáticos e adubação verde no controle de *Cyperus rotundus* L. **Revista Ceres**, v. 59, p. 422-426, 2012.
- ALTIERI, M. A. Entrevista. **Agricultura sustentável**. Jaguariúna, v. 2, n. 2, p. 5-11, 1995.
- ANDRADE, F. M. C. Efeito de homeopatias no crescimento e na produção de cumarina em chambá (*Justicia pectoralis* Jacq.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 4, n. 1, p. 19-27, 2001.
- ANDRADE, M. C.; CASALI, V. W. D. Análise quantitativa da patogenesia de *Arnica montana* em plantas de chambá (*Justicia pectoralis* Jacq.). In: Seminário brasileiro sobre homeopatia na agropecuária orgânica, 4., 2004, Medianeira, PR. **Anais...** Universidade Federal de Viçosa, 2004. p. 51-58.
- ARAÚJO, M. J. C.; CÂMARA, C. A. G.; BORN, F. D. S.; MORAES, M. M. Acaricidal activity of binary blends of essential oils and selected constituents against *Tetranychus urticae* in laboratory/greenhouse experiments and the impact on *Neoseiulus californicus*. **Exp. Appl. Acarol.**, v. 80, n. 3, p. 423-444, 2020. DOI: 10.1007/s10493-020-00464-8.

ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. Agricultura e sustentabilidade: contexto, desafios e cenários. **Ciência & Ambiente**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 29, p. 15-31, 2004.

ATAIDE, J. O.; HUVER, A.; DEOLINDO, F. D.; HOLTZ, F. G.; ZAGO, H. B.; MENINI, L. Avaliar a atividade acaricida dos óleos essenciais de *Zingiber officinale* e *Rosmarinus officinalis* por fumigação sobre fêmeas de *Tetranychus urticae*. **Acta Ambiental Catarinense**, v. 15, n. 2, p. 57-65, 2018.

AVELINO, L. D.; PORTELA, G. L. F.; GIRÃO FILHO, J. E.; MELO JUNIOR, L. C. Repelência de óleos essenciais e vegetais sobre pulgão-preto *Aphis craccivora* Koch na cultura do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Verde**, v. 14, n. 1, p. 21-26, 2019. DOI: 10.18378/rvads.v14i1.5981.

BERMEJO, R. **Manual para uma economia ecológica**. Madrid: Catarata, 1994.

BETTI, L.; TREBBI, G.; MAJEWSKY, V.; SCHERR, C.; SHAH-ROSSI, D.; JÄGER, T.; BAUMGARTNER, S. Use of homeopathic preparations in phytopathological models and in field trials: a critical review. **Homeopathy**, v. 98, n. 4, p. 244-266, 2009.

BEZERRA, M. C. L.; VEIGA, J. E. (Coord.) **Agricultura Sustentável**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio Museu Emílio Goeldi, 2000.

BOFF, P. **Agropecuária saudável: da prevenção de doenças, pragas e parasitas a terapêutica não residual**. EPAGRI/UEDESC, Lages/SC, Brasil. 80 pp. 2008.

BONATO, C. M. **Homeopatia simples: alternativa para a agricultura familiar**. 3. ed. Marechal Cândido Rondon: Gráfica Líder, 2014.

BRASIL. **Instrução normativa Nº 46, de 06 de Outubro de 2011**. Diário Oficial da União (D. O. U.) de 07 de Outubro, Seção 1, p. 19, 2011.

BROWN, A. M. G.; EDWARDS, C. M.; DAVEY, M. R.; POWER, J. B.; LOWE, K. C. Effects of extracts of *Tanacetum* species on human polymorphonuclear leucocyte activity in vitro. **Phytotherapy research**, n. 11, p. 479-484, 1997.

BRUNELI, L. V.; FIM, B. P.; CARVALHO, R. C. B.; BIGHI, A. R.; PINTO, G. P.; NOVAES, C. A. de; NOVAES, G. A. de; SOUZA, M. N. In: SOUZA, M. N. (Org.). Pedagogias e gestão da sustentabilidade nas abordagens ensino-aprendizagem. **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 277-308. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c10>

CAISAN. CÂMARA INTERMINISTERIAL DE SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL. **Agroecologia e o direito humano à alimentação adequada**. Relatório apresentado pelo Relator Especial sobre direito à alimentação, Olivier de Schutter.--Brasília, DF: MDS, 2012. 32p.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e extensão rural: contribuições para a promoção de desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MDA/SAF/DATER-2007. 166P. CIP - Centro Internacional de la Papa. 50 potato facts. Disponível em <http://www.cipotato.org/publications/pdf/004499.2014>.

CARVALHO, L. M. **Disponibilidade de água, irradiância e homeopatia no crescimento e teor de partenólídeo em Artemísia**. Viçosa: UFV, 2001. 139p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, 2001.

CASALI, V. W. D.; ANDRADE, F. M. C.; DUARTE, E. S. M. **Acologia de altas diluições**. Viçosa: UFV, 2009.

CASALI, V. W. D. **Homeopatia: da saúde dos seres vivos a segurança alimentar**. In: Seminário sobre ciências básicas em homeopatia, IV, Lages, SC, 2004, Epagri, 97 p.

CUPERTINO, M. C. **O conhecimento e a prática sobre homeopatia pela família agrícola**. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ERDMANN, M. **Ocorrência de *Hypericum* spp. no Planalto Serrano Catarinense e a utilização da homeopatia no cultivo de *Hypericum perforatum* e *Hypericum inodorum* “*Androsaemum*”**. 2008. 81p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages

ESPINOZA, F. J. R. **Agrohomeopatia: una opción ecológica para el campo mexicano**. La Homeopatia de México, v.70, n.613, p.110-116, 2001.

ESTEVA, G. Development. In: SACHS, W. (ed). **The development dictionary: a guide to knowledge as power**. London: Zed Books Ltda., 1996.

FIEDLER, L., Z. M.; DOTTO, M. L. G.; TAGLIAPIETRA, O. M.; BERTOLINI, G. R. F. Produção e mercados do morango orgânico no município de Cascavel (PR). **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 9, n. 1, p. 40-59, 2020. <https://doi.org/10.36363/rever9120204059>.

FIGUEIREDO, C. **Transição agroecológica em sistemas de produção de batata**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2005. p. 118.

FONTES, O. L. **Farmácia Homeopática: teoria e prática**. 4. ed. Barueri: Manole, 2012.

GERSHENZON, J. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 20, n. 6, p. 1281-1328, 1994.

GIESEL, A. **Preparados homeopáticos, iscas fitoterápicas, conhecimento popular e estudo do comportamento para o manejo das formigas cortadeiras no planalto serrano catarinense**. 2007. 94p. Dissertação

(Mestrado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages.

GLESSMAM, S. R. **Agroecology**: researching the ecological basis for sustainable agriculture. (Ed.) New York: SpringerVerlag, 1990.

GUZMÁN CASADO, G.; GONZÁLEZ de MOLINA, M.; SEVILLA GUZMÁN, E. **Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible**. Madrid: Mundi-Prensa, 2000. 535 p.

HAMLY, E. C. **A arte de curar pela homeopatia**: o organon de Samuel Hahnemann. São Paulo: 1979. 113 p.

HECHT, S.B. A evolução do pensamento agroecológico. In: ALTIERI, M. A. (ed). **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. p. 25-41.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003** que dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVil_03/leis/2003/L10.831.htm

MENEGHETTI, G. A. Desenvolvimento, sustentabilidade e agricultura familiar. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, 2001.

NWANADE, C. F.; WANG, M.; WANG, T.; YU, Z.; LIU, J. Botanical acaricides and repellents in tick control: current status and future directions. **Exp Appl Acarol**. v. 81, n. 1, p. 1-35, 2020. DOI:10.1007/s10493-020-00489-z.

PAVELA, R.; STEPANYCHEVA, E.; STEPANYCHEVA, A.; CHERMENSKAYA, T.; MARIYA PETROVA, M. Essential oils as prospective fumigants against *Tetranychus urticae* Koch. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 94, p. 755-761, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.050>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.050>. Acesso em: 26 mar. 2024.

PERON, I. B.; NOVELLO, J. S.; MASSARIOL, B. P.; PINTO, G. P.; NASCIMENTO, L. M.; RANGEL, G. S.; CARVALHO, R. C. B.; EGIDIO, L. S.; VIEIRA, R. C.; COSTA, W. M.; FIGUEIREDO, J. S. M.; SOUZA, M. N. In: SOUZA, M. N. (Org.) Diferenças entre agroecologia, agricultura orgânica e transição agroecológica. In: **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 44-82. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c1>

PRETTY, J. N. **Regenerating agriculture**: policies and practice for sustainability and self-reliance. London: Earthscan, 1996.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Carlos Eduardo; HERNÁNDEZ-BRENES, Carmen; TREVIÑO, Víctor; LA GARZA, Rocío I. Díaz. Avocado fruit maturation and ripening: dynamics of aliphatic acetogenins and lipidomic profiles from mesocarp, idioblasts and seed. **BMC Plant Biology**, [s. l.], v. 17, n. 159, p. 1-23, 2017. DOI 10.1186/s12870-017-1103-6. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-017-1103-6>. Acesso em: 7 maio 2024.

ROSSI, F. **Aplicação de preparados homeopáticos em morango e alface visando o cultivo com base agroecológica**. Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. P, 80.

ROSSI, F. *et al.* Experiências básicas de homeopatia em vegetais. Contribuição da pesquisa com vegetais para a consolidação da ciência homeopática. **Cultura Homeopática**, v. 3, n. 7, p. 12-13, 2004.

ROSSI, F.; MELO, P. C. T.; MINAMINI, K.; AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MENDES, P. C. D.; SAKAY, R. H.; BRÉFERE, F. A. T. Substrato composto por húmus de minhoca e areia na produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, 2004.

RUPP, L. C. D; BOFF, M. I. C.; BOFF, P; GONÇALVES, P. A. de S.; BOTTON, M. High dilution of Staphysagria and fruit fly biotherapeutic preparations to manage South American fruit fly, *Anastrepha fraterculus*, in organic peach orchards. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, v. 28, n.1, p. 41-48, 2012.

SANTOS, A. T. B.; DIAN, V. S.; PARREIRA, L. A.; LOURENÇO, M. P.; ZANUNCIO JUNIOR, J. S.; JESUS, E. G. de; SANTOS, M. F. C.; MENINI, L. Aphid *Cerosipha forbesi* control using *Piper macedoi* Yunck essential oil in strawberry crop. **Nat Prod Res.** P. 1–6, 2023. doi:10.1080/14786419.2023.2214832.

SEVILLA GUZMÁN, E. **Ética ambiental y agroecología**: elementos para uma estratégia de sustentabilidade contra el neoliberalismo y la globalización económica. Córdoba: ISECETSIAM, Universidad de Córdoba, España, 1999. (mimeo).

SOUZA NETA, Q. F. de; SOUZA, M. N.; OLIVEIRA, C. H. R.; PEREIRA, I. M. C.; FRANCISCHETTO, B. de M.; BIGHI, A. R.. In: SOUZA, M. N. (Org.). Educação ambiental como ferramenta de ensino da agroecologia e sustentabilidade. **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 164-183. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c5>

TEIXEIRA, M. Z.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Efeito de ultradiluições homeopáticas em plantas: revisão da literatura. **Revista de Homeopatia**, v.80, n.1/2, p.113-132, 2017.

CAPÍTULO 4

Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos

Felipe da Silva Gomes, Barbara Petri Massariol, Bianca Perciliano Fim, Gracieli Lorenzoni, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c4>

Resumo

O controle biológico é uma abordagem agroecológica essencial para o manejo sustentável de pragas, oferecendo uma alternativa ao uso intensivo de agrotóxicos. Essa estratégia utiliza organismos vivos, como predadores, parasitoides e patógenos, para controlar populações de pragas, contribuindo para a redução dos impactos negativos no solo, na água, no ar e na biodiversidade. Além de preservar a diversidade biológica e evitar o desenvolvimento de resistência em pragas, o controle biológico protege a saúde humana ao minimizar a exposição a químicos tóxicos, promove economia para os agricultores, melhora a qualidade dos alimentos e está alinhado aos princípios da agroecologia, fortalecendo sistemas agrícolas mais equilibrados e resilientes. O presente capítulo tem como objetivos apresentar os conceitos fundamentais do controle biológico, discutir suas aplicações práticas e destacar sua importância no contexto de sistemas agroecológicos, enfatizando os benefícios ambientais, sociais e econômicos dessa prática como solução sustentável na redução do uso de agrotóxicos.

Palavras-chave: Manejo de pragas. Redução de impactos ambientais. Economia agrícola. Saúde humana e ambiental. Agroecologia. Elevação da biodiversidade. Produção sustentável.

1. Introdução

Atualmente, os extensos monocultivos, que priorizam a produção em larga escala utilizando fertilizantes inorgânicos, sistemas de irrigação intensiva e material genético de alto rendimento, têm gerado desequilíbrios significativos no ecossistema. Essa prática acarreta diversos problemas, principalmente devido ao uso intensivo de agrotóxicos na agricultura (Zanuncio Junior *et al.*, 2018; Caetano, 2019). A preocupação com os impactos negativos causados pela modernização agrícola e o uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido amplamente debatida desde os anos da década de 1970 (Miollo *et al.*, 2022).

A aplicação inadequada de agrotóxicos está diretamente associada a uma série de repercussões ambientais e sociais, incluindo a contaminação de alimentos, solo, água e fauna. Além disso, há registros de intoxicação de agricultores, desenvolvimento de resistência de patógenos, pragas e plantas invasoras a determinados produtos químicos, desequilíbrios biológicos que comprometem a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, eliminação de organismos benéficos e uma expressiva redução da biodiversidade (Altieri *et al.*, 2007; Zanuncio Junior *et al.*, 2018; Gonçalves, 2020; Souza; Castilho, 2022; Coelho; Maroto; Souza, 2023).

Nesse contexto, tanto na pesquisa científica quanto nas políticas públicas, os sistemas agroecológicos emergem como uma alternativa viável ao modelo agrícola convencional. Esses sistemas se destacam por seu potencial de produção sustentável, abrangendo uma ampla diversidade de espécies vegetais e animais. Os benefícios incluem a redução da dependência de insumos externos, o aumento da renda de pequenos agricultores e a melhoria das interações ecológicas, como o incremento da fertilidade do solo e a preservação da biodiversidade da fauna e flora (Souza; Castilho, 2022; Coelho; Maroto; Souza, 2023; Effgen *et al.*, 2024).

Para restaurar o equilíbrio dos sistemas agrícolas, o manejo agroecológico de pragas se apresenta como uma solução eficaz, promovendo a redução das populações de insetos-praga e o aumento das populações de inimigos naturais. No entanto, apesar de sua eficácia, ainda há riscos de proliferação de pragas, reforçando a necessidade de que o controle seja realizado de forma sustentável (Zanuncio Junior *et al.*, 2018).

O objetivo deste estudo é propor uma alternativa ao uso de agrotóxicos no controle de pragas e doenças em cultivos agrícolas, utilizando o controle biológico em sistemas agroecológicos como uma estratégia sustentável e eficiente.

2. Controle biológico

O principal método de manejo de doenças e pragas na produção agrícola ainda é o uso de fungicidas e inseticidas sintéticos. O grupo dos agrotóxicos foi responsável por 16% dos 597.498 registros de intoxicações exógenas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), de acordo com Lara *et al.* (2019). Segundo Velho *et al.* (2019), muitos agricultores ainda se opõem ou desconhecem outras alternativas de produção, o que tem levado ao aumento do uso de defensivos agrícolas a cada ano na tentativa de minimizar as perdas causadas por pragas, colocando o Brasil entre os maiores consumidores mundiais de agrotóxicos (Figura 1).

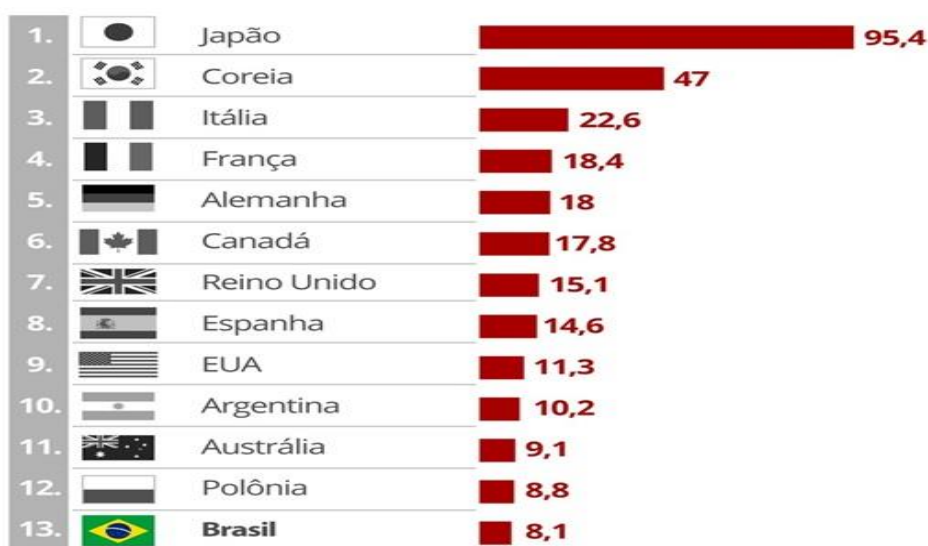


Figura 1. Gasto com agrotóxico por produção em 2017 (em US\$ por tonelada de alimento produzido). Fonte: Unesp Botucatu/Andef, 2019.

Os inseticidas são agentes químicos desenvolvidos para eliminar insetos. Contudo, sua utilização frequentemente afeta não apenas as pragas-alvo, mas também insetos benéficos, como polinizadores e inimigos naturais, essenciais para o controle biológico na agricultura. O efeito não seletivo desses produtos

pode agravar as infestações ao invés de controlá-las. Além disso, o uso excessivo de inseticidas provoca diversos problemas ambientais, incluindo erosão do solo, perda de nutrientes e alterações na microbiota do solo, uma população de microrganismos fundamental para o controle natural de pragas, já que abriga fungos e bactérias que regulam populações de insetos (Coelho; Maroto; Souza, 2023; Effgen *et al.*, 2024).

Plantas em ambientes equilibrados têm maior capacidade de lidar com pragas e doenças sem comprometer a produtividade agrícola. Em sistemas agroecológicos, o ambiente não favorece o crescimento descontrolado de pragas, garantindo maior equilíbrio ecológico. Esses sistemas promovem técnicas conservacionistas, como preparo do solo sustentável, rotação de culturas, adubação verde e controle biológico de pragas e doenças, além de um uso eficiente e inteligente dos recursos naturais (Caetano, 2019; Coelho; Maroto; Souza, 2023).

O controle biológico, também conhecido como biocontrole ou bioproteção, é uma estratégia de manejo de pragas que utiliza organismos vivos, como inimigos naturais, patógenos, semioquímicos e substâncias naturais. Esse método se destaca por, frequentemente, apresentar poucos ou nenhum efeito colateral em comparação com outras abordagens de controle na agricultura (Figura 2).



Figura 2. Agentes de controle biológico, como as joaninhas, são frequentemente usados para o controle de insetos praga como os pulgões. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

Durante décadas, os produtores agrícolas dependeram amplamente do uso de pesticidas químicos. Contudo, os problemas associados a esses produtos se tornaram cada vez mais evidentes. Entre os principais desafios estão os impactos negativos na saúde humana, o desenvolvimento de resistência das pragas aos químicos e os danos ao meio ambiente.

Diante dessas questões, os benefícios proporcionados pelo controle biológico se tornaram cada vez mais claros, consolidando-se como uma alternativa sustentável e eficaz para o manejo de pragas na agricultura. Assim, o manejo ecológico de pragas (MEP) surgiu como uma resposta da agricultura orgânica à demanda por alimentos livres de agrotóxicos e produtos químicos. O MEP promove o manejo de agroecossistemas saudáveis e naturais, incorporando princípios ecológicos ao manejo integrado de pragas (MIP), que conecta a dinâmica populacional de pragas ao ambiente agrícola (Michereff Filho *et al.*, 2013; Zampieri *et al.*, 2021).

Os benefícios do controle biológico em sistemas agroecológicos dependem do *design* e da composição de espécies nesses sistemas. Apesar disso, o controle biológico se mostra uma alternativa eficaz para reduzir a presença e a persistência de organismos considerados pragas (Souza; Castilho, 2022). Para implementar um programa sustentável de manejo integrado de pragas, é necessário considerar princípios econômicos, ecológicos e toxicológicos. O princípio econômico relaciona-se à adoção de tecnologias de baixo custo, garantindo produtividade superior aos investimentos. Já os princípios ecológicos e toxicológicos envolvem o uso do controle biológico para mitigar danos ambientais e controlar populações de pragas (Busoli *et al.*, 2012; Pimenta Júnior *et al.*, 2021).

Práticas conservacionistas são fundamentais para reduzir os impactos negativos da agricultura. O controle biológico é um método ecológico que utiliza inimigos naturais, como parasitoides, insetos predadores e microrganismos (fungos, bactérias e até vírus), para combater pragas agrícolas (Zampieri *et al.*, 2021) (Figura 3). Esse método é mais seguro em comparação aos agrotóxicos, pois não contamina alimentos nem prejudica o meio ambiente e a saúde humana (Embrapa, 2018). Como observado por Zanuncio Junior *et al.* (2018), “os insetos estão presentes na natureza com o objetivo de manter o equilíbrio biológico”.

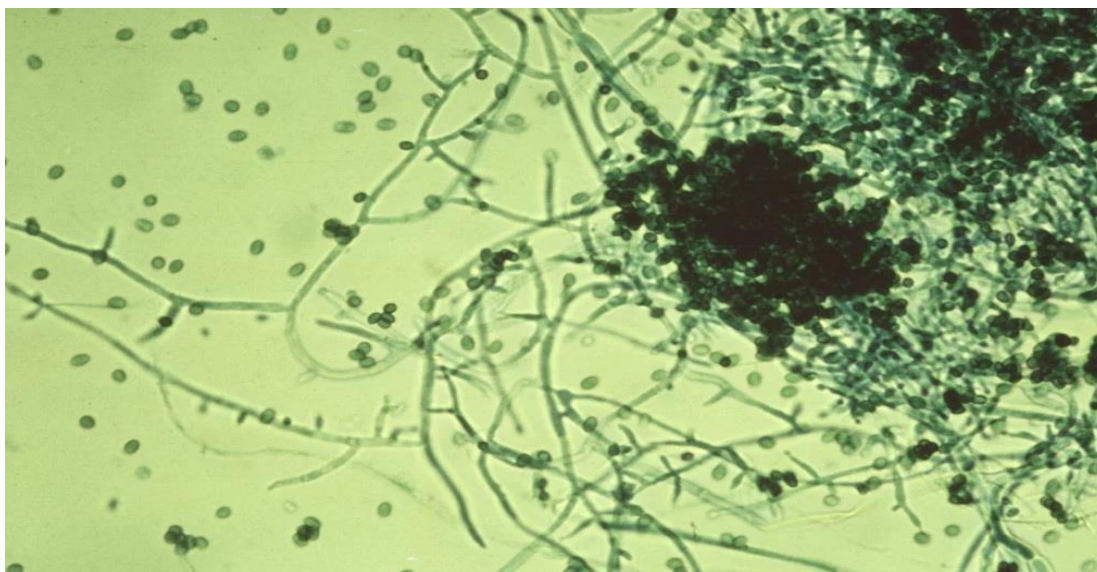


Figura 3. *Trichoderma viride*, fungo que pode atuar como biofungicida, pode ser utilizado como método de controle biológico para suprimir doenças causadas por fungos patogênicos de plantas. Foto de CABI. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

3. Principais tipos de controle biológico

O controle biológico pode ser classificado em três tipos principais: **controle biológico aumentativo**, **controle biológico de conservação** e **controle biológico clássico** (Figura 4).

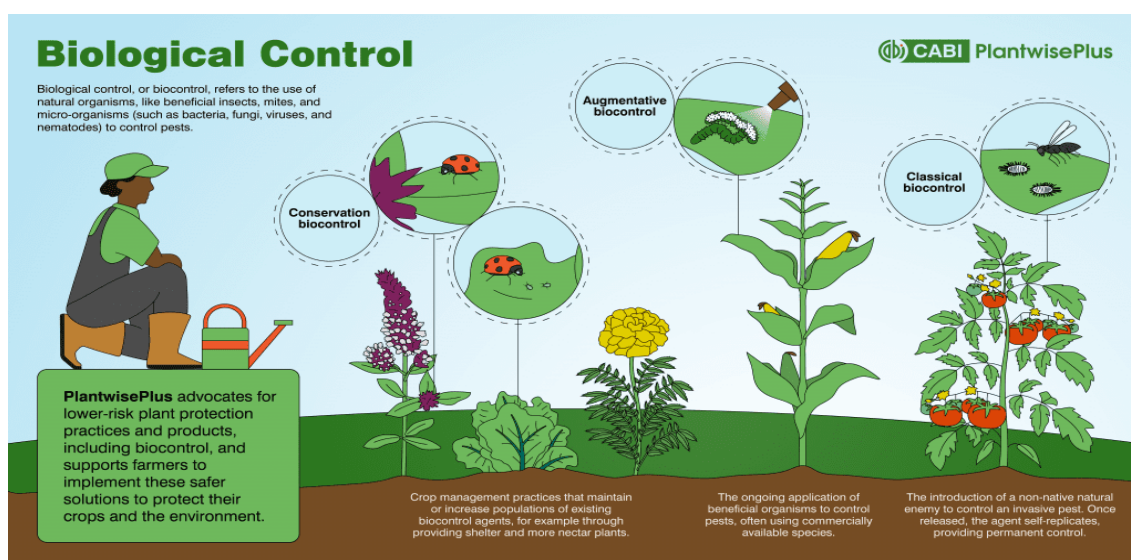


Figura 4. Principais tipos de controle biológico para culturas: conservacionista, aumentativo e clássico. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>. Crédito: CABI, 2024.

Cada uma dessas abordagens apresenta características distintas, estratégias específicas e contextos de aplicação (ABCBIO, 2015; Brasil, 2020; França, 2020; Gonçalves, 2020; Mello; Dias, 2020; Hashemi *et al.*, 2021; Caetano, 2022).

➤ Controle Biológico Aumentativo

O controle biológico aumentativo consiste no aumento populacional de inimigos naturais ou agentes patogênicos em um determinado ambiente, de forma planejada e oportuna, para controlar pragas e doenças (Figura 5).



Figura 5. Agricultor pulverizando um campo com um produto fitofarmacêutico.

Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>. Crédito: Sundaram via Pixahive, 2024.

- ✓ **Como funciona:** Inimigos naturais, como predadores, parasitoides ou microrganismos benéficos, são introduzidos em maior quantidade no ambiente para combater pragas de maneira eficaz.
- ✓ **Exemplo de aplicação:** O uso de biopesticidas contendo microrganismos como *Bacillus thuringiensis* (Bt) ou fungos entomopatogênicos para o controle de insetos pragas.
- ✓ **Vantagem:** Geralmente é uma estratégia de curto prazo, eficaz para situações onde há um surto de pragas que precisa ser rapidamente controlado.

➤ Controle Biológico de Conservação

Essa abordagem foca na preservação e no estímulo ao aumento de inimigos naturais já presentes no ecossistema (Figura 6).



Figura 6. Campo de trigo com borda florida - fornece fonte de alimento para inimigos naturais e polinizadores. Crédito: PxAqui, 2024. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>.

✓ **Como funciona:** As práticas agrícolas são ajustadas para criar condições favoráveis à sobrevivência e reprodução de predadores, parasitoides e patógenos. Isso pode incluir o fornecimento de fontes de alimento, como pólen e néctar, ou a redução do uso de agrotóxicos que impactem negativamente esses organismos benéficos.

✓ **Exemplo de aplicação:** A implementação de corredores ecológicos para facilitar o movimento de predadores naturais ou o plantio de culturas de cobertura que ofereçam abrigo e alimento.

✓ **Vantagem:** Promove a sustentabilidade ao utilizar organismos nativos e minimizar a necessidade de insumos externos.

➤ Controle Biológico Clássico

Também conhecido como biocontrole de importação, o controle biológico clássico envolve a introdução deliberada de inimigos naturais de outros locais para combater pragas específicas (Figura 7).



Figura 7. *Diadromus pulchellus* atacando uma pupa de mariposa de alho-poró.

Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

✓ **Como funciona:** Um organismo que atua como predador ou parasitoide da praga em seu habitat natural é introduzido no ambiente onde a praga está causando danos. Em alguns casos, agentes patogênicos também são introduzidos.

✓ **Exemplo de aplicação:** A introdução do besouro *Rodolia cardinalis* para controlar a cochonilha-das-cítricas (*Icerya purchasi*) em plantações de citros.

✓ **Vantagem:** Costuma ser uma solução de longo prazo, uma vez que os inimigos naturais introduzidos podem se estabelecer permanentemente e controlar a praga ao longo do tempo.

🌍 Participação de diferentes agentes

A aplicação dessas estratégias pode envolver diversos atores:

✓ **Produtores:** São responsáveis por implementar as práticas de biocontrole nas lavouras.

✓ **Cientistas:** Desenvolvem e testam os métodos e organismos utilizados no biocontrole.

✓ **Governos:** Regulamentam a introdução de organismos estrangeiros, apoiam a pesquisa e promovem políticas de incentivo ao uso do controle biológico.

Cada abordagem apresenta vantagens e limitações que devem ser avaliadas de acordo com o tipo de cultura, a praga a ser controlada e as condições ambientais. A integração dessas estratégias pode potencializar os resultados, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e menos dependente de químicos.

➤ **Escolha correta do tipo adequado de biocontrole**

A adoção dos diferentes tipos de controle biológico – aumentativo, de conservação e clássico – é um passo essencial para promover uma agricultura mais segura e sustentável (Figura 8).



Figura 8. O controle biológico de pragas, ou “bioproteção” - muitos benefícios que podem ajudar a superar os desafios associados ao uso de pesticidas químicos. © CABI. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

Para os produtores, os métodos de controle aumentativo e de conservação se destacam como estratégias complementares e eficazes. O biocontrole aumentativo oferece uma solução ágil para o combate a pragas e doenças, permitindo a introdução e multiplicação rápida de inimigos naturais e agentes patogênicos em momentos críticos. Já o biocontrole de conservação se concentra em criar e manter um ambiente favorável para esses inimigos naturais, garantindo sua sobrevivência e eficácia ao longo do tempo.

A integração dessas duas abordagens em suas práticas agrícolas pode trazer inúmeros benefícios, como a redução do uso de insumos químicos, o equilíbrio ecológico e a melhoria da saúde do solo e das culturas. Ao adotar essas estratégias de forma planejada, é possível potencializar o manejo sustentável das lavouras e fortalecer a resiliência do agroecossistema.

4. Mecanismos de controle biológico

O controle biológico pode ocorrer por diversos mecanismos, como competição, parasitismo, produção de antibióticos, indução de resistência no hospedeiro, predação, promoção do crescimento, entre outros. É comum que mais de um tipo de mecanismo de ação esteja envolvido em um processo de controle de pragas (França, 2020).

Segundo Gonçalves (2020), em agroecossistemas diversificados, vários fatores contribuem para a redução da incidência de pragas. Um aspecto importante é o aumento da presença de inimigos naturais, possibilitado pela oferta de fontes de alimento, como néctar e pólen, além de presas e hospedeiros alternativos. É essencial, também, garantir abrigo e conforto térmico para os insetos benéficos. Outro fator relevante é a dificuldade que as pragas enfrentam para localizar plantas hospedeiras devido à confusão visual ou olfativa e à presença de barreiras mecânicas.

Caetano (2022) enfatiza que o controle biológico é uma alternativa altamente eficaz, especialmente para sistemas agroecológicos e culturas alimentícias. Ele permite uma produção mais saudável e sustentável, reduzindo a necessidade de agrotóxicos e os impactos ambientais, além de melhorar a qualidade dos alimentos, o que beneficia a saúde dos consumidores.

Apesar dessas perspectivas positivas, o estágio atual das pesquisas ainda não possibilita o abandono completo dos métodos químicos. O controle biológico se posiciona como uma estratégia complementar à substituição parcial dos mecanismos sintéticos. Conforme França (2020), essa substituição parcial implica a combinação de várias técnicas de manejo, sendo que a integração de diferentes métodos apresenta maior probabilidade de sucesso em comparação

ao uso isolado de um único método. Assim, o controle biológico associado a outras práticas, como o manejo adequado e racional, mostra-se promissor.

Entretanto, no Brasil, a comercialização de produtos biológicos enfrenta desafios significativos. Barreiras burocráticas e regulamentações complexas dificultam o avanço desses produtos (ABCBIO, 2015; Hashemi *et al.*, 2021). Além disso, a desconfiança sobre sua eficácia decorre do baixo nível de orientação aos agricultores e do manuseio inadequado, resultando em desempenho limitado e insatisfação dos produtores.

A qualidade dos produtos disponíveis nem sempre atende aos padrões necessários, reforçando a resistência à adoção do biocontrole. Nesse contexto, a capacitação de agentes comerciais e extensionistas são fundamentais para assegurar o uso técnico adequado, gerando resultados positivos nas lavouras e aumentando a confiança dos agricultores nos produtos biológicos.

Apesar das lacunas existentes, como a necessidade de compreender melhor as interações entre organismos e planejar o uso integrado, o controle biológico tem demonstrado potencial crescente. Para superar os desafios, é fundamental o envolvimento de governos, indústrias e pesquisadores, promovendo estudos e iniciativas que facilitem a adoção dessa técnica (Mello *et al.*, 2020).

Embora existam entraves, o controle biológico tende a ocupar um espaço cada vez maior na agricultura, consolidando-se como uma prática comum em sistemas de produção agrícola e contribuindo para uma agricultura mais equilibrada e sustentável. Isso porque se percebe que o controle biológico se destaca como uma prática sustentável e eficiente, essencial para sistemas agrícolas que buscam aliar produtividade com conservação ambiental.

5. Métodos e agentes do controle biológico

O controle biológico, amplamente reconhecido como uma ferramenta essencial para a agroecologia, baseia-se no uso de organismos vivos para reduzir populações de pragas, promovendo uma alternativa sustentável ao uso de agrotóxicos (Van Lenteren *et al.*, 2018). Os agentes biológicos mais utilizados

são predadores, parasitoides e microrganismos, cada um com funções específicas e aplicações estratégicas em diferentes culturas:

➤ **Predadores** são organismos que atacam diretamente suas presas, alimentando-se delas e reduzindo suas populações. Por exemplo, insetos da família Coccinellidae, como as joaninhas, são amplamente reconhecidos pelo controle de pulgões, enquanto ácaros predadores da família Phytoseiidae têm se mostrado eficazes no controle de ácaros fitófagos (Heinz; Parra; Zucchi, 2022). A técnica de liberação massiva desses predadores tem sido aplicada em diversos cultivos, como hortaliças e frutíferas, com resultados promissores na redução de pragas de forma econômica e ambientalmente sustentável.

➤ **Parasitoides**, por sua vez, possuem um comportamento diferente. Eles depositam seus ovos sobre ou dentro do corpo do hospedeiro, cuja morte é inevitável após o desenvolvimento da prole. Espécies do gênero *Trichogramma* são amplamente empregadas no controle de lepidópteros-praga, como as lagartas que afetam culturas de soja e milho (Paron; Parra, 2020). A liberação inundativa de parasitoides tem se tornado uma prática crescente devido à sua eficácia e especificidade, especialmente em sistemas de manejo integrado de pragas.

➤ **Microrganismos entomopatogênicos**, como fungos, bactérias, vírus e nematoides, também desempenham papéis cruciais no controle biológico. A bactéria *Bacillus thuringiensis* é amplamente utilizada no controle de larvas de insetos, sendo uma alternativa eficiente e segura para a saúde humana e ambiental (Ramakrishna et al., 2019). De forma semelhante, o fungo *Beauveria bassiana* tem mostrado grande eficácia no controle de besouros e outros insetos-praga em cultivos de grande relevância econômica (Lopes et al., 2021).

Além de selecionar os agentes biológicos mais apropriados, a **integração de técnicas no manejo** é fundamental. O manejo integrado de pragas (MIP) combina o uso de controle biológico com práticas culturais, físicas e, quando necessário, químicas, para alcançar uma redução sustentável e econômica das pragas agrícolas (Dara, 2019). Estratégias como o monitoramento populacional e a conservação de habitats para agentes naturais são essenciais para a eficácia do MIP e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

A aplicação dos métodos de controle biológico é sensível a fatores ambientais e culturais específicos. Segundo Van Lenteren *et al.* (2018), a adoção de práticas como a liberação direcionada de agentes biológicos, a criação de corredores ecológicos e a rotação de culturas potencializa o impacto desses agentes no controle de pragas. Dessa forma, o controle biológico não apenas reduz a dependência de agrotóxicos, mas também contribui para a resiliência dos agroecossistemas.

6. Casos de controle biológico

Nos últimos anos, o campo de pesquisa e desenvolvimento de produtos para o controle biológico cresceu significativamente, especialmente em contextos como a produção de materiais orgânicos, onde este é o principal ou único método viável de manejo.

Segundo o levantamento realizado por Velho *et al.* (2019), entre os principais agentes de controle biológico de pragas, destacam-se: *Baculovirus*, utilizado no controle da lagarta da soja; *Beauveria bassiana*, no combate a ácaros e broca do café; *Metarhizium anisopliae*, eficaz contra trips, cigarrinhas e cupins; *Bacillus thuringiensis*, indicado para diversas espécies de lagartas; *Lecanicillium spp.*, para controle da cochonilha verde; e *Isaria spp.*, utilizado contra mosca-branca.

➤ ***Beauveria bassiana*: Uma Alternativa Sustentável para o Controle de Pragas Agrícolas** (Alves et al., 1998; ELEVAGRO, 2024)

O fungo *Beauveria bassiana* é um microrganismo que ocorre naturalmente no solo e possui grande potencial no controle biológico de pragas. Ele é capaz de infectar e matar mais de 700 espécies de insetos-praga, proporcionando uma alternativa seletiva e sustentável para a proteção de diversas culturas agrícolas, como milho, soja, algodão, café, banana e cana-de-açúcar.

O mecanismo de ação do fungo envolve a produção de esporos que aderem à superfície do corpo dos insetos. Esses esporos germinam e penetram na cutícula, se multiplicando no interior do hospedeiro. O processo resulta na

destruição dos órgãos vitais do inseto e na liberação de toxinas, levando à sua morte (Figura 9).

O uso de *Beauveria bassiana* traz diversas vantagens, como a redução dos danos causados pelas pragas, controle eficiente e seletivo de pragas, a minimização do uso e custos com defensivos químicos, preservação de inimigos naturais e do equilíbrio ecológico, contribuição para práticas agrícolas mais sustentáveis e a contribuição para o manejo integrado de pragas (MIP). Além disso, sua aplicação contribui para a sustentabilidade ambiental e a saúde do trabalhador rural.

A aplicação do fungo nas lavouras pode ser feita por meio de formulações líquidas ou sólidas, utilizando pulverizadores convencionais. Para melhores resultados, é essencial seguir as recomendações técnicas quanto à dosagem, condições ambientais ideais e manejo integrado.

O *Beauveria bassiana* tem se consolidado como uma importante ferramenta para agricultores que buscam soluções eficazes e ecológicas para o manejo de pragas, promovendo a produtividade com menor impacto ambiental.

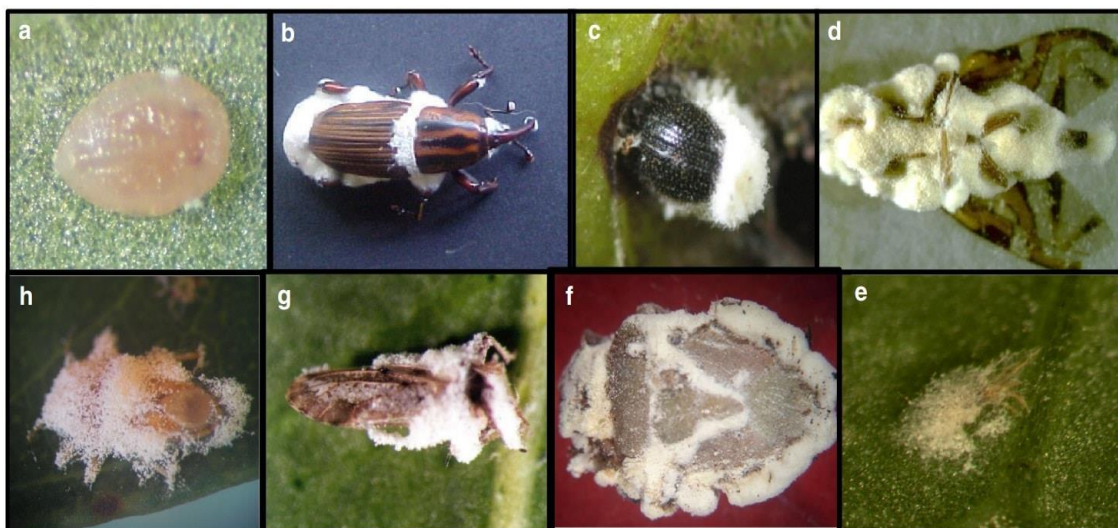


Figura 9. *Beauveria bassiana* no controle de pragas. Fonte: ELEVAGRO, 2024.

No controle biológico de doenças, Velho *et al.* (2019) destacam o uso de microrganismos como: bactérias, entre elas *Bacillus subtilis*, eficiente contra várias doenças; *Pseudomonas putida* e *P. fluorescens*, no manejo de murchas bacterianas em tomate; *Streptomyces spp.*, para controle de meloidoginoses; e

Agrobacterium radiobacter, empregado contra a galha da coroa. Quanto aos fungos, são amplamente reconhecidos: *Trichoderma spp.*, para patógenos de solo; *Gliocladium roseum*, no controle do mofo cinzento; *Talaromyces flavus*, contra *Verticillium spp.*; *Pythium oligandrum*; e *Ampelomyces quisqualis*, entre outros.

Pimenta *et al.* (2020) analisaram a utilização de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em diferentes sistemas de cultivo – desde os de baixa complexidade até os mais complexos e agroecológicos – para o controle de pulgões em hortaliças orgânicas. O estudo buscou avaliar a fauna de insetos predadores, contribuindo para a compreensão da estrutura ecológica do plantio e auxiliando na seleção de inimigos naturais mais aptos para programas de controle biológico. Os resultados mostraram que sistemas simples favorecem a diversidade de joaninhas, enquanto sistemas mais complexos apresentaram maior abundância de joaninhas predadoras de pulgões (afidiófagas), que atacam hortaliças. Isso demonstra que sistemas equilibrados e diversos possuem maior resistência ao ataque de xilófagos.

Segundo Parra *et al.* (2002), a utilização da família Coccinellidae marcou o primeiro caso de sucesso registrado em controle biológico. A introdução da espécie *Rodolia cardinalis* na Califórnia, em 1888, para o controle do pulgão branco *Icerya purchasi* Maskell, foi bem-sucedida em apenas dois anos. Esse marco deu início à crescente utilização de insetos em estratégias de manejo integrado de pragas (MIP).

7. Benefícios do controle biológico na sustentabilidade agrícola

O controle biológico tem se consolidado como uma abordagem essencial para a sustentabilidade agrícola, destacando-se por sua capacidade de promover o equilíbrio ecológico e reduzir a dependência de insumos químicos. A utilização de inimigos naturais, como predadores, parasitoides e microrganismos, representa uma estratégia eficiente no manejo integrado de pragas, minimizando os impactos negativos associados ao uso de agrotóxicos.

Um dos principais benefícios do controle biológico é sua contribuição para a preservação ambiental. Ao substituir ou reduzir o uso de agrotóxicos, essa prática diminui a contaminação do solo, da água e dos alimentos, preservando ecossistemas naturais e fomentando a biodiversidade agrícola (Parra, 2014). A biodiversidade é essencial para a resiliência dos sistemas produtivos, protegendo as culturas contra pragas emergentes e promovendo maior estabilidade ecológica (Zucchi *et al.*, 2011).

Além dos benefícios ambientais, o controle biológico apresenta vantagens econômicas significativas. Embora a implementação inicial possa exigir investimentos, a redução no uso de agrotóxicos e o menor risco de perdas devido a pragas frequentemente compensam esses custos no médio e longo prazo. A aplicação de agentes biológicos também evita problemas como o desenvolvimento de resistência nas populações de pragas, um desafio comum no manejo químico intensivo (Pratissoli; Parra, 2000).

A saúde do solo é outro aspecto beneficiado pela adoção do controle biológico. Estudos demonstram que microrganismos benéficos, usados como agentes de controle, podem melhorar a fertilidade do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Isso resulta em maior produtividade e qualidade das culturas, alinhando-se aos princípios da agroecologia (Van Lenteren; Bueno, 2003).

Por fim, a redução dos riscos à saúde humana é um benefício inquestionável do controle biológico. A diminuição da exposição a agrotóxicos protege trabalhadores rurais e consumidores, contribuindo para uma produção agrícola mais segura e sustentável. Nesse contexto, o controle biológico não apenas promove práticas agrícolas mais responsáveis, mas também fortalece a aceitação social e comercial dos produtos agrícolas (Moraes; Flechtmann, 2011).

Assim, o controle biológico se estabelece como uma ferramenta indispensável para a transição agroecológica. Seus benefícios ambientais, econômicos e sociais reforçam seu papel na construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, consolidando-se como uma alternativa eficaz na redução do uso de agrotóxicos.

8. Considerações

A prática da agricultura agroecológica, com sua ênfase na harmonia entre os seres humanos e o meio ambiente, oferece uma alternativa robusta ao modelo convencional de produção agrícola, especialmente no que tange ao manejo de pragas. No contexto agroecológico, o objetivo primordial é promover o equilíbrio biológico dos sistemas agrícolas, priorizando a redução dos impactos ambientais negativos causados pelo uso indiscriminado de agrotóxicos. Embora o manejo ecológico de pragas tenha mostrado resultados promissores, sua adoção em larga escala ainda enfrenta desafios consideráveis, exigindo esforços contínuos de conscientização, capacitação e apoio técnico.

Um dos pilares do manejo ecológico bem-sucedido é a análise específica de cada situação de cultivo, a fim de identificar a praga ou patógeno alvo e determinar os agentes biocontroladores mais eficazes. A diversificação vegetal, que constitui um princípio fundamental da agroecologia, surge como uma estratégia vital para a prevenção da proliferação de pragas, pois cria um ambiente favorável à multiplicação de inimigos naturais e ao equilíbrio ecológico do sistema agrícola. A diversidade de plantas no sistema produtivo não apenas dificulta a propagação de pragas, mas também fortalece a resiliência do ecossistema, tornando-o menos vulnerável a surtos e a flutuações ambientais adversas.

A adoção da diversificação vegetal, portanto, representa uma estratégia multifacetada. Ela contribui para a saúde do solo, melhora a retenção de água e nutrientes, e oferece abrigo e alimento para predadores e parasitoides naturais. Esses inimigos naturais desempenham um papel fundamental no controle biológico, reduzindo a dependência de agrotóxicos e fortalecendo o equilíbrio ecológico do cultivo. Além disso, ao reduzir a necessidade de insumos externos, como pesticidas e fertilizantes químicos, a diversificação vegetal também se traduz em uma significativa redução dos custos de produção para os agricultores. Com menores gastos com agrotóxicos, os agricultores podem investir em práticas mais sustentáveis e, ao mesmo tempo, aumentar sua rentabilidade no longo prazo.

No entanto, a transição para práticas agroecológicas eficazes exige mais do que a implementação de técnicas de manejo de pragas. Exige, sobretudo, um

esforço contínuo para proporcionar aos agricultores as ferramentas, o conhecimento e o suporte necessário para compreender as complexas interações ecológicas que regem seus cultivos. A capacitação técnica e a conscientização sobre os benefícios econômicos e ambientais da agroecologia são essenciais para que esses agricultores possam se beneficiar plenamente da diversificação vegetal e do controle biológico. É fundamental que, ao adotar tais práticas, os agricultores compreendam os ganhos de longo prazo, tanto em termos de redução de custos quanto da preservação da biodiversidade e da saúde do ecossistema.

Do ponto de vista ambiental, a agricultura convencional, dependente de agrotóxicos e monoculturas, tem gerado impactos negativos profundos, como a diminuição da biodiversidade, a degradação do solo, a contaminação da água e a resistência das pragas aos pesticidas. A transição para a agroecologia, com sua ênfase na biodiversidade e na resiliência dos sistemas agrícolas, oferece uma resposta eficaz a esses problemas, mitigando os danos ambientais e promovendo uma produção agrícola mais sustentável.

À medida que mais agricultores se conscientizam dos benefícios da agroecologia, incluindo a redução dos custos de produção e os ganhos em saúde ambiental e econômica, é possível esperar uma adoção mais ampla dessas práticas. A sustentabilidade dos sistemas agrícolas, tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico, depende da capacidade dos agricultores em adotar essas alternativas, reconhecendo que a verdadeira produtividade está na saúde e equilíbrio dos agroecossistemas, e não na dependência de químicos e monoculturas. Portanto, ao fortalecer a educação e o apoio técnico aos agricultores, será possível fomentar uma transição mais rápida e eficaz para métodos de manejo de pragas que promovam a sustentabilidade, a biodiversidade e a resiliência dos sistemas agrícolas.

9. Referências

ABC BIO, Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico. **Panorama e desafios do controle biológico no Brasil**. São Paulo, 2015.

ABCBIO. Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico. **Cenário e desafios do controle biológico no Brasil**. São Paulo: ABCBIO, 2015. Disponível em: <https://www.abcbio.org.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

ALTIERI, M. A.; PONTI, L.; NICHOLLS, C. I. Manejando insetos-praga com a diversificação de plantas. **Agriculturas**, v. 4, n. 1, 2007.

ALVES, H. T.; SÃO JOSÉ, A. R.; DOS ANJOS, D. N.; BOMFIM, M. P.; NOVAIS, Q. S. de; JESUS NOLASCO, D. S. de. Controle alternativo da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) em frutos de mamão Sunrise solo'. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30331-30346, 2020.

ALVES, S. B.; ALMEIDA, J. E. M.; MOINO JUNIOR, A.; ALMEIDA, F. A. Controle Microbiano de Insetos. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 1998. 1163 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 2, de 10 de janeiro de 2020**. Estabelece diretrizes para o registro de produtos biológicos no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jan. 2020.

CAETANO, F. P. Eficácia do controle biológico em sistemas agroecológicos: uma revisão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 3, p. 45-58, 2022. DOI: 10.18566/rba.v17n3.

CAETANO, J. S. Sistemas agroecológicos: utilização do método de controle biológico como estratégia para o manejo de pragas e doenças. **Anais... III AMBIUEMG-Simpósio Ambiental da Universidade do Estado de Minas Gerais-unidade Frutal**, p. 46.

COELHO, S. R. de F.; MAROTO, G. L.; SOUZA, M. N. Controle biológico na soja no sul do Maranhão. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1.c6>

COSTA, K. K.; RUFINO, C. P. B.; MACEDO, P. E. F.; NOGUEIRA, S.R. Antagonismo de *Trichoderma spp.* sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal da antracnose de *Euterpe precatoria*. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, 2019.

DARA, S. K. The new integrated pest management paradigm for the modern age. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 10, n. 1, p. 12, 2019. DOI: 10.1093/jipm/pmz010.

EFFGEN, G. F. M.; RODRIGUES, L. A. de O.; SOUZA, M. N. Atuação de óleos essenciais no controle biológico da requeima (*phytophthora infestans*) no cultivo de batata. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. II. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 215-231. ISBN: 978-65-84548-23-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c8>

ELEVAGRO. **Beauveria bassiana no controle biológico de pragas**. 2024. Disponível em: <https://elevagro.com>. Acesso em: 16 jan. 2025.

FORNAZIER, M. L.; PINHEIRO, A. C. M.; BOTACIM, L. A.; GUARÇONI, R. C.; FORNAZIER, M. J.; ZANUNCIO JUNIOR, J. S. Reflexões sobre manejo agroecológico em café, com ênfase no bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*. In: **Tópicos em Agroecologia Vol. IV**. 1 ed. VITÓRIA: IDIFES, 2023, v. 4, p. 126-139. DOI: 10.36524/9788582637401. ISBN: 9788582637401

FRANÇA, D. As técnicas de controle biológico projetam um futuro promissor e lucrativo para a agricultura: As técnicas inovadoras do conceito de Controle Biológico têm se revelado cada vez mais promissoras. **Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE**, v. 1, n. 4, p. 11-13, 2020.

FRANÇA, M. S. **Controle biológico de pragas**: conceitos, métodos e práticas. 3. ed. São Paulo: Editora Agroecologia, 2020.

GONÇALVES, L. C. **Agroecologia e manejo integrado de pragas**. Curitiba: Editora Sustentare, 2020.

GONÇALVES, P. A. S.; ITUPORANGA, D. E. Epagri-Estação Experimental. A importância da diversidade vegetal no manejo ecológico de insetos em agroecossistemas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**. Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (6). 2020.

HASHEMI, M.; TABET, D.; SANDRONI, M.; BENAVENT-CELMA.; SEEMATTI, J.; ANDERSEN, C. B.; GRENVILLE-BRIGGS, L. J. The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans*, **Fungal Biology Reviews**, <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>. 2021.

HASHEMI, S. M. *et al.* Biological control: from research to field application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 307, p. 107-115, 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107115.

HEINZ, K. M.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. Biological control of arthropods in agroecosystems: Past, present, and future perspectives. **Annual Review of Entomology**, v. 67, p. 413-437, 2022.

HEINZ, K. M.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Biological Control**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2022.

LARA, S. S.; PIGNATI, W. A.; PIGNATTI, M. G.; da COSTA LEÃO, L. H.; MACHADO, J. M. H. A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. Hygeia: **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 15, n. 32, p. 1-28, 2019.

LOPES, A. F.; ALMEIDA, L. R.; PEREIRA, E. J. *Beauveria bassiana* in the control of coleopteran pests: A sustainable alternative. **Journal of Applied Entomology**, v. 145, p. 547-557, 2021.

LOPES, R. B. *et al.* *Beauveria bassiana*: Biology and applications for use as biocontrol agent. **Biological Control**, v. 158, p. 104-115, 2021. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2021.104115.

MELLO, S. C. M. de; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed). **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 291-319.

MELLO, S. C. M.; DIAS, R. **Avaliação e aplicação de agentes de controle biológico em sistemas agrícolas**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2020.

MICHEREFF FILHO, M.; RESENDE, F. V.; VIDAL, M. C.; GUIMARÃES, J. A. de; MOURA, A. P.; SILVA, P. S. da; REYES, C. P. **Manejo de pragas em hortaliças durante a transição agroecológica**. Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2013.

MIOLLO, J. R.; GUIMARÃES, G. M. A Agroecologia para além dos sistemas produtivos: reflexões sobre a Legislação de Orgânicos vigente no Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 3, 2022.

MIRANDA, R. F.; ULHOA, C. J.; DE CONTO, L. M.; COSTA, F. A. Uso de isolados de *Trichoderma* no controle do fungo causador da antracnose do mamoeiro. In: **71ª Reunião Anual da SBPC**, 2019 - UFMS - Campo Grande / MS. Disponível em: http://livro.sbpcnet.org.br/71ra/trabalhos/resumos/5347_11d4b1f2f3d860c59004b9e97186da53a.pdf. Acesso em: 22 out, 2022.

MORAES, G. J. de; FLECHTMANN, C. A. H. Manual de Acarologia: Acarologia básica e ácaros de importância agrícola. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 4, p. 601-602, 2011. DOI: 10.1590/S0085-56262011000400020.

MORAES, J. C.; FLECHTMANN, C. A. H. Controle biológico de pragas e doenças em culturas agrícolas. São Paulo: Editora UFSCar, 2011.

PARON, M. A.; PARRA, J. R. P. Strategies for *Trichogramma* mass production and utilization in biological control programs. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 9, p. 905-921, 2020. DOI: 10.1080/09583157.2020.1789440.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2013-0439.

PARRA, J. R. P. **Controle biológico**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UFV, 2014.

PARRA, J. R. P., BOTELHO, P. S. M., CORRÊA-FERREIRA, B. S., & BENTO, J. M. S. Controle biológico: terminologia. **Controle biológico no Brasil**: parasitoides e predadores. *São Paulo: Manole*, 1-16, 2002.

PARRON, R. L.; PARRA, J. R. P. The use of *Trichogramma* for control of lepidopteran pests in agroecosystems. **Biological Control**, v. 47, p. 13-20, 2020.

PIMENTA JÚNIOR, P. A.; COSTA ESCARELA, V. A. da; ALVES, R. S.; BARBOZA, T. O. C.; OLIVEIRA MATOSO, A. de Manejo Agroecológico de Pragas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022.

PIMENTA, A. G.; de SOUZA, T. S.; FERNANDES, V. J.; MENEZES, E. D. L. A.; GUERRA, J. G. M. Análise faunística de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em um sistema agroecológico de produção orgânica de hortaliças. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 27-27, 2020.

PRATISSOLI, D.; PARRA, J. R. P. **Controle biológico de pragas**: aplicações e perspectivas. Campinas: Embrapa, 2000.

PRATISSOLI, D.; PARRA, J. R. P. Development and reproduction of *Trichogramma pretiosum* on eggs of different hosts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1281-1288, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X2000000700015.

RAMAKRISHNA, A. *et al.* *Bacillus thuringiensis* as an eco-friendly alternative for pest control: An overview. **Microbiological Research**, v. 228, p. 33-46, 2019.

RAMAKRISHNA, A. *et al.* *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action and its roles in biological control of insects. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 39, n. 2, p. 172-186, 2019. DOI: 10.1080/07388551.2018.1554636.

RÔDAS, P. L.; OLIVEIRA, H. N. de; GLAESER, D. F. **Liberção do parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar**. 2019.

SILVA, A. de C. (Ed.). **Guia para o reconhecimento de inimigos naturais de pragas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P. R. Uso de Sistemas Agroflorestais para o controle biológico natural em propriedades rurais. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 2022.

VAN LENTEREN, J. C. *et al.* Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018. DOI: 10.1007/s10526-017-9810-4.

VAN LENTEREN, J. C. *et al.* **Biological control**: An ecological approach. Elsevier, 2018.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. **BioControl**, v. 48, n. 2, p. 123-139, 2003. DOI: 10.1023/A:1022645210394.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Biological control of arthropods in agroecosystems: key advances and challenges. **Insect Science**, v. 10, p. 287-302, 2003.

VELHO, A. C.; POLTRONIERI, A. S.; STADNIK, M. J.; MONDINO, P. Manejo ecológico de pragas e doenças na produção agroalimentar. **Desenvolvimento Sustentável na Produção Agroalimentar**. p. 53, 2019.

ZAMPIERI, F. G.; SOUZA, M. N.; FONSECA, R. A.; CARVALHO, S. L.; SILVA SOUZA, M. A. A. da; FORNAZIER, M. L.; ZAMPIERI, F. **Educação ambiental**

na cafeicultura agroecológica: ferramenta de transformação e promoção da sustentabilidade. 2021.

ZANUNCIO JUNIOR, J. S.; LAZZARINI, A. L.; OLIVEIRA, A. A. de; RODRIGUES, L. A.; MORAES SOUZA, I. I. de; ANDRIKOPOULOS, F. B.; COSTA, A. F. da. Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 3, 2018.

ZUCCHI, R. A. *et al.* Biological control of agricultural pests: Advances and challenges. **Crop Protection**, v. 36, p. 117-129, 2011.

ZUCCHI, R. A. et al. Manejo de pragas e controle biológico. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 220-231, 2011.

ZUCCHI, R. A.; MONTEIRO, R. C.; CANAL, N. A. Biological control of fruit flies in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 379-386, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400001.

CAPÍTULO 5

Conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma: um olhar para o futuro

Larissa Viana Bruneli, Naianni de Sillis Rezende, Luana Aparecida de Oliveira Rodrigues, Maria Alice Brandão Silva, Evaldo de Paula, Monique Moreira Moulin, Ana Paula Candido Gabriel Berilli, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c5>

Resumo

Os bancos de germoplasma são fundamentais para a preservação da biodiversidade, atuando como reservatórios estratégicos de genes essenciais para a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Eles garantem a conservação da diversidade genética de espécies vegetais, animais e microbianas, contribuindo para a adaptação às mudanças climáticas, o enfrentamento do crescimento populacional e a mitigação da erosão genética, fatores que ameaçam a resiliência dos ecossistemas e a sobrevivência de diversas espécies. Este capítulo discute a relevância dos bancos de germoplasma como ferramentas indispensáveis para a proteção da biodiversidade, detalhando os diferentes tipos existentes, como bancos de sementes, bancos de tecidos e conservação *in situ*, além das metodologias aplicadas. Também destaca o papel dessas instituições na manutenção de recursos genéticos para o desenvolvimento de sistemas agroecológicos mais robustos e na garantia de um futuro mais sustentável para o planeta.

Palavras-chave: Conservação Genética. Segurança Alimentar. Mudanças Climáticas. Diversidade Biológica e genética. Conservação da biodiversidade. Erosão genética. Recursos genéticos. Sustentabilidade. Conservação *in situ*. Conservação *ex situ*. Sistemas agroecológicos. Adaptação genética. Preservação ambiental.

1. Introdução

A biodiversidade, ou diversidade biológica, refere-se à ampla variedade de formas de vida na Terra, abrangendo plantas, animais, microrganismos e os ecossistemas que eles compõem. Essa diversidade é essencial para a manutenção de processos ecológicos que sustentam a vida, como a polinização, a decomposição de matéria orgânica e a regulação climática (Young; Spanholi, 2020). No entanto, a biodiversidade enfrenta ameaças crescentes, incluindo desmatamento, mudanças climáticas, poluição e a expansão da fronteira agrícola (Costa; Mello, 2020). Nesse contexto, a conservação de recursos genéticos emerge como uma prioridade para assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas e a sobrevivência das espécies.

Os bancos de germoplasma desempenham um papel estratégico na preservação da diversidade genética, funcionando como repositórios de material genético (Costa *et al.*, 2011). Eles não apenas protegem a variabilidade genética existente, mas também garantem sua disponibilidade para futuras gerações de cientistas, agricultores e conservacionistas. Esses bancos são fundamentais para a conservação de espécies ameaçadas, a melhoria de cultivos agrícolas e o avanço da pesquisa científica, fornecendo soluções para desafios globais, como segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas (BRASIL, 2021).

A criação e a manutenção de bancos de germoplasma envolvem processos técnicos e logísticos altamente especializados. Desde a coleta cuidadosa de amostras genéticas até o armazenamento em condições controladas, passando pela documentação rigorosa e a regeneração periódica do material, cada etapa é essencial para garantir a viabilidade e a integridade das amostras ao longo do tempo. Tecnologias avançadas, como a criopreservação² e a cultura de tecidos, ampliam significativamente as possibilidades de conservação, permitindo a preservação de material genético em condições estáveis e por períodos prolongados (Martínez, 2016).

Diante dos desafios impostos pelas mudanças ambientais e pelo aumento populacional, os bancos de germoplasma emergem como ferramentas indispensáveis para a conservação da biodiversidade. A perda de habitats, a

² Técnica de congelar células e tecidos biológicos em temperaturas muito baixas para preservá-los. O material congelado pode ser usado no futuro, sem perder as suas propriedades.

erosão genética e as rápidas mudanças climáticas evidenciam a urgência de preservar a diversidade genética, assegurando a adaptação e a resiliência das espécies frente a transformações constantes. Atualmente, existem centenas de coleções primárias ao redor do mundo, abrangendo culturas essenciais como milho, trigo, arroz, soja e colza (Yao *et al.*, 2008; Lassois *et al.*, 2016; Ambati *et al.*, 2020; Sandhu *et al.*, 2022; Guo *et al.*, 2022).

Há de se considerar que os bancos de germoplasma desempenham um papel essencial na recuperação de áreas degradadas, fornecendo recursos genéticos para a restauração de ecossistemas por meio da reintrodução de espécies nativas e adaptadas às condições locais. A diversidade genética armazenada nesses bancos permite selecionar espécies resistentes a fatores de degradação, como solos pobres ou condições climáticas adversas, contribuindo para a recuperação da biodiversidade e a reestabilização dos serviços ecossistêmicos (Souza, 2024).

Os bancos de germoplasma não apenas armazenam a base genética da vida na Terra, mas também desempenham um papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na busca por um futuro sustentável. Preservar e ampliar esses acervos genéticos são fundamentais para enfrentar os desafios ambientais e garantir a sobrevivência das espécies em um planeta em constante transformação.

O objetivo deste capítulo é destacar a relevância dos bancos de germoplasma no contexto da conservação da biodiversidade, abordando suas funções, tipos e metodologias de conservação, com ênfase no papel estratégico que desempenham para garantir um futuro mais sustentável.

2. Importância dos bancos de germoplasma

Um banco de germoplasma prioriza a coleta, preservação e manutenção de material genético de plantas, animais e outros organismos, essencial para a reprodução e o desenvolvimento das espécies. Historicamente, esses bancos surgiram como resposta à necessidade de conservar a diversidade genética frente às crescentes ameaças de extinção de espécies e degradação dos ecossistemas. Além de contribuírem para a pesquisa científica e o

desenvolvimento agrícola, fornecem material genético para estudos e melhoramento de culturas, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e na sustentabilidade ambiental.

A prática de preservação de alimentos por meio de sementes remonta à domesticação de espécies, mas ganhou escala significativa com o desenvolvimento da agricultura. A conservação em bancos de germoplasma teve início na Rússia, no início do século XX, com o botânico e geneticista Nikolai Vavilov (Nass, 2007). Pioneiro na compreensão da importância da diversidade genética para a segurança alimentar e a agricultura sustentável, Vavilov estabeleceu em 1921 um dos mais importantes bancos de germoplasma do mundo, localizado em Leningrado (atual São Petersburgo). Este banco visava preservar uma ampla variedade de sementes e outros materiais genéticos, garantindo sua disponibilidade futura para programas de melhoramento e pesquisa.

A principal função de um banco de germoplasma é armazenar e disponibilizar germoplasma, além de prover informações detalhadas sobre os acessos, destacando características importantes para programas de melhoramento genético (Nass; Paterniani, 2000; Ramos *et al.*, 2007; Carvalho; Quesenberry, 2009; Santos; Silva; Ferreira, 2023).

A diversidade genética é essencial para a resiliência dos ecossistemas e a sobrevivência das espécies (Young; Spanholi, 2020). Variações genéticas dentro de uma espécie permitem a adaptação a mudanças ambientais, como variações climáticas, novas doenças ou pragas, e outros desafios. Sem essa variabilidade, as espécies se tornam vulneráveis à extinção. Os bancos de germoplasma preservam uma ampla gama de genótipos, garantindo essa diversidade para o futuro. Tal preservação é ainda mais relevante diante da degradação de habitats e da redução de populações silvestres, que comprometem a variabilidade genética *in situ*.

No contexto da segurança alimentar global, os bancos de germoplasma mantêm coleções de sementes e outros materiais genéticos de plantas cultivadas, incluindo variedades tradicionais e silvestres que não são mais amplamente utilizadas (BRASIL, 2006). Essas coleções fornecem genes valiosos para o desenvolvimento de novas variedades de culturas alimentares,

adaptadas a condições adversas como seca, salinidade, pragas e doenças. Com as mudanças climáticas afetando cada vez mais a produção agrícola, esses recursos são cruciais para garantir a resiliência e a sustentabilidade da produção de alimentos.

Além disso, os bancos de germoplasma fornecem materiais essenciais para pesquisas científicas, permitindo o estudo da variabilidade genética, a identificação de genes de interesse e o desenvolvimento de novas tecnologias para melhorar cultivos e espécies (Costa *et al.*, 2011). Também são fundamentais para a biotecnologia, disponibilizando material para a engenharia genética e outras formas de manipulação genética.

A preservação cultural é outro papel significativo dos bancos de germoplasma. Muitas comunidades ao redor do mundo utilizam variedades tradicionais de plantas, adaptadas às suas condições locais e com significados culturais e históricos. Preservar essas variedades ajuda a manter práticas e conhecimentos tradicionais, beneficiando gerações futuras.

Os bancos de germoplasma também funcionam como uma forma de seguro contra a perda de biodiversidade. Desastres naturais, guerras, mudanças climáticas e outras catástrofes podem destruir populações inteiras de espécies em seus habitats naturais. Ao manter coleções *ex situ*, esses bancos garantem que o material genético estará disponível para restauração e reintrodução, mesmo que a espécie seja extinta na natureza (Martínez, 2016).

Por fim, os bancos de germoplasma promovem a cooperação internacional ao fornecer uma base para o compartilhamento de recursos genéticos entre países. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (TIRFAA) estabelecem diretrizes para essa troca, incentivando a colaboração global na conservação e uso sustentável da biodiversidade (Gimenes; Barbieri, 2010).

3. Processos de conservação

A conservação de germoplasma envolve uma série de processos técnicos e metodológicos cuidadosamente elaborados para garantir a viabilidade e

integridade do material genético ao longo do tempo. A primeira etapa nesse processo é a coleta de amostras genéticas, que deve ser realizada de forma a capturar a máxima variabilidade genética possível, representando a diversidade existente dentro de uma espécie (Martínez, 2016).

A coleta pode envolver sementes, tecidos, células e DNA de diferentes populações e habitats. A coleta de sementes, uma das formas mais comuns de conservação, deve ser feita no momento certo da maturação para garantir sua viabilidade. Após a coleta, as sementes são secas com cuidado para reduzir o conteúdo de umidade, prolongando sua vida útil durante o armazenamento. Para espécies cujas sementes são inviáveis ou cuja conservação por esse método é impraticável, a coleta de tecidos ou células pode ser empregada, como folhas, caules, raízes ou células específicas que podem ser cultivadas *in vitro* (Martínez, 2016).

Hoyt (1992) propõe que a preservação do germoplasma pode ser feita tanto *in situ* quanto *ex situ*. O processo *in situ* refere-se à manutenção contínua de uma população em seu ambiente natural, enquanto o *ex situ* implica na conservação em ambientes distintos aos naturais. De acordo com Ramos *et al.* (2007), ao definir parâmetros para conservação *ex situ*, seja em coleções ativas ou de base, deve-se considerar a classificação das sementes para armazenamento, como recalcitrantes, ortodoxas³ ou intermediárias⁴. Além disso, o objetivo e escopo da conservação, seja a curto, médio ou longo prazo, devem ser levados em conta.

Gimenes e Barbieri (2010) explicam que a preservação de recursos genéticos em bancos ativos pode ser realizada por diferentes métodos, como conservação em sementes, *in vitro*, criopreservação ou em campo. A escolha do método depende do comportamento das sementes da espécie em questão. No caso das sementes ortodoxas, a conservação envolve o armazenamento em câmaras frias a -20 °C, em umidade controlada, o que permite a conservação por longos períodos, como mais de dez anos, de diversos genótipos em espaços

³ São sementes que podem ser armazenadas secas e que sobrevivem a baixas temperaturas e secagem.

⁴ São aquelas que toleram secagem considerável (pelo menos até 30% UR), mas não completa.

reduzidos. Segundo a FAO, cerca de 90% dos seis milhões de acessos conservados no mundo são armazenados em bancos de sementes. Para espécies recalcitrantes ou genótipos específicos, utiliza-se conservação *in vitro*, criopreservação e *in vivo* (Gimenes; Barbieri, 2010).

A conservação *in vitro* é feita em meio de cultura estéril, geralmente em frascos de vidro, sendo indicada para espécies com sementes recalcitrantes⁵ ou reprodução assexuada, como a mandioca e a batata. Contudo, essa técnica não é ideal para conservação em longo prazo devido à necessidade de infraestrutura especializada e pessoal qualificado, o que gera custos elevados. Já a criopreservação envolve o resfriamento de células ou tecidos a temperaturas extremamente baixas, de até -196 °C, interrompendo qualquer atividade biológica, como as reações bioquímicas associadas à morte celular. Para proteger as células, são usados crioprotetores⁶ durante o resfriamento ou descongelamento. Após o congelamento, o material preservado está relativamente seguro de danos adicionais.

A conservação *in vivo* envolve a manutenção do material genético em campo, em uma área diferente da original. Essa prática é especialmente útil para espécies perenes, como aquelas com sementes recalcitrantes ou baixa produção de sementes, além de espécies com ciclo de vida muito longo ou aquelas que preferem ser mantidas como clones (Gimenes; Barbieri, 2010).

Os resultados obtidos por Perez-Garcia *et al.* (2006) indicam que, para armazenamento de médio prazo, o controle da umidade das sementes, especialmente utilizando sílica gel, é mais importante do que a temperatura. Gomes-Campo (2006) recomenda revisar as práticas de curadoria para sementes ortodoxas, destacando a importância do uso de sílica gel para um controle mais eficiente da umidade e a preservação em longo prazo.

Em relação ao armazenamento de sementes, Gomes-Campo (2002) e Costa *et al.* (2017) recomendam o uso de embalagens impermeáveis, como

⁵ São aquelas que não sobrevivem ao armazenamento em ambientes secos ou congelamento. Elas são sensíveis à perda de água, o que faz com que precisem ser mantidas úmidas e plantadas o mais rápido possível.

⁶ Substâncias que reduzem danos a células e tecidos durante o congelamento, descongelamento e secagem.

alumínio com tampas seladas, frascos com borrachas, frascos de laboratório e ampolas de vidro seladas a chama. Essas opções demonstraram ser adequadas para a conservação em longo prazo, garantindo a preservação do material genético. Além disso, ambos os autores sugerem que os bancos de sementes ortodoxas incorporem a utilização de indicadores químicos, como a sílica gel, para evitar perdas irreparáveis de germoplasma e reduzir a necessidade frequente de testes de germinação ou regeneração dos acessos.

4. Documentação do germoplasma

A etapa de documentação é fundamental para a conservação e o manejo sustentável da diversidade genética das plantas, envolvendo o armazenamento e a recuperação das informações relacionadas às amostras preservadas. É fundamental contar com um sistema de informações coordenado sobre os recursos genéticos, que integre os procedimentos de obtenção, registro, processamento, armazenamento e recuperação adequada dos dados (Giacometti, 1987). O acesso rápido às informações facilitará a utilização dos acessos preservados.

Com o aumento da erosão dos recursos genéticos vegetais, a principal preocupação dos melhoristas é a redução ou perda da variabilidade genética de espécies cultivadas e seus parentes silvestres, além das variedades locais, o que resulta no estreitamento da base genética (Hallauer; Miranda, 1988). Para preservar a variabilidade genética de culturas relevantes, o CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) estabeleceu o *International Plant Genetic Resource Institute* (IPGRI, 1974), que propõe normas internacionais para a regulamentação da coleta e transferência de recursos genéticos vegetais, facilitando seu uso e acesso. Este instituto se dedica à coleta, preservação, documentação e intercâmbio global de germoplasma.

A pesquisa em recursos genéticos e melhoramento vegetal no Brasil têm avançado consideravelmente, resultando no desenvolvimento de cultivares que atendem às crescentes demandas dos agricultores. Esses avanços buscam aumentar a produtividade, a diversidade, à adaptação a fatores bióticos e abióticos, além de viabilizar a modernização do sistema de cultivo, como a

mecanização e a adoção de práticas como o plantio direto (Andrade; Mendes, 2005).

Segundo os mesmos autores, é fundamental considerar o futuro da pesquisa nesse campo, diante do rápido avanço do conhecimento em biotecnologia moderna e tecnologia da informação. Este progresso ocorre em um contexto de grandes expectativas sociais em relação a questões como o meio ambiente e a segurança alimentar. O desenvolvimento tecnológico está no centro das discussões públicas e midiáticas, apresentando desafios significativos para as organizações de inovação tecnológica. Essas organizações precisarão transitar de um modelo acadêmico e disciplinar para um modelo mais complexo, alinhando diversas disciplinas e competências em redes de inovação que consigam enfrentar problemas cada vez mais complexos e interdisciplinares.

Em um cenário internacional complexo, marcado por interesses estratégicos em recursos biológicos, avanços em tecnologias dependentes de variabilidade genética e a consolidação de marcos legais de proteção do conhecimento, mudanças nas relações entre países e organizações no acesso a recursos genéticos são inevitáveis (Silva *et al.*, 2001). A implementação da Convenção sobre Diversidade Biológica, que resultou em legislações nacionais afirmativas de soberania sobre recursos biológicos, tem dificultado e reduzido o fluxo desses recursos globalmente.

Os mesmos autores ressaltam que as atividades de melhoramento genético no Brasil continuarão a depender fortemente da base genética disponível, representada pelos materiais armazenados nos bancos de germoplasma. Esses materiais são insumos críticos para o contínuo desenvolvimento do agronegócio nacional. Para garantir que o Brasil tenha acesso à variabilidade genética exótica e aos avanços internacionais em pesquisa genética, é necessário implementar políticas públicas que protejam o patrimônio genético nacional e promovam um intercâmbio eficiente com outros países.

5. Bancos de germoplasma

Alguns bancos de germoplasma notáveis, com foco em diferentes culturas:

✓ Svalbard Global Seed

- Localização: Noruega

O **Svalbard Global Seed Vault**, também conhecido como o "Cofre do Juízo Final", está situado na ilha de Spitsbergen, no arquipélago de Svalbard, Noruega. Inaugurado em 2008, o cofre foi criado para proteger a diversidade genética das plantas contra perdas causadas por desastres naturais, conflitos e outras crises globais. Seu objetivo principal é funcionar como um backup global para outros bancos de sementes, armazenando cópias de segurança das coleções de sementes de todo o mundo (Global Crop, 2022).

De acordo com esses mesmos autores, este banco de sementes oferece uma camada adicional de segurança para a preservação da diversidade genética vegetal, garantindo a proteção contra a perda irreversível de variedades e espécies. As sementes são armazenadas em pacotes hermeticamente selados, em condições de temperatura controlada a -18°C . A presença de *permafrost* natural na região é uma vantagem crucial, pois ajuda a manter essas condições ideais mesmo no caso de falha de energia, proporcionando uma camada extra de proteção para o material genético armazenado (Figura 1).



Figura 1. Banco de germoplasma “Svalbard Global Seed”. Fonte: <https://revistacultivar.com.br/noticias/banco-mundial-de-sementes-guarda-uma-das-maiores-riquezas-da-humanidade>.

✓ Banco de Germoplasma Vegetal da Embrapa (Brasil)

- Localização: Brasília, Brasil

Com 1.418 acessos, o Banco Ativo de Germoplasma (BAG) é o maior da América Latina. Além de preservar recursos genéticos vegetais, também abriga recursos genéticos de animais e microrganismos (Figura 2 e 3).

Um exemplo notável é o BAG de abacaxi, localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, que é o maior do mundo dedicado ao gênero *Ananas*. Essa coleção *ex situ* preserva mais de 350 acessos em condições de campo, protegidos por telados com vasos plásticos, e em duplicata de segurança *in vitro*, iniciada em 2003, sob condições de crescimento mínimo. A coleção reúne uma ampla variabilidade genética, tanto intra quanto interespecífica, abrangendo características como cores, formas e tamanhos de frutos, teores de fibras e metabólitos secundários, com elevado potencial de exploração (Pádua; Albuquerque; Melo, 2020).

Conforme esses mesmos autores, as pesquisas associadas ao BAG têm gerado importantes avanços no melhoramento genético, caracterização, conservação e documentação. Essas ações são realizadas em colaboração com diversas instituições de ensino e pesquisa, promovendo o desenvolvimento de novos produtos e aplicações inovadoras.



Figura 2. Banco de Germoplasma da Embrapa (área externa). Fonte: <https://am.cenargen.embrapa.br/numeros/Executar?acao=BGE.numeros>.



Figura 3. Banco de Germoplasma da Embrapa (parte das dependências interna). Fonte: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2014-04/embrapa-completa-41-anos-e-inaugura-maior-banco-genetico>.

✓ **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT):**

- Localização: Cali, Colômbia.

A instituição possui um repositório de 23.140 recursos filogenéticos (127 gêneros e 700 espécies) de feijão, mandioca e forrageiras tropicais (Figura 4).



Figura 4. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Fonte: https://www.ecured.cu/Centro_Internacional_de_Agricultura_Tropical.

✓ **Banco Mundial de Germoplasma de Milho (CIMMYT)**

- Localização: Texcoco, México.

O Banco Mundial de Germoplasma de Milho no México, localizado no Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), tem como objetivo preservar a diversidade genética do milho promovendo a segurança alimentar e facilitando o melhoramento da cultura, além de apoiar pesquisas agrícolas sustentáveis (Figura 5 e 6).



Figura 5 e 6. Banco Mundial de Germoplasma de Milho. Fonte:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-visita-centro-de-melhoramento-de-milho-e-trigo-no-mexico>.

O Banco Mundial de Germoplasma de Milho do CIMMYT, localizado em Texcoco, México, possui uma coleção de aproximadamente 28.000 acessos de milho, incluindo a maior coleção mundial de variedades tradicionais de milho, desenvolvidas e mantidas por agricultores ao longo de gerações, bem como parentes selvagens do milho, como o “teosinte” e o “Tripsacum” (GENEBANKS. CIMMYT, 2022).

✓ **Banco Mundial de Germoplasma de Arroz (IRRI)**

- Localização: Los Baños, Filipinas.

O Banco Mundial de Germoplasma de arroz fica localizado no *International Rice Research Institute* (IRRI), nas Filipinas, o instituto mantém uma das maiores coleções de germoplasma de arroz do mundo. Esse banco é um recurso fundamental para o desenvolvimento de variedades de arroz mais resilientes, nutritivas e adaptadas às diferentes condições climáticas e ambientais ao redor do globo (Figuras 7 e 8). Possui a maior coleção mundial de germoplasma de arroz, com aproximadamente 78.800 acessos (WORLD BANK, 2022).



Figura 7 e 8. Partes das dependências do Banco Mundial de Germoplasma de arroz no International Rice Research Institute (IRRI). Fonte: <https://www.irri.org/news-and-events/news/irri-receives-google-support-apply-ai-climate-resilient-rice-development>.

✓ **Banco de Germoplasma de Plantas Medicinais e Aromáticas (NBPGR)**

- Localização: Nova Delhi, Índia.

O Banco de Germoplasma de Plantas Medicinais em Nova Delhi, Índia, está localizado no *National Bureau of Plant Genetic Resources* (NBPGR), que faz parte do Ministério da Agricultura e Bem-Estar dos Agricultores da Índia. Este banco contém plantas medicinais nativas e exóticas, com o objetivo de preservar a diversidade genética dessas plantas, apoiar pesquisas sobre suas propriedades terapêuticas, e promover o uso sustentável das plantas medicinais (Figura 9).



Figura 9. National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR). Fonte: <https://agri.bot/category/agricultural-universities-research-institutes/icar-national-bureau-of-plant-genetic-resources-new-delhi/>.

✓ **Banco de Germoplasma de Hortaliças (NPGS)**

- Localização: Fort Collins, EUA.

O Banco de Germoplasma de Hortaliças está localizado no Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos (NPGS), que faz parte do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), mais especificamente dentro do Agricultural Research Service (ARS). O banco é mantido no Gene Bank de Hortaliças, localizado em Fort Collins, Colorado. Este banco de germoplasma é um dos maiores e mais importantes do mundo, com coleção que inclui uma vasta gama de hortaliças, como alface, cenoura, pepino, tomate, entre outras (Figura 10).



Figura 10. Departamento de agricultura dos Estados Unidos. Fonte: <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/peoria-il/national-center-for-agricultural-utilization-research/>.

✓ **Banco de Germoplasma da Floresta Amazônica**

- Localização: Manaus, Brasil.

O Banco de Germoplasma da Floresta Amazônica é uma coleção de recursos genéticos de plantas nativas da Amazônia, que visa preservar a biodiversidade da região. Embora não exista um único banco de germoplasma exclusivo para toda a Floresta Amazônica, várias iniciativas e instituições estão envolvidas na conservação de germoplasma da biodiversidade amazônica. Algumas das principais iniciativas incluem a EMBRAPA (Figura 11), INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) e Museu Paraense Emílio Goeldi.



Figura 11. EMBRAPA – Amazônia Ocidental. Fonte: <https://agroflorestartamazia.com/noticias-recentes/saiba-qual-e-a-situacao-da-embrapa-amazonia-ocidental/>.

No Ifes Campus de Alegre há também algumas coleções de trabalho, compostas por acessos que foram coletados junto aos agricultores capixabas. No momento, há bancos ativos de germoplasma de feijão, pimenta, tomate, milho e batata-doce. Abaixo seguem algumas informações desses bancos, com os respectivos catálogos, que abordam importantes informações, com uma linguagem acessível aos agricultores, do germoplasma capixaba.

✓ **Banco Ativo de Germoplasma de Feijão Comum (Evaldo de Paula, Monique Moulin)**

- Localização: IFES - Campus Alegre

O catálogo de germoplasma, que inclui os acessos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) coletados em 2021, foi desenvolvido por meio de uma colaboração com o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). Esta parceria visa não apenas preservar a variabilidade genética do feijão cultivado no estado do Espírito Santo, mas também fornecer uma base sólida para o estudo e o uso sustentável dessa cultura tão importante para a agricultura local e nacional.

A coleta dos acessos realizada em 2021 tem como objetivo documentar e preservar a diversidade genética dos feijões cultivados pelos produtores rurais capixabas, que frequentemente utilizam variedades tradicionais adaptadas a condições específicas da região. Essas variedades são fundamentais para a segurança alimentar local, dado o papel central do feijão na alimentação dos brasileiros, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal.

Com a presença de 132 acessos de feijão-comum no banco, este se torna um importante recurso para o desenvolvimento de novas variedades adaptadas a diferentes condições ambientais e para o aprimoramento das características agrônômicas, como resistência a pragas, doenças, tolerância à seca e maior produtividade. A manutenção da diversidade genética é essencial, pois permite que os pesquisadores possam acessar uma ampla gama de características genéticas, favorecendo o melhoramento genético de cultivares que atendam às necessidades dos agricultores, especialmente no Espírito Santo, onde o feijão é uma das principais culturas (Figura 12).



Figura 12. Catálogo do Banco Ativo de Germoplasma de Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris*) do Ifes Campus de Alegre. Fonte: Paula et al., 2022.

Além disso, a preservação e o estudo dessa variabilidade genética são de extrema importância para garantir a resiliência das culturas agrícolas em face das mudanças climáticas, que podem afetar a produtividade e a segurança alimentar. A coleta e o armazenamento de diferentes acessos de feijão ajudam a proteger contra a erosão genética, permitindo que o material genético de variedades tradicionais seja disponibilizado para futuras gerações de pesquisadores, melhoristas e agricultores.

Este banco de germoplasma também tem um valor significativo para a adaptação às exigências do mercado e ao desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis. A diversidade genética representada nos acessos coletados permite que os produtores rurais tenham acesso a cultivares mais eficientes e de melhor qualidade, contribuindo não apenas para a segurança alimentar, mas também para a sustentabilidade do agronegócio no Espírito Santo e em outras regiões.

O trabalho conjunto com o INCAPER é fundamental para garantir que esses recursos genéticos sejam utilizados de forma estratégica e eficaz, integrando práticas de manejo sustentável, que incluem o melhoramento genético e o manejo agroecológico, para que os feijões cultivados no estado continuem a atender às necessidades locais, ao mesmo tempo em que preservam a biodiversidade e contribuem para a conservação dos recursos naturais.

✓ **Banco Ativo de Germoplasma de Pimentas (Fábio Zampieri, Monique Moulin)**

- Localização: IFES – Alegre

No presente catálogo está representado os acessos de pimentas do gênero *Capsicum* coletados desde o ano de 2011. Nele há doações de germoplasmas de outros estados, porém em sua maioria busca retratar a variabilidade de pimentas cultivadas pelos produtores rurais do estado do Espírito Santo. O banco atualmente conta com 110 acessos de pimentas (Figura 13).

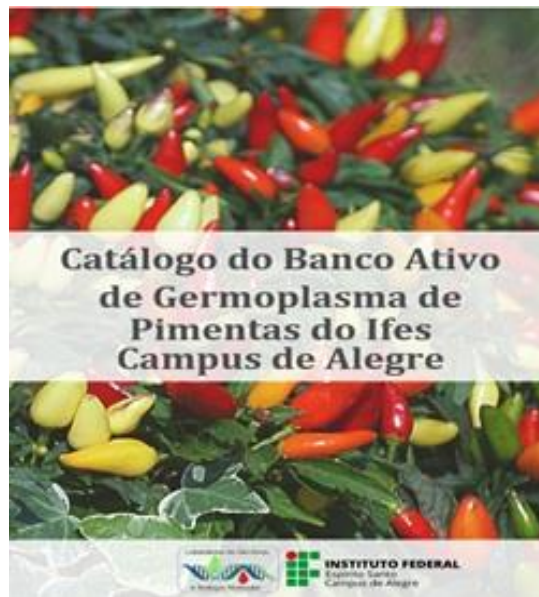


Figura 13. Catálogo do Banco Ativo de Germoplasma de Pimentas do Ifes Campus de Alegre. Fonte: Zampieri *et al.*, 2022.

✓ Banco Português de Germoplasma Vegetal

- Localização: Portugal

O Banco Português de Germoplasma Vegetal (BPGV) está localizado no Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), em Braga-Portugal. Este banco tem como principal objetivo a conservação da diversidade genética de plantas cultivadas e de espécies vegetais de interesse agrícola, hortícola, florestal e ornamental (Figura 14 e 15).



Figura 14 e 15. Fachada e dependências do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV). Fonte: <https://www.inia.pt/index.php?id=1362>.

O BPGV mantém uma vasta coleção de germoplasma, que inclui variedades tradicionais, espécies autóctones e outras com valor econômico ou ambiental. Além de sua função de conservação, o BPGV também promove a pesquisa científica e oferece apoio à agricultura sustentável, auxiliando em programas de melhoramento genético e na adaptação de espécies a diferentes condições ambientais.

✓ ***Millennium Seed Bank (Monique Moulin)***

- *Localização: Sussex, Inglaterra*

O *Millennium Seed Bank*, localizado nos Jardins Botânicos Reais de Kew, no Reino Unido, é uma das maiores iniciativas de conservação de sementes do mundo. Sua missão é coletar e conservar sementes de plantas selvagens para salvaguardar a biodiversidade global e apoiar a restauração ecológica.

O banco possui uma coleção que abrange cerca de 40.000 espécies de plantas de todo o mundo, com um foco especial em espécies ameaçadas e aquelas de importância econômica. As sementes são secas e armazenadas em condições de baixa umidade e temperatura para maximizar sua viabilidade em longo prazo. Além da conservação, o *Millennium Seed Bank* atua como um centro de pesquisa e colabora com outras instituições globais para promover a ciência da conservação. Ele oferece suporte técnico e treinamento para melhorar as capacidades de conservação em outros países (Figuras 16 e 17).



Figura 16 e 17. Banco de Germoplasma Millennium Seed Bank, Sussex, Inglaterra. Fonte: Professora Dra. Monique Moulin, 2024.

6. Considerações

A conservação da biodiversidade é um pilar essencial para a sustentabilidade ambiental, pois possibilita a criação de estratégias eficazes para garantir a sobrevivência das espécies em um mundo em constante transformação. A diversidade genética dos ecossistemas naturais é um elemento fundamental para a adaptação das espécies a desafios globais, como as mudanças climáticas, doenças emergentes, a degradação ambiental e o impacto de atividades humanas. Nesse contexto, a preservação da variabilidade genética não apenas fortalece a resiliência das espécies, mas também assegura a continuidade dos processos ecológicos fundamentais para a saúde do planeta.

Os bancos de germoplasma surgem como ferramentas indispensáveis para a preservação de recursos genéticos, atuando como repositórios estratégicos que desempenham um papel vital na manutenção da diversidade genética necessária para os programas de melhoramento de cultivos e para a pesquisa científica. Por intermédio de metodologias avançadas, como a criopreservação, cultura de tecidos, e outras técnicas de preservação de longo prazo, esses bancos garantem a integridade e a acessibilidade do material genético, proporcionando um legado seguro para as gerações futuras. Além disso, práticas criteriosas de documentação e manejo desses recursos são essenciais para facilitar o acesso, o compartilhamento e a utilização do germoplasma de forma eficaz e responsável.

Ademais, os bancos de germoplasma não se limitam a sustentar a pesquisa e a produção agrícola moderna, mas desempenham um papel significativo na preservação do patrimônio cultural ligado às variedades tradicionais. Muitas dessas variedades, cultivadas por comunidades locais ao longo de gerações, estão intimamente associadas a práticas agrícolas ancestrais e saberes tradicionais. A proteção e o uso sustentável desses recursos genéticos asseguram a continuidade de métodos de cultivo adaptados a contextos locais, respeitando a diversidade cultural e promovendo a soberania alimentar.

Em um cenário de crescente erosão genética, causado pela homogeneização das culturas agrícolas e pela perda de habitats naturais, os bancos de germoplasma desempenham uma função insubstituível na conservação da biodiversidade. Eles são, de fato, um dos pilares mais

importantes para mitigar os impactos da globalização, do uso indiscriminado de recursos naturais e das práticas agrícolas insustentáveis. O investimento contínuo na manutenção e aprimoramento dessas coleções genéticas deve ser uma prioridade global, uma vez que suas implicações transcendem as fronteiras nacionais e os limites de uma única geração.

O papel dos bancos de germoplasma vai além da simples preservação de sementes e plantas: eles são guardiões da resiliência ambiental e da soberania alimentar. Ao garantir a proteção e a utilização responsável dos recursos genéticos, esses bancos ajudam a construir um futuro mais sustentável e seguro para as próximas gerações, promovendo a inovação tecnológica e científica, e contribuindo para a criação de soluções que atendam às necessidades ambientais, sociais e econômicas globais. Portanto, a sua continuidade e fortalecimento são fundamentais para a construção de um futuro resiliente e próspero, onde a biodiversidade, a cultura e a segurança alimentar caminham juntas em harmonia.

7. Referências

- AMBATI, D. *et al.* Assessment of genetic diversity and development of core germplasm in durum wheat using agronomic and grain quality traits. **Cereal Research Communications**, v. 48, p. 375-382, 2020
- ANDRADE, A. P. A. de; MENDES, R. A. **Levantamento dos recursos genéticos de Manihot silvestre no cerrado**. 2005.
- BRASIL. **Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. - Brasília: MAPA/SENAR, 2021.
- BRASIL. **Parentes silvestres das espécies de plantas cultivadas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 42 p.
- CARVALHO, M. A.; QUESENBERRY, K. H. Morphological characterization of the USA *Arachis pintoi* Krap. and Greg. collection. **Plant Systematics and Evolution**, v. 277, p. 1-11, 2009.
- COSTA, R.; DE MELLO, R. Um Panorama Sobre a Biologia da Conservação e as Ameaças à Biodiversidade Brasileira. **SAPIENS-Revista de divulgação Científica**, v. 2, n. 2, p. 50-69, 2020.

COSTA, T. S. *et al.* Diversidade genética de acessos do banco de germoplasma de mangaba em Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 46, p. 499-507. 2011.

GIMENES, M. A.; BARBIERI, R. L. **Manual de curadores de germoplasma - vegetal: conservação em BAGs**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

GÓMEZ-CAMPO, C. **Long term seed preservation: the risk os selecting inadequate containers is very high**. Madrid: Universidad Politécnica de Madri, 2002.

GUO, Yiyi *et al.* Construction of a worldwide core collection of rapeseed and association analysis for waterlogging tolerance. **Plant Growth Regulation**, v. 98, n. 2, p. 321-328, 2022.

HOYT, E. **Conservação dos parentes silvestres das plantas cultivadas**. Wilmington, Delaware: Addison Wesley, 1992. 52 p.

GENEBANKS. CIMMYT - **Banco Mundial de Germoplasma de Milho**. Disponível em: https://www.genebanks.org/genebanks/cimmyt/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 19 jan. 2025.

GIACOMETTI, D. C. Conservacion de recursos fitogenéticos. In: CONTRERAS, A. J.; ESQUINAS ALCAZAR, J J. SIMPÓSIO RECURSOS FITOGENÉTICOS, 1984, Valdivia. **Anais....** Chile: UACH-IBPGR, p. 167-173. 1987.

LASSOIS, L. *et al.* Genetic diversity, population structure, parentage analysis, and construction of core collections in the French apple germplasm based on SSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 34, p. 827-844, 2016

MARTÍNEZ, I. M. **Conservación de recursos fitogenéticos**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación, 2016. 28 p.

NASS, L. L.; PATERNIANI, E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 581-587, 2000.

PÁDUA, J. G.; ALBUQUERQUE, M. do S. M.; MELO, S. C. M. de. **Bancos e coleções de germoplasma da Embrapa: conservação e uso** (Editores Técnicos) – Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2020. 167 p. - (Documentos / Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 371).

PAULA, E. de *et al.* **Catálogo do Banco Ativo de Germoplasma de Feijão Comum (*Phaseolus vulgaris*) do Ifes Campus de Alegre**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre 2022. 26 f.

PÉREZ-GARCIA, F.; GONZÁLES-BENITO, M. E.; GÓMEZ-CAMPO, C. High viability recorded in ultra-dry seeds of 37 species of Brassicaceae after almost 40 years of storage. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 35, p. 1-11, 2006.

RAMOS, S. R. R.; QUEIROZ, M. A.; PEREIRA, T. N. S. Recursos genéticos vegetais: manejo e uso. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 19, n. 4, p. 265-273, 2007.

SANDHU, N. *et al.* Development and validation of a novel core set of KASP markers for the traits improving grain yield and adaptability of rice under direct-seeded cultivation conditions. **Genomics**, v. 114, n. 2, p. 110269, 2022.

SANTOS, D. M. dos; SILVA, A. R.; FERREIRA, P. L. Bancos de germoplasma e sua importância para a conservação da biodiversidade e o melhoramento genético. **Revista Brasileira de Recursos Genéticos**, v. 12, n. 2, p. 45-62, 2023. DOI: 10.1590/rbrg.2023.12.2.0045.

SILVA, D. J. H.; MOURA, M. C. C. L.; CASALI, V. W. D. Recursos genéticos do banco de germoplasma de hortaliças da UFV: Histórico e expedições de coleta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 108-114, 2001.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 311 p. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5>

YAO, Q.-I.; PING, F. A. N.; ZOU, S.-X. Constructing a core collection for Maize (*Zea mays* L.) landrace from Wuling Mountain Region in China. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 12, p. 1423-1432, 2008.

YOUNG, C. E. F.; SPANHOLI, M. L. Uma visão econômica sobre a conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. **Comciência**, Campinas, 5 out. 2020.

ZAMPIERI, F. G. **Catálogo do banco ativo de germoplasma de pimentas do Ifes campus de Alegre** – Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Espírito Santo, Alegre, 2022, 21 f.

WORLD BANK. **Banco Mundial de Germoplasma de Arroz (IRRI)**. Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/es/745601468765287938/pdf/31133010spanish.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 19 jan. 2025.

Global Crop Diversity Trust (Crop Trust). **Svalbard Global Seed Vault**. Disponível em: <https://www.croptrust.org/what-we-do/svalbard-global-seed-vault/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

CAPÍTULO 6

Uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos: formas, leis e resultados

Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima, Maurício Novaes Souza, Thaís de Souza Pastor, Willian Moreira da Costa

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c6>

Resumo

Os resíduos de esgoto representam um dos maiores problemas ambientais atuais, especialmente devido às suas elevadas taxas de contaminação. No contexto agrícola, resíduos como lodos de esgoto, restos de lavoura e resíduos agropecuários têm potencial de aplicação em sistemas agroecológicos. Pesquisas demonstram que, após tratamento adequado, esses materiais podem ser transformados em biofertilizantes, fornecendo nutrientes para as culturas e promovendo alternativas sustentáveis, especialmente em sistemas agroflorestais. Contudo, o manejo desses resíduos requer atenção à legislação, devido à presença potencial de substâncias tóxicas e metais pesados. Para ampliar sua viabilidade, é fundamental o investimento em regulamentações e tecnologias que garantam a segurança e a eficiência do uso desses compostos.

Palavras-chave: Biofertilizantes. Sistemas agroecológicos. Sustentabilidade agrícola. Agroflorestas. Tratamento de resíduos. Contaminação ambiental. Legislação ambiental.

1. Introdução

Nos últimos anos, diversas pesquisas têm destacado o potencial do lodo de esgoto doméstico na recuperação de solos degradados e depauperados. Essa prática se configura como uma abordagem agroecológica sustentável, trazendo benefícios significativos tanto para a agricultura quanto para o meio ambiente. Entre suas principais vantagens, encontra-se a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o aumento da fertilidade e da produtividade agrícola, além da redução do descarte inadequado de resíduos no meio ambiente (Keller *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 2020).

O lodo de esgoto é especialmente rico em nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, fundamentais para o desenvolvimento das culturas agrícolas. Sua aplicação também melhora a retenção de água, a porosidade e a agregação do solo, contribuindo para a conservação dos recursos naturais (Andrade *et al.*, 2020). Estudos apontam que os bio sólidos favorecem a ciclagem de nutrientes, a deposição de matéria orgânica e a redução da dependência de fertilizantes químicos, promovendo impactos positivos na sustentabilidade dos sistemas produtivos (Melo; Montanari, 2020).

Apesar de seus benefícios, a presença de metais pesados no lodo de esgoto representa uma das principais limitações ao seu uso agrícola. Em muitos casos, as concentrações desses elementos excedem os níveis naturalmente encontrados nos solos, podendo gerar riscos ao ambiente e à saúde humana. Assim, é fundamental realizar avaliações criteriosas dos impactos potenciais da aplicação de lodo em solos agricultáveis e desenvolver técnicas de manejo que minimizem tais riscos (Messias *et al.*, 2007).

Além de atuar como condicionador de solo, o lodo de esgoto pode ser incorporado em sistemas agroecológicos, especialmente durante a transição agroecológica. Essa abordagem permite que agricultores utilizem recursos disponíveis de maneira mais sustentável, promovendo a preservação ambiental e a redução dos custos de produção (Paz-Ferreiro *et al.*, 2018). Segundo Bernardes (2017), a integração de sistemas como os silvipastoris amplifica os benefícios do uso de bio sólidos, favorecendo a ciclagem de nutrientes, a conservação hídrica e a diminuição da necessidade de insumos externos.

No cenário atual, marcado pela urbanização acelerada e pelo consumo excessivo de recursos naturais, o uso de bio sólidos na agricultura se apresenta

como uma alternativa promissora. Além de reduzir os impactos do descarte inadequado, essa prática contribui para o manejo sustentável dos solos e para a mitigação das mudanças climáticas, por meio do sequestro de carbono e da diminuição da pegada de carbono associada aos fertilizantes minerais (Chang *et al.*, 2019; Martins *et al.*, 2021).

Com o manejo adequado, os bio sólidos se tornam uma solução economicamente viável para agricultores de diferentes escalas, fortalecendo a transição para sistemas mais resilientes e sustentáveis. Assim, sua utilização deve ser incentivada, acompanhada por políticas públicas que garantam a segurança ambiental e promovam práticas agroecológicas baseadas em evidências científicas.

O objetivo deste capítulo foi analisar o potencial do uso de lodo de esgoto na agricultura, destacando suas vantagens e desafios no contexto agroecológico. Busca explorar como essa prática pode contribuir para a recuperação de solos degradados, o manejo sustentável dos recursos naturais e a mitigação de impactos ambientais, ao mesmo tempo em que discute os riscos associados, como a presença de metais pesados, e a necessidade de regulamentações e técnicas de manejo apropriadas. Além disso, o capítulo pretende demonstrar como essa abordagem pode ser integrada a sistemas agroecológicos e produtivos resilientes, promovendo benefícios econômicos, sociais e ambientais.

2. Tratamento de resíduos de esgoto

A Companhia Espírito-Santense de Saneamento (CESAN), ilustrada na Figura 1, opera diversas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), exemplificadas nas Figuras 2 e 3. A empresa utiliza três principais sistemas de tratamento: lagoas de estabilização, reatores UASB e sistemas de lodo ativado. Esses métodos são projetados para atender às exigências legais, preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da população (CESAN, 2013).



Figura 1. Lagoa de Estabilização. Fonte: CESAN, 2013.



Figura 2. Reatores UASB ETE em Itaúnas, Conceição da Barra. Fonte: CESAN, 2013.



Figura 3. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) tipo Lodo Ativado - ETE em Manguinhos – Serra. Fonte: CESAN, 2013.

Pesquisas recentes destacam que o uso de bio sólidos pode superar o desempenho de fertilizantes tradicionais em termos de melhoria da estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (Lal, 2020). Além disso, sistemas agroflorestais têm mostrado potencial para integrar esse recurso de maneira sustentável, promovendo o sequestro de carbono e a regeneração de áreas degradadas (Paz-Ferreiro et al., 2018).

3. Etapas do tratamento de esgoto na ETE

Para atender às exigências legais, o esgoto bruto deve passar por diferentes níveis de tratamento, incluindo as etapas preliminar e biológica. Em situações específicas, podem ser aplicados tratamentos físico-químicos e a desinfecção do esgoto tratado. Durante o processo, ocorre a geração de lodo e gases, que podem ser submetidos a tratamentos específicos para seu manejo adequado (CESAN, 2013).

3.1. Tratamento preliminar

A CESAN, apresentada na Figura 1, opera Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), como as mostradas nas Figuras 2 e 3. No tratamento preliminar, o gradeamento (Figura 4) e os desarenadores ocorrem na fase inicial (CESAN, 2013).



Figura 4. Gradeamento na ETE Mulembá – Vitória.

O tratamento preliminar visa remover sólidos grosseiros em suspensão, como areia, plásticos e papéis, geralmente oriundos do uso incorreto do sistema de esgoto. Tanques desarenadores (Figura 5) utilizam a força gravitacional para sedimentar partículas pesadas, enquanto o gradeamento retém resíduos maiores (CESAN, 2013).



Figura 5. Tanques desarenadores. Fonte: Universidade Estadual de Campinas, 2019.

3.2. Tratamento biológico

Existem diferentes tipos de tratamento de esgoto doméstico, que utilizam processos biológicos aeróbios e anaeróbios, cada um com vantagens e desvantagens. Esses processos empregam microrganismos que proliferam na água, aperfeiçoando o tratamento e reduzindo custos, com o objetivo de alcançar a maior eficiência possível. Um exemplo é o sistema de Lodo Ativado, no qual o esgoto é conduzido a um tanque aerado, onde é submetido à aeração (CESAN, 2013).

De acordo com esse mesmo autor, a quantidade de oxigênio introduzida na mistura por meio dos aeradores influencia diretamente no desenvolvimento de bactérias aeróbias, responsáveis por digerir a matéria orgânica carbonácea e realizar a nitrificação do nitrogênio orgânico remanescente do afluente bruto. Nesse processo, microrganismos específicos formam flocos conhecidos como lodo ativado ou lodo biológico. Parte do lodo é recirculada para manter a atividade biológica no sistema, enquanto o excedente é enviado para deságue e

destinação em aterros ou outros tratamentos específicos. O efluente tratado, por sua vez, é direcionado para corpos d'água receptores, como rios.

O tratamento biológico pode ser realizado em sistemas aeróbios ou anaeróbios. Nos sistemas aeróbios, como o de Lodo Ativado, bactérias consomem matéria orgânica e formam flocos biológicos em tanques aerados. Apesar de apresentar vantagens como maior remoção de matéria orgânica e nutrientes, esse sistema exige altos níveis de energia para manter a aeração constante. Já os reatores UASB, que operam em condições anaeróbias, são amplamente utilizados no Brasil, especialmente em regiões de clima tropical, devido à sua eficiência e à produção de biogás como subproduto, o que contribui para a sustentabilidade do processo (Chernicharo, 2007; Tchobanoglous *et al.*, 2014).

3.3. Desinfecção do efluente (esgoto tratado)

Para que o esgoto tratado seja devolvido à natureza, a CESAN precisa cumprir as exigências estabelecidas pela Legislação Ambiental. Nesse contexto, o efluente é submetido a um processo de desinfecção utilizando lâmpadas de radiação ultravioleta (UV), conforme ilustrado na Figura 6. Durante esse processo, ao entrar em contato com a radiação UV, os microrganismos presentes no efluente são esterilizados, o que impede sua reprodução e garante maior segurança ambiental no descarte do efluente tratado (CESAN, 2013).



Figura 6. Sistema UV. Fonte: CESAN, 2013.

4. Lodo de esgoto

O lodo é formado durante o processo de decomposição da matéria orgânica presente no esgoto, realizado principalmente por micro-organismos, como bactérias. Para reduzir sua umidade, o lodo passa por um processo de deságue que, dependendo da tecnologia empregada, pode resultar em características semissólidas/pastosas ou sólidas. Por ser orgânico e rico em nutrientes, o lodo de esgoto apresenta grande potencial para utilização na agricultura, trazendo benefícios como o aumento da fertilidade do solo e o incremento no teor de matéria orgânica, fatores que contribuem diretamente para o aumento da produtividade agrícola (CESAN, 2013).



Figura 7. Lodo de Esgoto – ETE Mulembá. Fonte: CESAN, 2013

O lodo de esgoto é definido pela Norma Técnica Brasileira (NBR) nº 12.209/2011 como uma suspensão aquosa composta por componentes minerais e orgânicos tratados no sistema de tratamento de esgoto. O processo de descarte do lodo exige tratamento específico para reduzir sólidos biodegradáveis e odores, estabilizar a matéria orgânica, diminuir o volume e combater a presença de vetores. Após o tratamento e estabilização, o lodo de esgoto é denominado biossólido, pronto para o descarte adequado (Abreu, 2014).

5. Legislação

No Brasil, a Norma Brasileira (NBR) nº 10004/2004 classifica os resíduos sólidos em quatro classes (I, II, IIA e IIB), e o lodo de esgoto é classificado de

acordo com a fonte poluidora (ABNT NBR 10004, 2004). Além disso, a Resolução CONAMA nº 375/2006 define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento, estabelecendo regras para o uso de lodo na agricultura, regulamentadas por Instruções Normativas e pela Resolução nº 380/2006 (CONAMA, 2006).

A Resolução, ao entrar em vigor após a publicação no Diário Oficial da União, estabelece as estações de tratamento de esgoto no Brasil em conformidade com um instrumento legal de controle e monitoramento, visando garantir cuidados específicos ao disponibilizar o resíduo para a agricultura.

O principal objetivo da resolução é assegurar a destinação final adequada do produto gerado pelas estações de tratamento de esgoto, evitando que o material seja descartado em aterros sanitários. Dessa forma, busca-se proteger o meio ambiente e a saúde pública, alinhando-se a práticas adotadas em outros países que já regulamentam o uso agrícola de resíduos de esgoto.

De acordo com a coordenadora-técnica do CONAMA, Dominique Louette, o lodo de esgoto contém matéria orgânica e nutrientes benéficos para as plantas, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo e da produção agrícola, trazendo benefícios aos agricultores, principalmente quando o lodo é de boa qualidade. A resolução, portanto, visa garantir que o lodo a ser aplicado na agricultura atenda a padrões de qualidade, com limites máximos para metais pesados e agentes patogênicos, como fungos, bactérias e vírus.

A norma estabelece que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para uso agrícola, devem passar por processos de redução de patógenos e da atratividade de vetores de doenças. A resolução também impõe restrições ao uso do lodo em áreas de pastagem, unidades de conservação, cultivo de alimentos consumidos in natura, e plantações com contato direto com o solo.

O Art. 10º da resolução estabelece que os lotes de lodo de esgoto e produtos derivados para uso agrícola devem atender aos limites de concentração de elementos químicos tóxicos, classificados em Classe 1 ou Classe 2, conforme os valores máximos permitidos de elementos químicos,

como especificado nas Tabelas 1 e 2, e que esses limites não podem ser ultrapassados em qualquer amostra analisada (CONAMA, 2006).

Tabela 1. Valores máximos permitidos de substâncias químicas no biossólido a ser destinado para uso, em solos

Substâncias Químicas	Valor Máximo permitido no biossólido (mg/kg ⁻¹ ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1.500	4.300
Cromo	1.000	3.000
Mercurio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2.800	7.500

Fonte. Adaptado da Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2006, do CONAMA.

A Tabela 1 da **Resolução CONAMA nº 375/2006** estabelece os valores máximos permitidos de metais pesados e outros elementos químicos em biossólidos, expressos em mg/kg de sólidos totais (ST), com base nas classificações em **Classe 1** e **Classe 2**. A aplicação desses biossólidos na agricultura ou disposição em solos depende da concentração dos contaminantes presentes. A **Classe 1** permite um uso mais amplo, incluindo em solos para culturas agrícolas, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, desde que atendidos os critérios de aplicação. Já a **Classe 2** contém concentrações mais elevadas de contaminantes e exige cuidados adicionais, como monitoramento constante e aplicação controlada, para evitar impactos ambientais e à saúde humana.

Entre os elementos químicos, o **arsênio (As)** apresenta limites de **41 mg/kg** na Classe 1 e **75 mg/kg** na Classe 2. Este metal é tóxico para plantas e seres humanos, podendo acumular-se no solo e na cadeia alimentar. O **bário (Ba)**, com limite de **1.300 mg/kg** para ambas as classes, é menos tóxico, mas

em excesso pode prejudicar o solo e os organismos aquáticos. O **cádmio (Cd)**, com valores de **39 mg/kg** na Classe 1 e **85 mg/kg** na Classe 2, é altamente tóxico e pode se acumular nas plantas, afetando órgãos como os rins e ossos. O **chumbo (Pb)**, um metal cumulativo e tóxico, apresenta limites de **300 mg/kg** na Classe 1 e **840 mg/kg** na Classe 2, sendo prejudicial aos organismos vivos.

O **cobre (Cu)** possui limites de **1.500 mg/kg** na Classe 1 e **4.300 mg/kg** na Classe 2. Embora essencial para as plantas em pequenas quantidades, o cobre torna-se tóxico em concentrações elevadas, podendo afetar as raízes e a microbiota do solo. O **cromo (Cr)** apresenta limites de **1.000 mg/kg** para a Classe 1 e **3.000 mg/kg** para a Classe 2, sendo altamente tóxico na forma hexavalente. O **mercúrio (Hg)**, com limites de **17 mg/kg** na Classe 1 e **57 mg/kg** na Classe 2, apresenta alta toxicidade e bioacumulação, representando risco à saúde. O **molibdênio (Mo)**, essencial em pequenas quantidades, tem limites de **50 mg/kg** na Classe 1 e **75 mg/kg** na Classe 2, sendo tóxico em excesso.

O **níquel (Ni)** tem limite de **420 mg/kg** para ambas as classes, sendo essencial para algumas plantas, mas prejudicial em concentrações elevadas. O **selênio (Se)**, embora essencial, pode ser tóxico em níveis elevados, com limites de **36 mg/kg** na Classe 1 e **100 mg/kg** na Classe 2. O **zinco (Zn)**, um micronutriente fundamental, apresenta os maiores limites, com **2.800 mg/kg** na Classe 1 e **7.500 mg/kg** na Classe 2, sendo prejudicial em concentrações excessivas.

Esses limites visam garantir que os bio sólidos aplicados na agricultura estejam dentro de parâmetros seguros, evitando a contaminação do solo, a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos. O bio sólido da **Classe 2**, que contém concentrações mais elevadas de contaminantes, só poderá ser aplicado nos solos se a taxa máxima anual e a carga máxima acumulada de substâncias químicas não ultrapassarem os limites estabelecidos na **Tabela 2**, conforme regulamentação do CONAMA.

A **Tabela 2** estabelece os limites para a aplicação de metais pesados no solo, organizados em três parâmetros principais: a **taxa máxima anual ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)**, que indica a quantidade permitida anualmente por hectare de cada substância química, e a **carga máxima acumulada (kg ha^{-1})**, que refere-se à

quantidade total permitida ao longo do tempo, com diferenciação entre solos de áreas degradadas e solos de áreas não degradadas. Os metais pesados apresentados na tabela, como **arsênio (As)**, **bário (Ba)**, **cádmio (Cd)**, **cromo (Cr)**, **cobre (Cu)**, **chumbo (Pb)**, **mercúrio (Hg)**, **molibdênio (Mo)**, **níquel (Ni)**, **selênio (Se)** e **zinco (Zn)**, embora possam estar presentes em resíduos como o lodo de esgoto utilizados na agricultura, representam sérios riscos ambientais e à saúde humana quando acumulados em excesso. O controle rigoroso dessas substâncias no solo é essencial para evitar a contaminação do ambiente, a degradação do solo e impactos adversos na saúde das plantas, animais e seres humanos.

Tabela 2. Taxa máxima anual e carga máxima acumulada de substâncias químicas em solos quando do uso de biossólido Classe 2

Substâncias químicas	Taxa máxima anual (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Carga máxima acumulada (kg ha ⁻¹)	
		Solos de áreas degradadas	Solos de áreas não degradadas
Arsênio	2	20	41
Bário	13	130	260
Cádmio	1,9	19	39
Cromo	150	1500	3000
Cobre	75	750	1500
Chumbo	15	150	300
Mercúrio	0,85	8,5	17
Molibdênio	0,65	6,5	13
Níquel	21	210	420
Selênio	5	50	100
Zinco	140	1400	2800

Fonte. Adaptado da Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2006, do CONAMA.

O cádmio, por exemplo, apresenta uma taxa máxima anual de 1,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e uma carga máxima acumulada de 19 kg ha⁻¹ em solos de áreas degradadas, enquanto em solos não degradados, esses limites são de 39 kg ha⁻¹. Já o zinco possui limites bem mais elevados, com uma taxa máxima anual de 140 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e uma carga acumulada de 1400 kg ha⁻¹ em solos degradados e 2800 kg ha⁻¹ em solos não degradados. Esses valores sublinham a necessidade de um monitoramento rigoroso na aplicação de resíduos no solo,

como o lodo de esgoto, a fim de evitar a contaminação e garantir que o uso agrícola ou a recuperação do solo sejam realizados de forma sustentável.

O uso de resíduos, como os biossólidos provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs), tem se tornado uma prática cada vez mais comum devido ao seu potencial de fornecer nutrientes essenciais ao solo, como nitrogênio e fósforo, além de atuar como condicionador, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Conforme observado por Von Sperling (2020) e Melo *et al.* (2018), a aplicação de lodo de esgoto pode aumentar a produtividade agrícola ao melhorar características do solo, como a retenção de água, a porosidade e a disponibilidade de nutrientes. No entanto, a presença de metais pesados é uma limitação significativa, pois a aplicação inadequada pode resultar em contaminação do solo, afetar os ecossistemas e representar riscos à saúde humana, uma vez que esses metais podem ser absorvidos pelas plantas e entrar na cadeia alimentar.

Vale ressaltar que, conforme a **Resolução CONAMA nº 375/2006**, é proibido o uso de qualquer classe de lodo de esgoto ou seus derivados em pastagens, no cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e em culturas inundadas, além de outras culturas cujas partes comestíveis entrem em contato com o solo. Em solos onde o lodo de esgoto ou produto derivado for aplicado, as pastagens poderão ser implantadas apenas após um período mínimo de 24 meses após a última aplicação. Já o plantio de olerícolas, tubérculos, raízes e outras culturas cujas partes comestíveis entram em contato com o solo, assim como cultivos inundáveis, só poderão ocorrer após um período mínimo de 48 meses após a última aplicação (CONAMA, 2006).

Para assegurar a segurança do uso do lodo de esgoto na agricultura, normas nacionais e internacionais, como a **Resolução CONAMA nº 375/2006** e a **ABNT NBR 10004 (2004)** estabelecem limites de metais pesados e critérios de monitoramento. Estudos, como o de Silva *et al.* (2016), destacam a importância de respeitar esses limites, especialmente em solos agrícolas que recebem resíduos orgânicos e lodos. A distinção entre solos degradados e não degradados é fundamental, pois áreas degradadas, por estarem em processo de recuperação, exigem limites mais restritivos para evitar o acúmulo excessivo de contaminantes e garantir o equilíbrio do ecossistema em longo prazo.

Além disso, o uso sustentável desses resíduos auxilia no enfrentamento de desafios ambientais, como o descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos. Paz-Ferreiro *et al.* (2018) indicam que a utilização de biossólidos como condicionadores de solo não só mitiga problemas relacionados ao descarte inadequado de resíduos urbanos, mas também se apresenta como uma alternativa viável para o manejo sustentável dos solos, promovendo a conservação ambiental e reduzindo a dependência de fertilizantes minerais. Dessa forma, o manejo adequado do lodo de esgoto pode ser integrado a práticas agroecológicas, proporcionando uma alternativa sustentável e economicamente viável, especialmente em áreas de transição agroecológica, beneficiando a produtividade agrícola e a recuperação de solos degradados.

Portanto, a aplicação de lodo de esgoto em solos deve ser realizada com critérios rigorosos, respeitando os limites para metais pesados e os períodos de carência para plantio e pastagem estabelecidos pelas regulamentações vigentes. A adoção dessa prática não apenas promove uma agricultura mais sustentável, mas também contribui para a preservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos.

6. Formas de aplicação nos sistemas agroecológicos

Uma das formas mais vantajosas de utilizar o resíduo de esgoto é sua aplicação em plantios florestais, na forma de adubação orgânica. O uso planejado desses resíduos pode trazer benefícios significativos ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que aproveita o resíduo e melhora a qualidade do solo, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola. Ao elevar a matéria orgânica no solo, as plantas cultivadas obtêm melhores condições nutricionais, o que favorece seu crescimento e desenvolvimento. Além disso, a utilização de lodo de esgoto como adubo orgânico é uma solução economicamente viável para o produtor, pois reduz a necessidade de fertilizantes químicos, com vantagens tanto ambientais quanto econômicas (Santos *et al.*, 2014).

O lodo de esgoto, devido às suas características favoráveis, pode ser aplicado em plantios florestais como fertilizante ou condicionador do solo. Dessa forma, contribui para a sustentabilidade dos plantios, ao mesmo tempo em que ajuda a balancear os passivos ambientais e econômicos associados à destinação desses resíduos. Ao ser utilizado de maneira adequada, o lodo de esgoto permite sua disposição mais segura ao ecossistema, além de ser vantajoso economicamente. Uma das alternativas para a conservação e recuperação de solos é o uso de lodo de esgoto doméstico em solos agricultáveis, como apontado por Shizuo *et al.* (2021) (Figura 8).



Figura 8. Aplicação de cal no solo com lodo de esgoto. Foto: Ivan Monteiro, 2020.

Quando utilizado como insumo agrícola, o lodo de esgoto se torna uma valiosa fonte de matéria orgânica, além de fornecer macro e micronutrientes essenciais para o solo. Esse uso contribui para aumentar a capacidade de retenção de água, melhorar a resistência à erosão e reduzir a dependência de fertilizantes minerais. Além disso, o lodo pode favorecer a resistência das plantas aos fitopatógenos, promovendo um ambiente mais saudável para o desenvolvimento das culturas (Figuras 9 e 10).



Figura 9. Compostagem do lodo. Fonte: Terra Ambiental, 2023.



Figura 10. Aplicação de cal virgem no lodo de esgoto. Fonte: Biblioteca do Incaper, 2022.

Estudos têm avançado significativamente na aplicação de resíduos de esgoto em sistemas agroecológicos, desenvolvendo critérios rigorosos para seu uso. À medida que a demanda por esses resíduos aumenta no contexto agrícola, a conformidade com a legislação pertinente se torna um fator fundamental para maximizar a potencialidade de produção em sistemas agroecológicos. Em particular, o lodo de esgoto tem sido cada vez mais utilizado em silvicultura, onde pode contribuir para o aprimoramento da qualidade do solo e o crescimento das plantações de maneira sustentável (Figura 11).

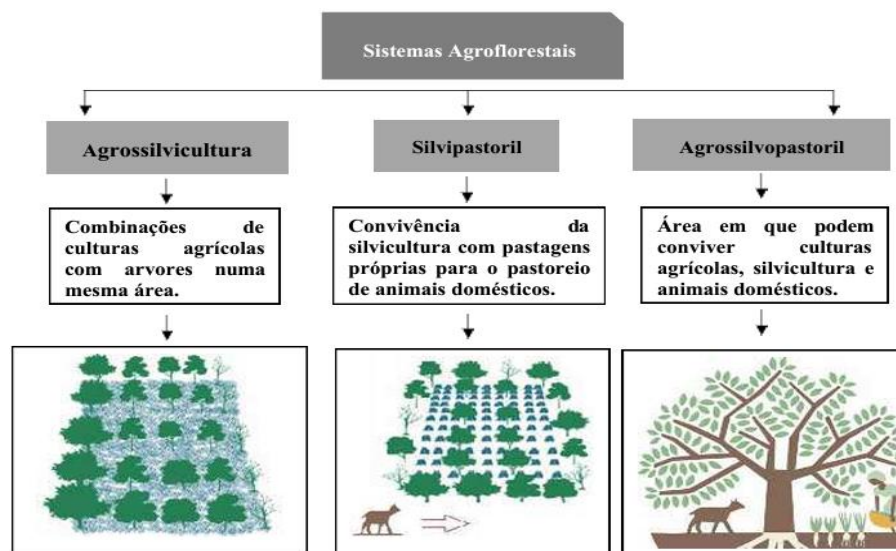


Figura 11. Tipos de sistemas agroflorestais. Fonte: Revista Campo & Negócio, 2022.

Em áreas degradadas, especialmente em sistemas agroflorestais, a aplicação de resíduos de esgoto tem mostrado resultados positivos, como evidenciado por um experimento realizado no semiárido brasileiro. Este estudo teve como objetivo avaliar as características químicas de um solo degradado irrigado com água residuária. As amostras da água residuária utilizada foram analisadas conforme os métodos estabelecidos pela APHA (2012), e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3. Esses resultados foram coletados do reservatório de armazenamento após os tratamentos primário e secundário na estação, conforme realizado na Estação Experimental de Tratamento de Águas e Esgotos Extrabes (SILVA, 2019).

Tabela 3. Caracterização do esgoto doméstico utilizado na irrigação da área experimental.

pH	CE	N	P	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	COT	SDT	DQO	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻
-	dSm ⁻¹	mg L ⁻¹										-			
8,1	1,37	24,2	12	9,2	50,3	3,5	684	32	21,2	4,7	21,9	2,3	23,3	10,1	267

pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; N: Nitrogênio total; P: Fósforo; PO₄³⁻: Ortofosfato; SO₄²⁻: Sulfato de magnésio; COT: Carbono orgânico total; SDT: Sais dissolvidos totais; DQO: Demanda química de oxigênio; NH₄⁺: Amônio; NO₃⁻: Nitrato; Na⁺: Sódio; K⁺: Potássio; Ca⁺²: Cálcio; Mg⁺²: Magnésio; Cl⁻: Cloreto.

Fonte: Silva, 2019.

O esgoto doméstico analisado na Tabela 3 apresenta um pH de 8,1, indicando uma solução levemente alcalina, e uma condutividade elétrica (CE) de $1,37 \text{ dS m}^{-1}$, o que sugere a presença de sais dissolvidos na água. Os níveis de nutrientes, como nitrogênio total ($24,2 \text{ mg L}^{-1}$), fósforo (12 mg L^{-1}) e potássio ($21,9 \text{ mg L}^{-1}$), destacam o potencial do esgoto como uma fonte de elementos essenciais para as plantas. A demanda química de oxigênio (DQO), que reflete a carga orgânica do esgoto, foi de 684 mg L^{-1} . Além disso, foram observados íons importantes, como amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}) e cloreto (Cl^-), que influenciam a qualidade da água e sua adequação para irrigação.

Estudos, como o de Medeiros *et al.* (2010), indicam que o uso de águas residuais na agricultura pode ser benéfico ao fornecer nutrientes ao solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos. Contudo, Silva e Alves (2015) alertam que a presença excessiva de sais e cloretos, comuns no esgoto doméstico, pode levar à salinização do solo e prejudicar o desenvolvimento de culturas mais sensíveis. Fonseca *et al.* (2018) destacam que, com um manejo adequado e monitoramento rigoroso, o uso de esgoto tratado na irrigação pode ser uma prática sustentável, resultando em maior produtividade agrícola, economia de recursos hídricos e redução do uso de fertilizantes.

Assim, a análise detalhada dos parâmetros físico-químicos e biológicos é fundamental para garantir o uso seguro e eficiente do esgoto doméstico como recurso hídrico na agricultura. É necessário evitar problemas como a salinização do solo e a contaminação das águas subterrâneas, garantindo uma aplicação responsável e benéfica para os sistemas agrícolas.

Além disso, as análises físico-químicas da água de abastecimento, provenientes da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), foram realizadas em amostras retiradas diretamente da torneira, com a coleta realizada no Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, PB. Essas amostras também foram levadas para o laboratório da Extrabes para análises complementares (SILVA, 2019).

Tabela 4. Caracterização da água convencional utilizada na irrigação da área experimental.

pH	CE	N	P	COT	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻
-	dS m ⁻¹	mg L ⁻¹							-
7,5	0,78	0,26	1,65	1,71	9,1	5,2	11,1	6,2	175

pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; N: Nitrogênio total; P: Fósforo; COT: Carbono orgânico total; Na⁺: Sódio; K⁺: Potássio; Ca⁺²: Cálcio; Mg⁺²: Magnésio; Cl⁻: Cloro.

Fonte: Silva, 2019.

A qualidade da água utilizada na irrigação é fundamental para o desenvolvimento das plantas, pois influencia diretamente o crescimento e a produtividade das culturas. A Tabela 4 apresenta dados sobre parâmetros importantes da água da área experimental, como o pH, a condutividade elétrica (CE), os nutrientes e os cátions presentes, elementos essenciais para avaliar os efeitos da água no solo e na saúde das plantas.

O pH da água, que foi registrado em 7,5, indica que ela é ligeiramente alcalina. O pH ideal para a maioria das plantas de cultivo varia entre 6 e 8, e valores fora dessa faixa podem prejudicar a absorção de nutrientes essenciais. Marschner (2012) aponta que o pH afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes no solo, podendo tornar certos elementos, como ferro e manganês, menos solúveis e, portanto, menos disponíveis para as plantas.

A condutividade elétrica (CE), que mede a concentração de sais na água, foi de 0,78 dS m⁻¹. Este valor indica a presença de sais dissolvidos, mas não é elevado o suficiente para representar riscos imediatos à irrigação. De acordo com Richards (1954), uma CE superior a 1,5 dS m⁻¹ pode começar a afetar o desenvolvimento das plantas, especialmente em solos com baixa drenagem. Portanto, a CE de 0,78 dS m⁻¹ parece estar dentro de limites adequados para o cultivo.

Em relação aos nutrientes presentes, os valores de nitrogênio (0,26 mg L⁻¹), fósforo (1,65 mg L⁻¹), potássio (5,2 mg L⁻¹), cálcio (11,1 mg L⁻¹) e magnésio (6,2 mg L⁻¹) indicam uma água com potencial nutritivo, mas que pode exigir suplementação para garantir o crescimento ideal das plantas. O nitrogênio, essencial para o desenvolvimento vegetativo, encontra-se em uma concentração

baixa, o que pode exigir a adição de fertilizantes nitrogenados (Malavolta et al., 1997). O fósforo é importante para o desenvolvimento radicular e formação de flores e frutos, e pode ser limitante em águas com baixa concentração desse nutriente (Fageria et al., 2009). Potássio e cálcio estão em níveis favoráveis para a fotossíntese, resistência a doenças e estrutura celular (Marschner, 2012), e o magnésio é relevante para a clorofila e fotossíntese.

No entanto, a presença de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) em concentrações de $9,1 \text{ mg L}^{-1}$ e 175 mg L^{-1} , respectivamente, é motivo de preocupação. O sódio pode causar a sodificação do solo, impactando a drenagem e absorção de nutrientes pelas raízes (Rengasamy, 2010). O cloro, por sua vez, pode ser tóxico em altas concentrações, afetando o metabolismo das plantas e sua resistência a condições de estresse, como seca e salinidade (Zeng et al., 2002).

Portanto, embora a água com essas características seja adequada para o cultivo de várias culturas, é necessário um monitoramento constante. Em alguns casos, será preciso corrigir os níveis de nutrientes ou adotar estratégias de drenagem para otimizar o desenvolvimento das plantas e preservar a saúde do solo.

O cultivo do mamoeiro no Estado do Espírito Santo, por exemplo, é realizado em solos conhecidos como tabuleiros costeiros, que são arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e pobres em nutrientes. A adição de matéria orgânica é fundamental para promover altas produtividades (INCAPER, 2011) (Figura 12).

Em sistemas agroflorestais, como evidenciado por estudos com o uso de águas residuais, a avaliação do crescimento de espécies florestais pode ser feita por métodos não destrutivos, como a medição da altura e diâmetro do caule. Essas abordagens permitem a análise das influências ambientais, genéticas e agronômicas no crescimento das plantas (Araujo et al., 2014; Alves et al., 2015). Esse tipo de estudo tem sido realizado para entender o efeito do uso de água de esgoto doméstico tratada no crescimento de arbóreas.

Independentemente dos tratamentos aplicados no experimento: T1: Irrigação com volume de 500 ml planta/semana com água de abastecimento; T2: Irrigação com volume de 500 ml planta/semana e T3: Irrigação com volume de

1000 ml planta/semana de água residuária de esgoto doméstico. As variáveis altura e diâmetro a altura do peito (DAP), das espécies não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com água residuária e água de abastecimento (Magalhães *et al.*, 2019).

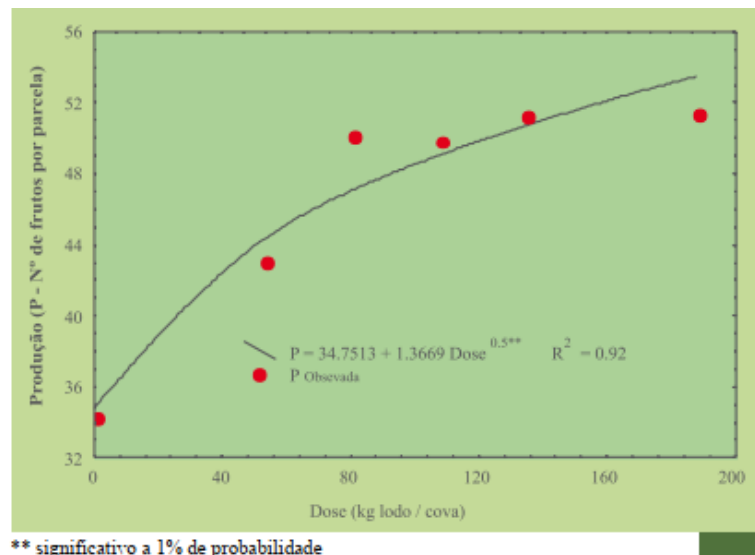


Figura 12. Representação gráfica do modelo de regressão para a produção do mamoeiro em função da dose de lodo higienizado com cal virgem.

A Figura 13 ilustra o crescimento em altura de *Mimosa caesalpinifolia* e mostra como as diferentes condições experimentais, como variações na irrigação ou fertilização, influenciam o desenvolvimento dessa espécie ao longo dos dias após o plantio (DAP). As linhas no gráfico representam os diferentes tratamentos: a equação de regressão associada permite prever a altura das plantas ao longo do tempo, sendo o valor de R^2 uma medida da precisão do modelo (SILVA; PEREIRA, 2023).

Na Figura 14, o foco está em *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com uma abordagem similar à anterior.

O gráfico demonstra como os tratamentos afetam o crescimento em altura dessa espécie. A equação de regressão também é apresentada para entender melhor a dinâmica de crescimento, e o valor de R^2 ajuda a avaliar a adequação do modelo às observações (Silva; Pereira, 2023).

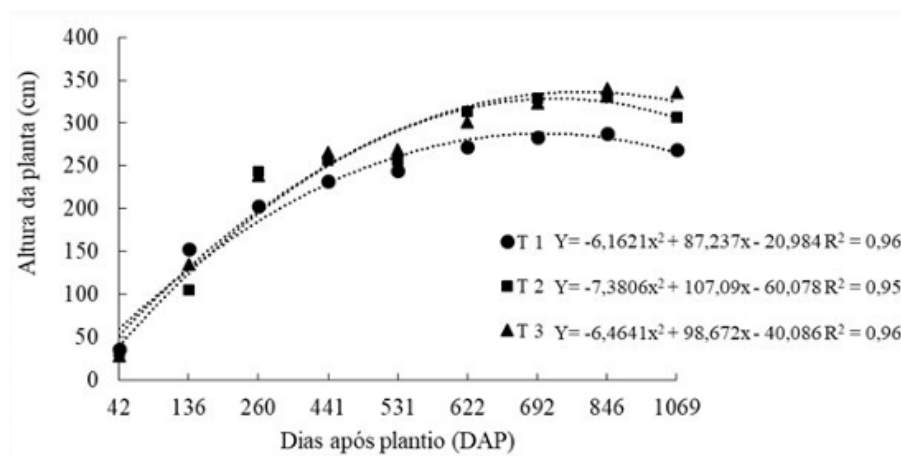


Figura 13. Curva de crescimento em altura de *Mimosa caesalpinifolia* Benth.
Fonte: Silva e Pereira, 2023.

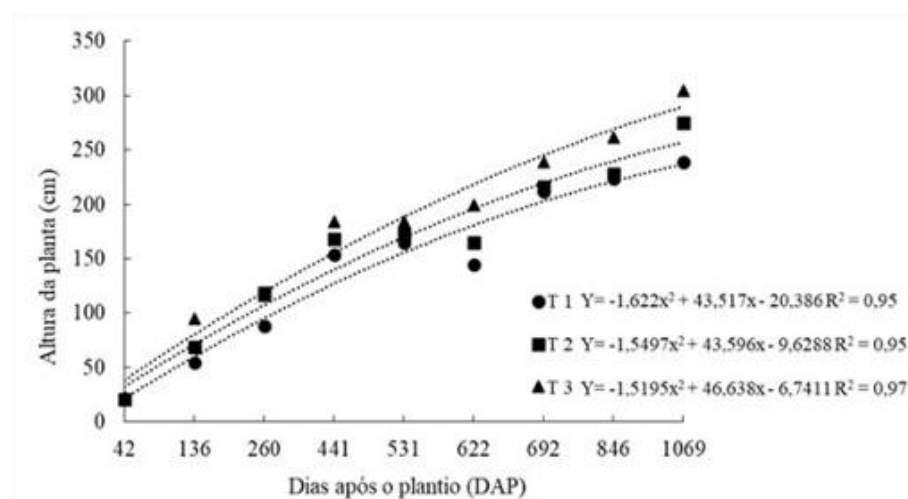


Figura 14. Curva de crescimento em altura de *Myracrodruon urundeuva* Allemão. Fonte: SILVA; PEREIRA, 2023.

A Figura 15 apresenta o crescimento em diâmetro do caule de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. Novamente, as linhas no gráfico representam as diferentes condições experimentais, e a equação de regressão fornece informações sobre a relação entre o tratamento e o aumento do diâmetro do caule ao longo do tempo. O valor de R^2 é fundamental para entender o ajuste do modelo aos dados obtidos.

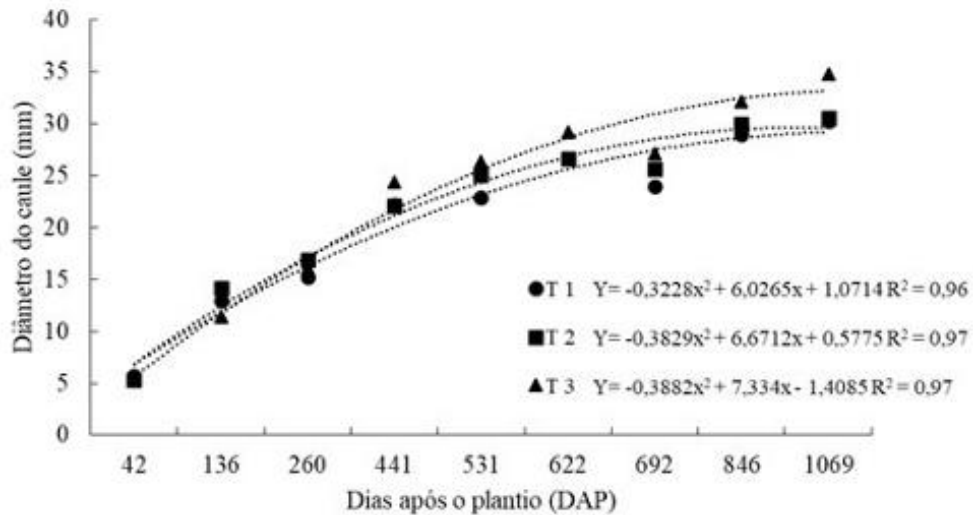


Figura 15. Curva de crescimento em diâmetro caulinar de *Mimosa ceasalpinifolia* Benth. Fonte: Silva e Pereira, 2023.

Por fim, a Figura 16 mostra o crescimento em diâmetro do caule de *Myracrodruon urundeuva* Allemão. Assim como nas Figuras 12 a 15, as linhas representam os efeitos dos tratamentos ao longo do tempo, e a análise estatística através da equação e do valor de R^2 oferece uma visão precisa sobre o desenvolvimento do caule.

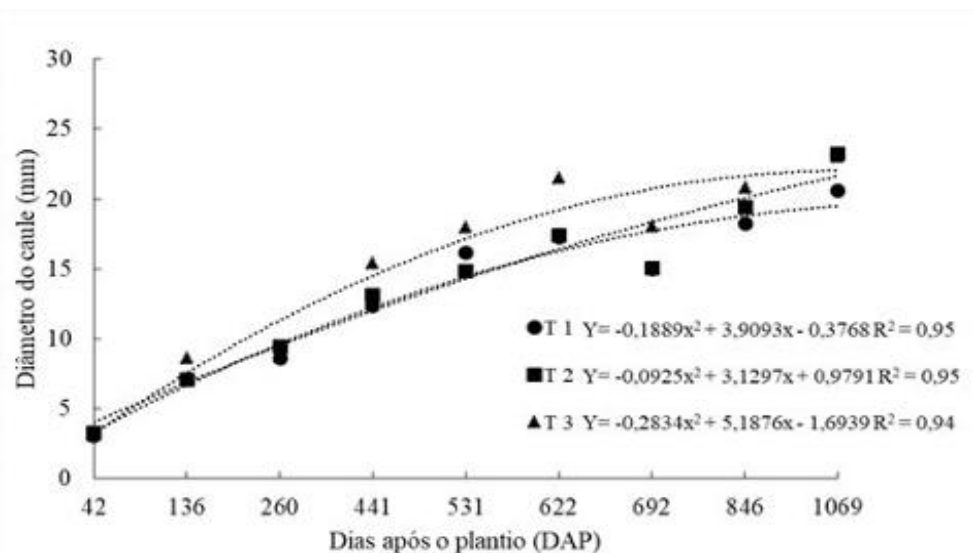


Figura 16. Curva de crescimento em diâmetro caulinar de *Myracrodruon urundeuva* Allemão. Fonte: Santos, 2016.

Essas Figuras e suas respectivas equações de regressão permitem uma análise detalhada de como as espécies respondem aos diferentes tratamentos ao longo do tempo, contribuindo para o entendimento das dinâmicas de crescimento. Esses modelos matemáticos são essenciais para formular práticas agrícolas e florestais mais eficazes, oferecendo informações sobre a melhor forma de manejar essas espécies para obter o melhor desempenho em altura e diâmetro do caule.

Os resultados apresentados indicam que as plantas cultivadas com água residuária demonstraram melhor desenvolvimento, atribuído à incorporação do esgoto doméstico tratado no solo. Esse processo aumenta a disponibilidade de nutrientes e a matéria orgânica, favorecendo o crescimento das plantas. Conforme Santos (2016), a utilização de água residuária rica em matéria orgânica é uma alternativa viável aos fertilizantes convencionais, podendo ser aplicada em sistemas agroflorestais, silvicultura e agricultura, promovendo melhorias no crescimento de espécies arbóreas.

Em um estudo conduzido entre agosto e dezembro de 2013, no viveiro do Departamento de Silvicultura da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), foram avaliadas diferentes proporções de biossólido como componente de substratos para a produção de mudas em sacos plásticos de três espécies florestais da Mata Atlântica. Além de aspectos morfológicos, analisaram-se o peso, a facilidade de transporte das mudas e seu desenvolvimento em campo (Cabreira, 2017). A Tabela 5 apresenta os resultados desse experimento, evidenciando a influência positiva do biossólido no desenvolvimento das mudas, destacando-se como uma solução sustentável para a produção florestal.

De maneira geral, observa-se que, no momento da expedição para o campo, as mudas cultivadas em substrato com 80% de biossólido apresentaram crescimento superior em comparação aos demais substratos. Por outro lado, as mudas produzidas com esterco mostraram valores médios de crescimento significativamente inferiores. Esse comportamento pode ser explicado pelos teores mais elevados de matéria orgânica e nutrientes (exceto potássio) presentes no substrato com alta proporção de biossólido.

Tabela 5. Valores médios de variáveis de crescimento de mudas das três espécies florestais produzidas em diferentes substratos, na época de expedição para o campo

Espécie	Parâmetro	Tratamento			
		40:50:10*	20:70:10**	40:50:10**	80:10:10**
<i>Peltophorobium dubim</i> (Farinha seca)	Diâmetro (mm)	4,6 c	4,8 c	6,3 b	7,7 a
	Massa seca raiz (g)	3,64 b	3,42 b	4,03 b	5,18 a
	Massa seca aéreo (g)	6,31 c	6,92 b	11,27 a	18,85 a
	Área foliar (cm ²)	206,6 c	287,3 bc	434,8 b	917,6 a
	IQD	1,37b	1,31b	1,63b	2,37a
<i>Lafoensia pacari</i> (Dedaleiro)	Diâmetro (mm)	3,6 b	4,8 a	4,9 a	5,4 a
	Massa seca Raiz (g)	2,88 b	3,17 a	3,21 a	3,21 a
	Massa seca Aéreo (g)	4,52 b	8,05 a	8,00 a	9,04 a
	Área foliar (cm ²)	178,7 b	457,3 a	473,9 a	577,3 a
	IQD	0,60b	0,77ab	0,76ab	0,84a
<i>Ceiba speciosa</i> (Paineira)	Diâmetro (mm)	6,7 b	6,2 b	7,4 ab	8,4 a
	Massa seca raiz (g)	3,72 b	3,20 b	3,64 b	4,76 a
	Massa seca aéreo (g)	5,54 b	5,04 b	7,51 a	8,84 a
	Área foliar (cm ²)	177,7 c	147,5 c	366,5 b	483,5 a
	IQD	1,47a	1,35a	1,43a	1,84a

médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P \geq 0,95$).
 *Proporções volumétricas, em sequência, de esterco bovino, solo argiloso e areia;
 **Proporções volumétricas, em sequência de biossólido; solo argiloso e areia.

Fonte. Cabreira, 2017.

Segundo Faustino *et al.* (2005), o aumento da matéria orgânica no substrato está diretamente relacionado ao incremento em altura das mudas. Estudos corroboram que substratos ricos em matéria orgânica promovem melhor desenvolvimento do sistema radicular e um balanço nutricional mais equilibrado (Caldeira *et al.*, 2007), o que está de acordo com os resultados apresentados neste estudo.

A utilização de resíduos de esgoto como componente de substratos tem sido cada vez mais explorada na literatura científica. A quantidade de publicações sobre o tema apresentou um crescimento significativo a partir de 2010, com algumas exceções, como os anos de 2011, onde não foram encontrados trabalhos, e de 2016, com apenas um artigo publicado. O ano de 2013 destacou-se como o período de maior produção científica, com nove artigos publicados, representando 13,8% do total analisado (Silva; Pereira, 2023) (Figura 17).

Esses dados reforçam a relevância do uso de resíduos de esgoto na produção agrícola e florestal, destacando a necessidade de mais estudos para

aprimorar as técnicas e garantir a segurança e eficiência desse recurso sustentável.

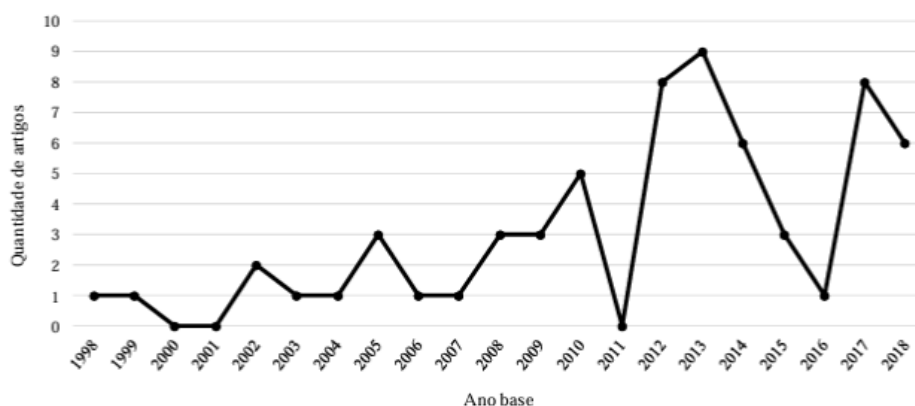


Figura 17. Quantidade de trabalhos publicados de 1998 a 2018 sobre o uso de resíduo sólido do tratamento de esgoto na produção de mudas de espécies arbóreas. Fonte: Silva e Pereira, 2023.

Um estudo realizado na Universidade Federal de Uberlândia, em Minas Gerais, avaliou o impacto de diferentes proporções de biossólido na composição do substrato utilizado para o cultivo de mudas de *Eucalyptus citriodora*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos (0%, 5%, 10%, 15% e 20% de biossólido) e quatro repetições. O biossólido utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Aclimação, administrada pelo Departamento Municipal de Águas e Esgoto de Uberlândia.

As sementes foram cultivadas em tubetes de 290 cm³ e submetidas à irrigação diária. Após 120 dias, foram avaliados os parâmetros de altura e diâmetro de colo das mudas. A análise estatística foi realizada utilizando o *software* SISVAR, e os resultados indicaram significância ao nível de 0,05 pelo teste de F para ambos os parâmetros.

➤ Resultados do Estudo

1. **Altura das Plantas:** O uso de biossólido no substrato promoveu um crescimento linear na altura das mudas, conforme a equação $y=1,3562x+22,191$

($R^2=0,9296$). Esse aumento é atribuído ao fornecimento de nitrogênio (4,0%) e fósforo (2,1%) pelo biofertilizante, nutrientes essenciais no estágio inicial do desenvolvimento do eucalipto.

2. **Diâmetro de Colo:** Foi observado um aumento significativo no diâmetro de colo com o incremento da concentração de biofertilizante no substrato, conforme a equação $y=0,0829x+1,713$ ($R^2=0,9447$). A cada 1% de aumento na proporção de biofertilizante, houve um acréscimo de 0,083 cm no diâmetro das mudas.

Esses resultados evidenciam o potencial do biofertilizante como componente do substrato para a formação de mudas de *Eucalyptus citriodora*, promovendo um desenvolvimento significativo.

➤ Estudos Correlatos no Brasil

No contexto da produção de eucaliptos no Brasil, o uso de biofertilizante também tem mostrado resultados promissores. Gonçalves *et al.* (2000) reportaram um aumento de 37% na produtividade de eucaliptos com a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biofertilizante misturado com fósforo, comparado à adubação química convencional, aos 22 meses de idade.

➤ Representações Gráficas

As Figuras 18, 19 e 20 (citadas anteriormente) ilustram o efeito das doses crescentes de lodo de esgoto, nas formas úmida e seca, no crescimento em altura das mudas. Esses gráficos reforçam a efetividade do biofertilizante como alternativa sustentável para melhorar o desenvolvimento de espécies florestais.

O estudo destaca o uso do biofertilizante como uma prática sustentável e eficiente, promovendo a economia de insumos químicos e o reaproveitamento de resíduos. Isso o torna uma ferramenta valiosa para a silvicultura e a agricultura, em consonância com os princípios de sustentabilidade.



Figura 18. Parcela de *Eucalyptus grandis* do tratamento testemunha, aos três meses de idade. Fonte: Caldeira *et al.*, 2012.



Figura 19. Parcela de *Eucalyptus grandis* do tratamento com 10 toneladas de lodo aos esgotos por hectare, aos três meses de idade. Fonte: Caldeira *et al.*, 2012.

A Figura 20 destaca o crescimento em altura de árvores de *Eucalyptus grandis* submetidas a diferentes doses de lodo seco (10, 20 e 30 t ha⁻¹) em comparação a uma testemunha (sem aplicação de lodo). O gráfico evidencia que o uso de lodo seco promoveu um crescimento superior em relação ao grupo controle, demonstrando uma relação direta entre a dose aplicada e o desenvolvimento das árvores (Caldeira *et al.*, 2012).

➤ **Observações do Gráfico:**

1. **Testemunha (0 t ha^{-1}):** As árvores que não receberam lodo seco apresentaram o menor crescimento ao longo do tempo, refletindo a ausência de suplementação nutricional fornecida pelo lodo.
2. **Doses Crescentes de Lodo Seco:**
 - **10 t ha^{-1} :** Proporcionou um crescimento intermediário, superior à testemunha, mas inferior às doses mais altas.
 - **20 t ha^{-1} :** Mostrou um crescimento significativo, indicando uma melhoria expressiva nas condições para o desenvolvimento das árvores.
 - **30 t ha^{-1} :** Resultou no maior crescimento observado, sugerindo que o aumento na disponibilidade de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, está diretamente relacionado à dose aplicada.

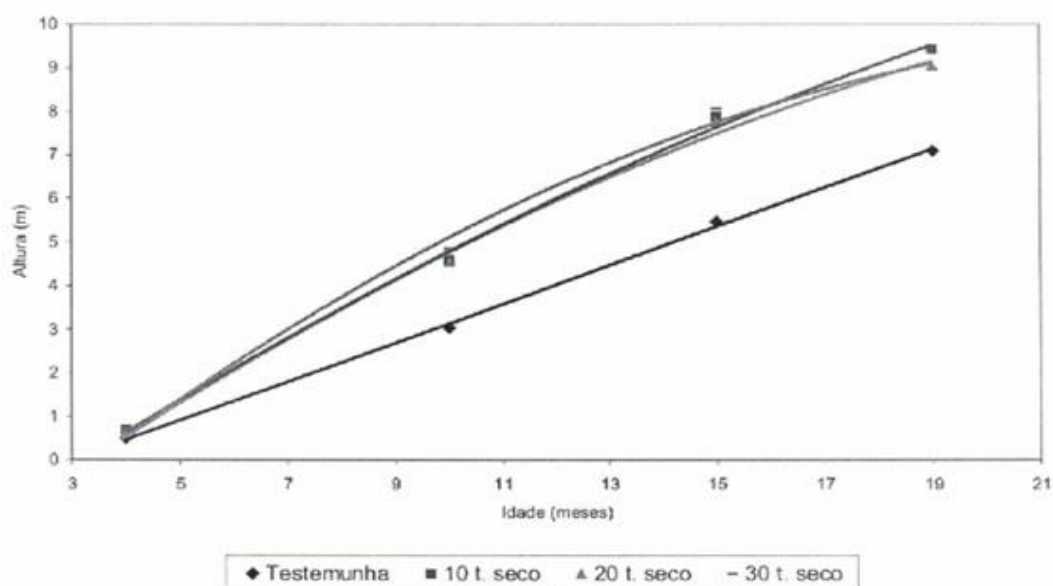


Figura 20. Crescimento em altura das árvores de *Eucalyptus grandis* tratadas com doses crescentes de lodo seco. Fonte: Caldeira *et al.*, 2012.

➤ **Análise Geral:**

Os resultados refletem o papel positivo do lodo seco como uma fonte rica em nutrientes que promove o crescimento das árvores. O comportamento observado reforça que o uso de doses crescentes de lodo seco melhora significativamente o desenvolvimento em altura de *Eucalyptus grandis*, sendo

uma alternativa viável para substituir ou complementar práticas de adubação tradicional.

Esses achados corroboram a eficácia do lodo seco como insumo sustentável, alinhado com a busca por práticas que promovam produtividade e reaproveitamento de resíduos.

O estado do Espírito Santo apresenta grande potencial para a reutilização de biossólidos, especialmente nas áreas voltadas à produção florestal, recuperação de solos degradados e desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. O mapeamento realizado indicou regiões estratégicas onde o lodo de esgoto/biossólido pode ser aplicado de forma segura e eficiente, destacando os municípios de Aracruz e Alegre como áreas promissoras para essa prática.

➤ **Análise das Potencialidades:**

1. **Aracruz:**

- Município com grande área de cultivo florestal, notadamente de eucalipto, onde a aplicação de biossólidos pode aumentar a produtividade e promover melhorias na qualidade do solo.
- A integração de biossólidos ao manejo agrícola local pode contribuir para a sustentabilidade das plantações e reduzir a dependência de insumos químicos.

2. **Alegre:**

- Reconhecido pelo forte potencial agrícola, incluindo a recuperação de solos degradados e a implantação de Sistemas Agroflorestais (SAFs).
- A aplicação de biossólidos nesse município poderia melhorar a fertilidade do solo, aumentar a matéria orgânica e promover o desenvolvimento sustentável de sistemas de produção.

➤ **Benefícios da Reutilização de Biossólidos:**

- **Recuperação Ambiental:** Melhoria da estrutura e da fertilidade do solo em áreas degradadas.

- **Agricultura Sustentável:** Substituição parcial ou total de fertilizantes químicos por um insumo orgânico rico em nutrientes.
- **Redução de Resíduos:** Destinação eficiente do lodo de esgoto, evitando seu descarte inadequado e promovendo a economia circular.

A Figura 21, correspondente ao mapeamento das áreas potenciais, reforça o compromisso do Espírito Santo com práticas inovadoras e sustentáveis, contribuindo para a gestão eficiente de resíduos e o fortalecimento da agricultura e da silvicultura no estado.

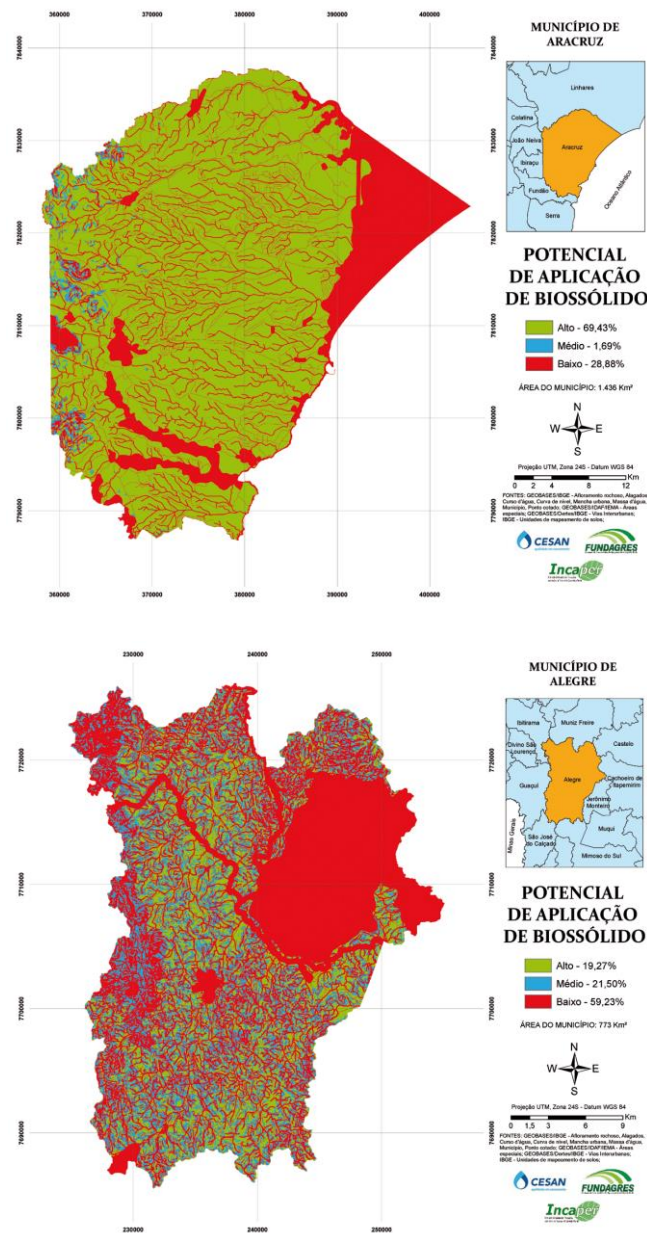


Figura 21. Potencial de aplicação de bioossólido em Municípios do ES. Fonte: Incaper, 2023.

Assim, a utilização de biossólidos em áreas agroflorestais desponta como uma das alternativas mais promissoras para a disposição final adequada dos resíduos provenientes das estações de tratamento de esgoto. Essa prática permite o aproveitamento do potencial dos biossólidos como fertilizante e condicionador de solos, promovendo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Além disso, a aplicação de biossólidos contribui diretamente para o desenvolvimento de mudas de árvores, sendo particularmente benéfica em sistemas agroflorestais, onde a integração de espécies florestais e agrícolas é essencial para a recuperação ambiental e o aumento da produtividade. Essa estratégia não só reduz a necessidade de insumos químicos, mas também promove a sustentabilidade e a economia circular, transformando resíduos em recursos valiosos para o manejo do solo e a produção florestal.

7. Considerações

A utilização de resíduos provenientes de estações de tratamento de esgoto em sistemas agroecológicos apresenta-se como uma solução inovadora e sustentável para a recuperação e manutenção da fertilidade do solo. Essa prática, ao reaproveitar um recurso amplamente disponível, contribui para a economia circular, reduzindo os impactos ambientais associados ao descarte inadequado e promovendo a reutilização eficiente de nutrientes.

Entre suas principais aplicações, destacam-se os sistemas agroflorestais, a produção de mudas em viveiros e as práticas silviculturais, onde os biossólidos podem atuar como condicionadores do solo, enriquecendo-o com nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como nitrogênio e fósforo. Além disso, sua aplicação melhora as propriedades do solo, como o teor de matéria orgânica, a capacidade de retenção de água e a redução da necessidade de fertilizantes químicos, o que minimiza os custos de produção e os impactos ambientais.

Apesar dos benefícios evidentes, é fundamental considerar as questões legais e os cuidados necessários para a utilização segura de biossólidos. A legislação vigente no Brasil, como a Resolução CONAMA nº 375/2006,

estabelece critérios rigorosos para o uso de lodo de esgoto na agricultura, incluindo limites para metais pesados, patógenos e contaminantes emergentes, como resíduos farmacêuticos e microplásticos. O cumprimento dessas normas é essencial para evitar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, já que o manejo inadequado pode levar à contaminação do solo, das águas subterrâneas e à dispersão de toxinas, comprometendo os benefícios esperados.

Nesse contexto, é imprescindível o investimento em pesquisas científicas que aprofundem o conhecimento sobre o potencial dos biossólidos e aprimorem os processos de tratamento e aplicação. Além disso, a capacitação de agricultores em boas práticas de manejo e a promoção de parcerias estratégicas entre produtores rurais, instituições de pesquisa e órgãos reguladores são ações fundamentais para garantir a segurança e a eficácia dessa tecnologia.

Quando devidamente tratado e manejado, o resíduo de esgoto apresenta vantagens competitivas, como a redução da dependência de insumos externos, a melhoria da qualidade do solo e o aumento da produtividade agrícola, alinhando-se aos princípios da agroecologia e ao desenvolvimento sustentável.

Portanto, o uso de resíduos de esgoto em sistemas agroecológicos representa uma oportunidade única para impulsionar a sustentabilidade no setor agrícola. Essa prática não apenas recupera solos degradados, mas também contribui para a transição a um modelo agrícola mais resiliente e ecologicamente equilibrado. A integração entre ciência, políticas públicas e práticas agrícolas responsáveis é essencial para consolidar essa abordagem como uma alternativa viável, capaz de atender aos desafios do século XXI e promover um futuro mais sustentável.

8. Referências

ABNT NBR 10004 (2004). **Resíduos Sólidos – Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 79. 2014.

ALVES, G. S.; TARTAGLIA, F. L.; FERREIRA, M. M.; BEUTLER, A. N.; SANTOS, E. C. Análise de crescimento da mamoneira BRS energia em função da densidade populacional. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2015.

ANDRADE, C. A.; SILVA, J. F.; MARTINS, M. S. Uso de biossólidos como fertilizante orgânico em solos agrícolas: benefícios e desafios. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-12, 2020.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Sistemas de Tratamento de Esgoto**: Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: DESA/UFGM. 2006.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

ARAÚJO, A. C.; ALOUFA, M. A. I., SILVA, A. J. N., COSTA, A. A., SANTOS, I. S. Análise não destrutiva de crescimento do gergelim consorciado com feijão caupi em sistema orgânico de cultivo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, n. 9, p. 259-268, 2014.

BERNARDES, R. F. B. **Água residuária de suínos em um sistema agroflorestal**: atributos químicos e translocação de nutrientes no solo. 76 f. (Dissertação - Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Uberlândia – MG, 2017.

CABREIRA, G. V.; GONÇALVES, R. S.; BELLINASSO, H.; CABRAL, P. R.; FREITAS, T. C. S.; MOREIRA, V. F.; ARAÚJO, A. T. S.; SANTOS, A. F.; CARON, B. O. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CALDEIRA, M. V. W.; MARCOLIN, M.; MORAES, E.; SCHAADT, S. S. Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et DRUDE E *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 311-323, 2007.

CESAN. Companhia Espírito-Santense de Saneamento. **Apostila tratamento de esgoto**. 2013. Disponível em: https://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2020/08/apostila_tratamento_esgoto.pdf. Acesso em: 13 jun. 2024.

CHANG, C.; XU, G.; LIANG, S. Impact of biosolids on soil health and crop productivity: a meta-analysis. **Agricultural Sciences**, v. 56, p. 123-138, 2019.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**: princípios do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFGM. 2007.

CONAMA **aprova norma sobre uso de lodo de esgoto na agricultura**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/conama-aprova-norma-sobre-uso-de-lodo-de-esgoto-na-agricultura>. Acesso em: 15 jun. 2024.

CONAMA. **Resolução nº 375/2006**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasil.

COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. (Org.). **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato na produção de *Senna siamea*. Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 278-282, 2005.

FONSECA, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; SOARES, A. C. Uso sustentável de águas residuais na agricultura: vantagens e desafios. **Agricultura Sustentável**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 45-53, 2018.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V.; Ed. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p.309-350.

KELLER, J.; HARTLEY, K.; YOUNG, B. Biosolids application in agriculture: strategies for safe and sustainable use. **Environmental Management Journal**, v. 49, p. 327-342, 2012.

KÖRDEL, W. et al. **Environmental effects of biosolids application**. 2012.

LAL, R. Soil health and climate change: An imperative for transformative solutions. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 3, p. 47-56, 2020.

LIMA, L. B. et al. **Aplicação de bio sólidos na agricultura: riscos e benefícios**. 2014.

MAGALHÃES, A. G.; SOUSA MEDEIROS, S. de. **Análise não destrutiva de crescimento de arbóreas cultivadas com água residuária**.

MARTINS, L. F.; SILVA, P. R.; SANTOS, T. C. Potencial de bio sólidos no sequestro de carbono e manejo de solos tropicais. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p. 45-60, 2021.

MEDEIROS, S. S.; LIMA, V. L. A.; SILVA, J. D. Irrigação com água residuária: efeitos no solo e na produção agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 708-714, 2010.

MELO, E. L.; GONÇALVES, G. M.; FERREIRA, P. H. Saneamento Básico e Sustentabilidade: Biogás e Biofertilizantes Provenientes de ETEs. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, p. 234-245, 2018.

MELO, V. F.; MONTANARI, R. Reciclagem de resíduos orgânicos: impactos na qualidade do solo e sustentabilidade agrícola. **Agroecologia em Foco**, v. 3, n. 2, p. 56-68, 2020.

MESSIAS, A. S.; SILVA, H. A. E.; LIMA, V. N.; SOUZA, J. E. G. de. Avaliação da mobilidade de micronutrientes em solo tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 3, n. 3, p. 193-211, 2007. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v3i3.93>.

TCHOBANOGLIOUS, G.; STENSEL, H.; TSUCHIHASHI, R.; BURTON, F. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. 5. ed. New York: Metcalf & Eddy, Inc., 2014.

PAZ-FERREIRO, J. et al. The Use of Sewage Sludge as a Fertilizer: Risks and Benefits. **Applied Soil Ecology**, v. 129, p. 45-55, 2018.

PAZ-FERREIRO, J.; NIETO, A.; MÉNDEZ, A.; ASKELAND, M.; GASCÓ, G. Biochar from biosolids pyrolysis: A review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 5, p. 956, 2018.

RIBEIRO, A. R. et al. **Utilização de bio sólidos na agricultura: uma análise crítica**. 2006.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SANTOS, R. C. **Avaliação nutricional e de crescimento inicial em altura de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais na região de Itaparica**. 97f. (Tese – Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Recife, 2016.

SILVA, A. M. F.; OLIVEIRA, M. L. S.; CARVALHO, C. S. (2016). Avaliação da Contaminação de Solos por Metais Pesados em Áreas Agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 45-53.

SILVA, J. R.; PEREIRA, M. T. Crescimento em altura de *Mimosa caesalpinifolia* sob diferentes condições experimentais de irrigação e fertilização. **Revista Brasileira de Ecologia**, v. 40, n. 2, p. 123-135, 2023.

SILVA, M. T.; ALVES, A. L. Impactos do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 123-129, 2015.

SILVA, S. S. da et al. **Recuperação de área degradada no Semiárido Brasileiro utilizando água residuária num sistema agroflorestal**. 2019.

FERREIRA JÚNIOR, D. C.; SILVA, M. F.; LANDIM, T. N.; CAMARGO, R.; MALDONADO, A. C. D. **Uso do bio sólido na formação de mudas de eucalipto**. Disponível em: https://www.eventossolos.org.br/fertbio2014/anais/arquivos_anais/652.Image.Marked.pdf. Acesso em: 17 jun. 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2020.

YU, H.; ZOU, W.; CHEN, J.; CHEN, H.; YU, Z.; HUANG, J.; TANG, H.; WEI, X.; GAO, B. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. **Journal of Environmental Management**, n. 232, p. 8-21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117>.

CAPÍTULO 7

Reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal como prática agroecológica

Rafael Rodrigo Ferreira de Lima, Maurício Novaes Souza, Gilmara da Silva Rangel, Thaís de Souza Pastor

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c7>

Resumo

A presente pesquisa tem como objetivo explorar o potencial da *Agave sisalana* e seus produtos agroindustriais diretos e indiretos, com ênfase na agregação de valor por meio da reutilização de resíduos sólidos para a fabricação e caracterização de farinha destinada à alimentação humana. Esse enfoque visa promover uma abordagem inovadora e sustentável, alinhada aos princípios da agroecologia e ao manejo integrado de recursos naturais. A produção de farinha a partir do resíduo sólido do sisal oferece uma alternativa viável para a redução de desperdícios no processo produtivo, contribuindo para a economia circular e a sustentabilidade agroindustrial. Além disso, o reaproveitamento desses resíduos é capaz de mitigar impactos ambientais, especialmente em regiões semiáridas onde o sisal é amplamente cultivado, promovendo a recuperação de áreas degradadas por meio da valorização de subprodutos e da introdução de práticas agroecológicas. A metodologia adotada baseia-se em uma revisão narrativa da literatura científica disponível em bases de dados de acesso aberto, buscando consolidar conhecimentos sobre a composição nutricional, a viabilidade tecnológica e as aplicações potenciais da farinha obtida. Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para a diversificação dos usos da *Agave sisalana*, ampliando sua relevância econômica e ambiental. Além disso, o estudo pode servir como modelo para iniciativas que integrem agroecologia, inovação tecnológica e práticas regenerativas, promovendo a restauração de áreas degradadas e fortalecendo a resiliência socioeconômica de comunidades rurais.

Palavras-chave: *Agave sisalana*. Resíduos sólidos agroindustriais. Produção de farinha. Alimentação humana. Agroecologia. Economia circular. Práticas regenerativas. Valorização de subprodutos.

1. Introdução

O Brasil ocupa uma posição de destaque na produção agrícola mundial, sendo considerado um país-chave para o abastecimento alimentar de diversas nações. No entanto, à medida que a produção agrícola brasileira ganha expressividade no cenário econômico, cresce também a problemática da geração proporcional de resíduos derivados dessa produção (Azevedo *et al.*, 2022).

Segundo Sundarraj e Ranganathan (2018), resíduos são materiais que não foram totalmente aproveitados no processo produtivo. Esses autores destacam que o processamento de produtos agrícolas gera resíduos significativos devido a deficiências nos processos produtivos ou ao baixo padrão de qualidade, o que provoca impactos econômicos, sociais e ambientais relevantes. Nesse contexto, a agricultura, além de desempenhar o papel de abastecimento alimentar, também contribui para a manutenção da viabilidade socioeconômica das atividades rurais e dos trabalhadores do campo (Bolfé *et al.*, 2021; Durga; Gangil; Bhargav, 2022).

A reutilização de resíduos provenientes da agricultura apresenta ampla aplicação em diferentes setores industriais, como o alimentício, têxtil, automobilístico e da construção civil. Essa prática tem sido amplamente documentada na literatura científica, com resultados bem-sucedidos (Martin *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2009; Martin *et al.*, 2012; Lancaster; Lung; Suján, 2013; Nascimento Filho; Franco, 2015; Aguilar-Rivera, 2022; Siqueira *et al.*, 2022).

Adicionalmente, a preocupação com a escassez de recursos naturais, a busca por práticas de produção mais sustentáveis e os impactos negativos associados aos resíduos agrícolas têm intensificado a procura por técnicas de reutilização desses materiais (Rodrigues *et al.*, 2022).

Neste trabalho, embora outros resíduos possam ser analisados de forma complementar ou consorciada com o resíduo do sisal, o foco é o reaproveitamento do resíduo agroindustrial da ***Agave sisalana*** para a produção de farinha destinada à alimentação humana. De acordo com Vuorinne, Heiskanen e Pellikka (2021), a *Agave sisalana* é uma cultura nativa da América Central e, conforme Diniz *et al.* (2020), adaptada para sobreviver em regiões áridas e de intensa exposição solar. Esses autores também ressaltam que a fibra

extraída de suas folhas é utilizada para a confecção de cordas, cestos, tapetes e, conforme Abebayehu e Engida (2021), para a produção de matrizes poliméricas.

Santos *et al.* (2015) observam que, apesar do crescimento mundial na produção e no beneficiamento da *Agave sisalana*, especialmente no Brasil, a problemática do descarte inadequado dos resíduos agroindustriais persiste, representando um desafio significativo para a sociedade. Esses autores destacam ainda que a reutilização dos resíduos da *Agave sisalana*, o sisal, é um campo com grande potencial, mas ainda pouco explorado, sendo essencial para a sustentabilidade da cadeia produtiva e para os atores envolvidos em seus diferentes elos.

No estado da Bahia, a atividade de plantio e beneficiamento do sisal possui alta relevância econômica, gerando renda para quase um milhão de produtores distribuídos em 50 municípios (Queiroga *et al.*, 2021). Além disso, conforme os mesmos autores, a produção de sisal contribui para o empoderamento e a independência dos produtores sertanejos.

O Território de Identidade do Sisal, delimitado pelo governo do estado da Bahia como parte de sua divisão político-administrativa, é um exemplo de como a *Agave sisalana* agregou importância cultural, social e econômica para a população local (Oliveira *et al.*, 2017). Nesse contexto, o reaproveitamento dos resíduos do sisal na indústria alimentícia, com a produção de farinha, visa agregar valor aos produtos dessa xerófila, complementando sua cadeia produtiva e promovendo a sustentabilidade no Território de Identidade do Sisal (Carneiro *et al.*, 2021).

O objetivo deste capítulo é destacar a relevância do reaproveitamento dos resíduos agroindustriais da *Agave sisalana*, com foco na fabricação de farinha destinada à alimentação humana. O texto busca contextualizar a importância da produção agrícola brasileira no cenário global e a problemática gerada pelos resíduos provenientes desse setor. Além disso, visa discutir as potencialidades do uso sustentável da *Agave sisalana* como alternativa para agregar valor à cadeia produtiva do sisal, promovendo sustentabilidade econômica, social e ambiental, com destaque para a realidade do Território de Identidade do Sisal, na Bahia.

Por meio dessa abordagem, o capítulo pretende evidenciar como o reaproveitamento de resíduos pode contribuir para a mitigação de impactos ambientais, o fortalecimento das economias locais e o empoderamento dos produtores rurais, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

2. Produção agropecuária brasileira

Na segunda metade do século XX, o espaço rural brasileiro apresentava uma configuração socioeconômica e produtiva incapaz de proporcionar o suporte necessário à onda de industrialização pela qual o Brasil passava, bem como atender à demanda gerada por esse processo (Embrapa, 2018).

O investimento de recursos, a criação de políticas públicas e a ressignificação da produção agropecuária para o desenvolvimento nacional a partir desse período (Montoya; Finamore, 2001; Furtuoso; Guilhoto, 2003; Embrapa, 2018) resultaram em significativas mudanças no cenário agrícola. Essas mudanças trouxeram importantes índices de crescimento e desenvolvimento do setor e das suas cadeias produtivas (Abbad, 2014; Embrapa, 2018; Ipea, 2019).

Segundo o Ipea (2019), o incremento de novas tecnologias e a adoção de novos conhecimentos contribuíram significativamente para o avanço da produção agropecuária, setor fundamental para a competitividade brasileira no mercado internacional e para o abastecimento interno. Nesse contexto, destaca-se a introdução e o fortalecimento de áreas irrigadas, promovidas por objetivos claros desde a década de 1950, com um marco relevante na aprovação da Lei 12.787, que regulamenta o desenvolvimento da irrigação em todo o território nacional (Rodrigues, 2017).

Como efeito desse processo, ocorreram mudanças estruturais no uso da terra e na gestão dos recursos hídricos em regiões que enfrentaram ou enfrentam esgotamento vocacional de seus meios produtivos. Exemplos notáveis incluem a ressignificação econômica e ambiental da região dos Vales do Rio São Francisco (Rodrigues, 2017).

Essas transformações no setor agropecuário brasileiro têm impacto direto na produção de bens, com reflexos no Produto Interno Bruto (PIB) e na importância socioeconômica representada pelo setor (Montoya; Finamore, 2001; Furtuoso; Guilhoto, 2003; Luz; Fochezatto, 2023). De acordo com o Cepea, em 2021, a participação da agropecuária no PIB nacional foi de 27,4%, representando um aumento de 8,36% no mesmo ano, o maior desde 2004 (Cepea/Esalq-USP, 2022).

Entretanto, crescer economicamente não é suficiente. É fundamental que a atividade agropecuária seja sustentável tanto no tempo quanto no espaço em que opera. O consumo de água para manutenção e expansão da produção (Montoya; Finamore, 2020), os impactos de processos de desindustrialização em determinados setores (Medina, 2021), e as exigências jurídicas, econômicas, sociais e ambientais de reduzir os impactos negativos da atividade agropecuária são desafios centrais para garantir competitividade e longevidade ao setor (Agripino; Maracajá; Machado, 2021; Merida; Canevari; Jesus, 2021).



Figura 1. Transferência de tecnologia mexicana possibilita aumento da produção de sisal. Fonte: <http://cpu002572.ba.gov.br/noticias/2012/07/17/>, 2021.

Para alcançar essa sustentabilidade, é necessário que as inovações ocorram não apenas nos métodos de produção, mas também nas relações entre todos os envolvidos, incluindo o consumidor final. A incorporação de inovações

e tecnologias já existentes, bem como o desenvolvimento de novas, é crucial (Camargo; Soares, 2021). Nesse sentido, o desenvolvimento de novos produtos e a melhoria dos processos produtivos tornam-se fatores-chave para a implementação e validação de inovações tecnológicas que impulsionem as diversas cadeias produtivas do setor agropecuário (Figura 1).

3. *Agave Sisalana*

Originária do México, a *Agave sisalana* Perrine (Queiroga *et al.*, 2021) é conhecida pelos índios como Ranbams e pelos africanos como Garingboom. Representando 2% da fibra natural produzida em todo o planeta, sua principal utilização abrange a fabricação de bolsas, tapetes e cordas (Shahzad *et al.*, 2022; Rakesh *et al.*, 2022). Contudo, a aplicação da *Agave sisalana* pode ser ainda mais ampla ao se considerar sua riqueza fitoquímica, cujas propriedades incluem, entre outras, potencialidades anti-inflamatórias, analgésicas, antivirais, abortivas, antibacterianas e antioxidantes (Shahzad *et al.*, 2022; Rakesh *et al.*, 2022) (Figuras 2 e 3).



Figura 2. Processamento do sisal. Fonte: <http://cpu002572.ba.gov.br/noticias/>.

Nessa perspectiva de ampliação de uso, o gênero *Agave* também abrange a produção de bebidas alcoólicas e bioenergia (Marone *et al.*, 2022).

Socialmente, a *Agave* desempenha um papel importante, sendo utilizada, por exemplo, na confecção de cerdas para escovas de dentes em comunidades vulneráveis (Rakesh *et al.*, 2022).

É relevante observar que as espécies *Agave sisalana* e *Agave tequilana* pertencem ao mesmo subgênero (Queiroga *et al.*, 2021), o que evidencia um potencial inexplorado, ou ainda pouco explorado, da *Agave sisalana* para a produção de bebidas alcoólicas.



Figura 3. Corda de sisal. Fonte: <https://www.sosten.com.br/agricultura/cordas-e-sisal/>, 2023.

3.1. Folha

Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017c), o Brasil apresentou uma área colhida de folhas de *Agave Sisalana* de 6.322 ha, distribuídos em 1.487 estabelecimentos entre os estados da Bahia (1.418), Paraíba (50), Pernambuco (15), Ceará (2), Rio de Janeiro (1) e São Paulo (1), com uma produtividade de 9.577 toneladas.

A distribuição lavoura de *Agave sisalana* no Brasil compreende 34.232 (x1000) pés na Bahia, 1.341 (x1000) pés na Paraíba e 13 (x1000) pés em Pernambuco (IBGE, Censo Agropecuário 2017c).

A quantidade produzida da folha da *Agave sisalana*, em toneladas, nos principais produtores nacionais, é de 9,431 na Bahia, 128, na Paraíba, e 15 em Pernambuco (IBGE, Censo Agropecuário 2017c).

O valor da produção da folha da *Agave sisalana* na Bahia corresponde a 15.688,638 (x1000), na Paraíba corresponde a 103,095 (x1000) e Pernambuco corresponde a 19,699 (x1000) (IBGE, Censo Agropecuário 2017c).

Em 2023, a produção de sisal no Brasil foi de 95,6 mil toneladas, representando uma redução de 2,1% em relação ao ano anterior. Essa diminuição foi influenciada por uma queda de 4,9% na produtividade dos campos de sisal, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A área colhida com sisal em 2023 foi de 103,6 mil hectares, indicando um aumento de 3,0% em comparação com o ciclo anterior.

A Bahia lidera a produção nacional, sendo responsável por cerca de 94,6% da produção em 2023. Dentro do estado, as mesorregiões Nordeste Baiano e Centro Norte Baiano concentraram aproximadamente 94,3% da produção nacional no mesmo ano.

De acordo com a Conab, no primeiro quadrimestre de 2024, o Brasil exportou sisal para 61 países, com destaque para a China e os Estados Unidos, que representaram 38,5% e 31,4% das exportações, respectivamente. No entanto, houve uma redução de 17,3% na receita com a exportação de sisal em comparação com o mesmo período do ano anterior.

Por tais questões, iniciativas estão sendo implementadas para diversificar o uso do sisal, como o projeto "Replanta Agave", que visa utilizar a biomassa residual da planta na produção de etanol, promovendo a sustentabilidade e agregando valor à cadeia produtiva (Conab, 2024).

3.2. Fibra

Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017a), o Brasil apresentou uma área colhida de fibra de *Agave Sisalana* de 43.063 hectares, distribuídos em 5.339 estabelecimentos entre os estados da Bahia (5.216), Paraíba (99), Pernambuco (11), Ceará (11), Rio Grande do Norte (1) e Paraná (1), com uma quantidade produzida de 37.074 toneladas.

A distribuição lavoura de *Agave sisalana* no Brasil compreende 141.258 (x1000) pés na Bahia, 2.989 (x1000) pés na Paraíba e 117 (x1000) pés no Ceará e 4 (x1000) em Pernambuco (IBGE, Censo Agropecuário 2017a).

A quantidade produzida da fibra da *Agave sisalana*, em toneladas, nos principais produtores nacionais, é de 36.275 na Bahia, 760, na Paraíba, 30 no Ceará e 5 em Pernambuco (IBGE, 2017a).

O valor da produção da fibra da *Agave sisalana* na Bahia corresponde a 105.532,373 (x1000), na Paraíba corresponde a 1.084,648 (x1000), no Ceará corresponde a 131,990 (x1000) e Pernambuco corresponde a 19,699 (x1000) (IBGE, 2017b).

3.3. Bahia sisalana

Originária do México, a *Agave sisalana* Perrine, conhecida pelos índios como *Ranbams* e pelos africanos como *Garingboom*, foi introduzida no município de Santaluz, na Bahia, no início do século XX (Brandão; Santos, 2022). Inicialmente, a planta era utilizada como cerca viva, com bulbilhos originados da América do Norte, devido à incompatibilidade climática com o recôncavo baiano, onde foi inicialmente plantada (Figura 4).



Figura 4. Rebentões preparados para plantio. Foto: Odilon Reny R. F. da Silva.

Fonte: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/sisal/>.

Somente na segunda década do século XX, a *Agave sisalana* foi levada para o nordeste baiano, onde se adaptou melhor e deixou de ser usada como cerca viva, passando a ser explorada comercialmente, conforme os objetivos de Horácio Urpia, responsável por introduzir a cultura na Bahia (Silva; Santos, 2017). No entanto, foi a partir de 1935 que o cultivo de sisal começou a ser incentivado pelo estado da Bahia, sendo considerada uma *commodity* (Silva; Santos, 2017).

O sisal encontrou condições ideais para se desenvolver no território baiano, uma vez que, devido ao clima quente e à baixa precipitação pluviométrica, outras culturas, como feijão, milho e soja, não se estabeleceram com sucesso. Assim, a adaptação biológica do sisal, a ausência de concorrência agrícola e o incentivo governamental transformaram o cultivo do sisal em um grande negócio na Bahia (Oliveira *et al.*, 2017).

O sisal se tornou uma *commodity* ao ser apoiado por incentivos estatais, terras adequadas e relativamente baratas, mão de obra abundante, empresários capitalizados e infraestrutura para exportação. O processo produtivo do sisal no estado da Bahia começou com a concentração de terras nas mãos de poucos proprietários, configurando a forma como o cultivo e a produção foram organizados. A grande quantidade de terra disponível naquela época foi utilizada para expandir os sisais, e a introdução do cultivo comercial gerou empregos, exigindo a capacitação de trabalhadores para operar as máquinas, cuidar dos campos e realizar o beneficiamento, que até hoje ocorre, em sua totalidade, na zona rural. Esse processo de aprendizado foi rápido e passou a demandar qualificação mínima (Silva; Santos, 2017).

A evolução do cultivo de sisal no território baiano reflete o fato de que essa cultura foi explorada como propriedade de lucro para poucos indivíduos (Silva; Santos, 2017). Essa realidade persiste até os dias atuais, exigindo maior atenção dos agentes dessa cadeia produtiva (Queiroga *et al.*, 2021). No estado da Bahia, a *Agave sisalana* representa a identidade de um território que se estruturou oficialmente no início do século XX, com o objetivo de promover o

desenvolvimento local e valorizar as potencialidades produtivas da região (Santos *et al.*, 2015).

O Território do Sisal se destaca nas políticas territoriais, especialmente por sua adesão às diretrizes do PNDSTR do MDA e pelos resultados positivos alcançados na implantação dessa proposta. A importância desse território é resultado da organização e do protagonismo dos atores sociais, bem como das condições sociais construídas historicamente, que foram precursoras do arranjo político-institucional desejadas pela política estatal (Santos *et al.*, 2015 *apud* Coelho Neto, 2009).

A nova institucionalidade do Território do Sisal é fruto das transformações mais amplas ocorridas na sociedade brasileira, como o processo de democratização ativado por partidos políticos e movimentos sociais, além das condições específicas que foram forjadas regionalmente, como a atuação das pastorais rurais e do Movimento de Organização Comunitária. Esse processo é resultado da mobilização e da atuação de diversos agentes sociais que vêm contribuindo para a constituição desse território. O Território de Identidade do Sisal é composto por vinte municípios: Araci, Biritinga, Barrocas, Cansação, Conceição do Coité, Candeal, Ichu, Itiúba, Lamarão, Monte Santo, Nordestina, Queimadas, Quijique, Retorolândia, Santaluz, São Domingos, Serrinha, Teofilândia, Tucano e Valente (Mendonça, 2009).

Para Santos e Silva (2010), a ideia da existência de um Território do Sisal é relativamente recente. Até o final dos anos da década de 1990, os municípios que hoje compõem o Território do Sisal eram geralmente classificados como pertencentes à Região Sisaleira da Bahia. Essa mudança de foco ocorreu com as novas diretrizes adotadas pelo governo federal, a partir da administração do Partido dos Trabalhadores.

A monocultura do sisal e a concentração de grandes extensões de terra sob o domínio de poucos indivíduos são características marcantes do Território do Sisal, e, embora essas dinâmicas de produção contribuam para a perpetuação de desigualdades sociais, o território também desempenha um papel crucial nos movimentos sociais no estado da Bahia. A monocultura, associada à concentração fundiária, configura um cenário de alta vulnerabilidade social para as comunidades camponesas, onde a pequena propriedade é

frequentemente substituída por grandes latifúndios, gerando um desequilíbrio no acesso à terra e aos recursos naturais. Este modelo, característico de várias regiões do Brasil, tem sido objeto de críticas no âmbito da agroecologia e do desenvolvimento sustentável, sendo associado à degradação ambiental e à precarização do trabalho rural (Mendonça, 2009; Santos; Silva, 2015).

A concentração de terras no Território do Sisal, como já apontado por diversos estudiosos, reflete um processo histórico de apropriação e exploração das terras por grandes proprietários e empresas, enquanto os pequenos agricultores enfrentam dificuldades para acessar terras produtivas e conquistar melhores condições de vida. A grande extensão de terras sob o controle de poucos indivíduos, associada à monocultura, acaba por fortalecer um sistema econômico em que as relações de poder são desiguais, com pouca distribuição de riqueza e uma dependência de políticas públicas que buscam reverter essas desigualdades (Queiroga *et al.*, 2021)

Entretanto, essa realidade tem sido desafiada por uma série de movimentos sociais que atuam de forma estratégica para promover uma redistribuição mais justa da terra e fomentar práticas de produção sustentável. Movimentos como o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), o Movimento de Organização Comunitária (MOC), e outras organizações locais têm trabalhado para a democratização do acesso à terra e a implementação de alternativas produtivas mais justas, sustentáveis e inclusivas, com foco na agroecologia, na agricultura familiar e na diversificação da produção (Oliveira; Souza; Pereira, 2017; Queiroga *et al.*, 2021).

Além disso, para esses mesmos autores, a presença desses movimentos sociais no Território do Sisal tem impulsionado a mobilização de políticas públicas voltadas para o fortalecimento da agricultura familiar e a criação de formas mais equitativas de distribuição de recursos. Tais iniciativas são fundamentais não só para promover a justiça social e a segurança alimentar, mas também para fomentar uma agricultura que seja menos dependente da monocultura e mais resiliente aos desafios ambientais, como as mudanças climáticas e a escassez de água.

É importante ressaltar que a transformação do Território do Sisal em um espaço de luta social é um reflexo da interseção de vários fatores, incluindo as

políticas estaduais e federais, o contexto histórico de luta pela terra e a resistência das populações locais. A relação entre os movimentos sociais e o processo produtivo do sisal é complexa e multifacetada, envolvendo uma crítica ao modelo de produção capitalista e a busca por alternativas que priorizem a justiça social, a sustentabilidade e a participação popular nas decisões que afetam diretamente suas vidas (Santos; Silva, 2015; Queiroga *et al.*, 2021).

4. Cadeia produtiva do sisal

A cadeia produtiva do sisal ocupa uma posição de destaque econômico no nordeste brasileiro, especialmente no semiárido, devido ao aporte financeiro que oferece aos trabalhadores rurais dessa região (Soares; Arruda; Amarante, 2022). Nesse contexto, é importante destacar que a cadeia produtiva do sisal é composta por funções essenciais, como cambiteiro⁷, puxador, cortador, bagaceiro e lavador, que são fundamentais para a fabricação da fibra (Soares; Arruda; Amarante, 2022).

No que tange à sustentabilidade dos processos e das cadeias produtivas, com a crescente preocupação com a preservação ambiental, a *Agave sisalana* desempenha um papel importante nesse cenário (Barboza *et al.*, 2021). Além disso, é necessário considerar o aspecto social dessa cadeia produtiva, especialmente ao se refletir sobre os acidentes de trabalho decorrentes da atividade e a baixa remuneração dos trabalhadores/produtores, o que resulta na desvalorização da atividade. Essa situação evidencia a necessidade de agregar valor desde as etapas iniciais do ciclo produtivo (Cavalcante, 2021).

Dessa forma, a planta *Agave sisalana* é de grande importância tanto para a produção quanto para o comércio, pois, para muitas famílias de agricultores, seja na agricultura familiar ou associada a grandes propriedades de terra, sua produção continua sendo a principal forma de subsistência e fonte de renda. Ao analisar a região de plantio e os fatores climáticos que facilitam seu manejo – como a baixa pluviosidade, a intensa exposição solar e os longos períodos de

⁷ Refere-se ao trabalhador responsável por cortar a planta de sisal (*Agave sisalana*) na fase inicial do processo de extração da fibra.

estiagem – fica claro o valor dessa cultura, visto que essas condições tornam inviável o cultivo de outras plantas (Oliveira *et al.*, 2017).

4.1. Agroindústria

A agroindústria do gênero *Agave* é extensa, ao se considerar as possibilidades de utilização. Segundo Villarroel (2015) é possível obter, dentre outros produtos:

- Licor (*Agave Tequilana*);
- Mescal (*Agave Cupreata*, *Agave Potatorum*, etc.);
- Licor de Cocuy (*Agave Cocui*);
- Pulque (*Agave americana*);
- Biocombustíveis;
- Papel;
- Fibras (*Agave Sisalana* e *Agave fougroydes*);
- Cerdas de escova de dentes.

4.2. Resíduo

Os desafios ambientais em andamento, como a degradação dos recursos naturais, a poluição e o descarte inadequado de resíduos, têm impulsionado diversas pesquisas e inovações com o objetivo de promover a sustentabilidade, especialmente em comunidades e setores produtivos (Gupta; Tiwari; Sharma, 2022).

Um dos aspectos fundamentais dessas pesquisas tem sido encontrar alternativas para mitigar os impactos negativos da agricultura, especialmente nas produções orgânicas e agroecológicas, que enfrentam dificuldades em relação à falta de insumos. Nesse sentido, o uso de resíduos industriais se apresenta como uma solução promissora (Figura 5). A reutilização de subprodutos, como os resíduos agroindustriais do sisal, pode substituir insumos convencionais, como adubos químicos e substratos de plantio, promovendo uma agricultura mais sustentável e economicamente vantajosa para os produtores (Rodrigues *et al.*, 2022).



Figura 5. Resíduos do sisal podem ser utilizados na alimentação animal. Fonte: <https://nordesterural.com.br/os-residuos-do-sisal/>, 2024.

Os subprodutos do sisal, oriundos do processo de beneficiamento da fibra, são uma importante fonte de recursos que podem ser aproveitados em outras cadeias produtivas, como a pecuária, a agricultura e até mesmo a indústria farmacêutica. (Queiroga *et al.*, 2021). A *Agave sisalana*, tradicionalmente vista como uma planta voltada para a produção de fibras, tem, na verdade, um grande potencial que vai além de sua utilização principal. No entanto, a maioria do material proveniente do beneficiamento da planta é desperdiçada, sendo utilizado apenas de 3% a 5% da planta para a produção de fibras. O restante, composto por resíduos sólidos e líquidos, que correspondem de 95% a 97%, muitas vezes era descartado sem o devido aproveitamento, até que estudos mais recentes começaram a destacar a relevância desses resíduos (Carneiro *et al.*, 2021). Os resíduos do desfibramento, por exemplo, de acordo com Alvarenga Júnior (2012), podem produzir pectato de sódio e cera, já o pendão floral é bastante utilizado na construção de cercas (Figura 6).

Embora a utilização de resíduos do sisal seja ainda subexplorada, algumas alternativas de reaproveitamento já são conhecidas, como a extração de pectina, que tem aplicação como estabilizador de alimentos e bebidas, o que representa uma inovação no uso desses subprodutos (Santos *et al.*, 2015). Além disso, o reaproveitamento desses resíduos tem ganhado destaque na agroindústria, não só para a criação de novos produtos, mas também no contexto da construção

civil, da nutrição animal e até mesmo em indústrias de polímeros e construção naval, ampliando as possibilidades de aplicação e contribuindo para a sustentabilidade do setor (Yogi *et al.*, 2021).



Figura 6. Produtos diversos do sisal. Fonte: Queiroga *et al.*, 2012.

No entanto, um dos maiores desafios para o reaproveitamento eficaz desses resíduos é o processo de separação do resíduo líquido durante o desfibramento do sisal. Enquanto o resíduo sólido pode ser facilmente reaproveitado, o resíduo líquido, que corresponde a aproximadamente 80% do material gerado, apresenta dificuldades significativas para sua recuperação, devido à complexidade envolvida na separação durante o processo de beneficiamento (Cavalcante, 2021).

A compostagem e a reciclagem de resíduos sólidos da *Agave sisalana* são alternativas viáveis que têm ganhado atenção. A compostagem, por exemplo, é uma maneira eficaz de transformar os resíduos sólidos do sisal em fertilizantes naturais, agregando valor à cadeia produtiva e reduzindo a necessidade de insumos químicos. Além disso, a reciclagem de certos componentes pode ser aplicada para a produção de novos materiais, desde embalagens até materiais de construção. Isso não só contribui para a preservação do meio ambiente, mas também promove uma economia circular, onde os resíduos gerados em um

processo produtivo são reaproveitados em outros, minimizando o desperdício e melhorando a sustentabilidade de toda a cadeia (Carneiro *et al.*, 2021).

Além das práticas de compostagem e reciclagem, é fundamental implementar tecnologias que permitam a recuperação do resíduo líquido do sisal, a fim de aumentar a eficiência e a sustentabilidade da cadeia produtiva. A pesquisa de novos métodos para tratar e reaproveitar os resíduos líquidos, seja na forma de biocombustíveis ou na criação de novos compostos químicos, é essencial para maximizar o potencial da *Agave sisalana* como uma cultura não só produtiva, mas também ambientalmente responsável (Carneiro *et al.*, 2021; Cavalcante, 2021).

Dessa forma, a sustentabilidade da cadeia produtiva do sisal pode ser alcançada não apenas pela adoção de técnicas de reaproveitamento de resíduos, mas também pela implementação de processos que garantam a redução dos impactos ambientais associados ao cultivo e à industrialização dessa planta. O reaproveitamento dos resíduos sólidos e líquidos, a compostagem e a reciclagem são passos essenciais para a construção de um sistema mais sustentável e eficiente, que beneficie tanto os produtores quanto o meio ambiente (Figura 7).



Figura 7. Artesanatos produzidos com sisal. Foto: Luz, 2016. Fonte: Queiroga *et al.*, 2021.

5. Considerações

A utilização do resíduo proveniente do beneficiamento da *Agave sisalana* surge como uma alternativa estratégica e viável para a valorização do cultivo dessa planta, com benefícios que transcendem a esfera econômica, alcançando esferas sociais e ambientais. Para os produtores, especialmente os vinculados à agricultura familiar, o reaproveitamento dos resíduos oferece uma oportunidade de diversificação da fonte de renda. Isso ocorre de duas formas: pela utilização direta dos subprodutos nas suas propriedades, como insumos agrícolas ou produtos compostos, ou pela comercialização desses resíduos, que podem gerar uma fonte adicional de receita. Essa alternativa torna-se particularmente relevante em contextos como o do semiárido nordestino, onde as possibilidades econômicas muitas vezes são limitadas, e a sustentabilidade dos sistemas produtivos locais é um desafio constante.

Adicionar valor comercial ao processo produtivo da *Agave sisalana* não se restringe à melhoria da economia local, mas reverbera em uma transformação social mais ampla. O sisal, como cultura tradicional, desempenha um papel central na vida de muitas comunidades, particularmente no Território do Sisal, na Bahia, onde a produção dessa planta está intimamente ligada à identidade e à sobrevivência de inúmeras famílias. Ao valorizar a planta, por meio do aproveitamento de seus resíduos, além de fomentar a economia, promove-se também uma visibilidade maior para essa cultura nordestina. Essa valorização contribui para fortalecer o vínculo da população local com suas práticas tradicionais, ao mesmo tempo em que oferece novas oportunidades de negócios e inovação, essenciais para a continuidade e o crescimento da agricultura familiar na região.

Ademais, o aproveitamento dos resíduos da *Agave sisalana* desempenha um papel crucial no enfrentamento de um dos maiores desafios da atualidade: a degradação ambiental. A recuperação ambiental e a busca por processos produtivos mais sustentáveis estão no centro do debate global sobre como conciliar desenvolvimento econômico e preservação do meio ambiente. O resíduo da *Agave sisalana*, que antes era descartado, apresenta uma enorme potencialidade para a adoção de práticas sustentáveis. A compostagem, a reciclagem e o reaproveitamento desses resíduos não apenas contribuem para a redução do desperdício, mas também ajudam a minimizar os impactos

ambientais da atividade agrícola. A utilização desses resíduos na fertilização de solos e na produção de novos produtos pode resultar em uma agricultura mais equilibrada e menos dependente de insumos externos, como fertilizantes sintéticos.

Esse processo de aproveitamento também favorece a recuperação ambiental das áreas de cultivo, pois a incorporação de resíduos orgânicos ao solo pode melhorar a sua qualidade, aumentar a sua capacidade de retenção de água e reduzir os impactos da erosão, comuns em regiões semiáridas. Assim, o uso de resíduos da *Agave sisalana* é uma forma de promover a regeneração ecológica de áreas que, muitas vezes, enfrentam escassez hídrica e outros desafios climáticos.

Em termos de sustentabilidade, o reaproveitamento dos resíduos da *Agave sisalana* é um exemplo claro de como é possível desenvolver um modelo produtivo que seja economicamente viável, socialmente inclusivo e ambientalmente responsável. Ao adotar práticas que maximizam o uso dos resíduos, cria-se uma economia circular, na qual os resíduos de um processo produtivo se tornam a matéria-prima para outro, fechando o ciclo e gerando valor para todos os envolvidos. Isso é especialmente importante para a agricultura familiar, que depende da implementação de modelos sustentáveis para sua sobrevivência e crescimento, especialmente em regiões de alta vulnerabilidade climática, como o semiárido brasileiro.

A promoção da sustentabilidade por intermédio do aproveitamento dos resíduos da *Agave sisalana* pode, assim, ser vista como um caminho para fortalecer a agricultura familiar, melhorar as condições econômicas da população rural e, ao mesmo tempo, contribuir para a recuperação ambiental de áreas degradadas. O potencial de agregar valor a uma cultura tão tradicional no Nordeste brasileiro, ao mesmo tempo em que se preserva o meio ambiente e se oferece novas alternativas de renda, configura-se como uma estratégia eficaz para enfrentar os desafios contemporâneos da agricultura e da sustentabilidade.

Portanto, a valorização da *Agave sisalana* e de seus resíduos, além de gerar benefícios econômicos diretos para os produtores, tem um papel fundamental na recuperação e manutenção da sustentabilidade ambiental na região. Esse modelo de reaproveitamento não só traz inovação para o setor agrícola, mas também contribui para a resiliência das comunidades rurais, para

a preservação dos recursos naturais e para a construção de um futuro mais sustentável e justo para todos.

6. Referências

ABBADE, E. B. O papel do agronegócio brasileiro no seu desenvolvimento econômico. **GEPROS**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 9, nº 3, jul-set/2014, p. 149-158. Disponível em: <DOI: 10.15675/gepros.v9i3.1053 >. Acessado 17 Junho 2022

ABEBAYEHU, S. G.; ENGIDA, A. M. Preparation of Biocomposite Material with Superhydrophobic Surface by Reinforcing Waste Polypropylene with Sisal (*Agave sisalana*) Fibers. **International Journal of Polymer Science**, v. 2021, 15 p., 2021. Disponível em:<<https://doi.org/10.1155/2021/6642112> >. Acesso em: 30 maio 2022.

AGRIPINO, N. E.; MARACAJÁ, K. F. B.; MACHADO, P. de A. Corporate Sustainability in agribusiness: Paths and implications for Brazilian practices. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e30210716567, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16567. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16567>. Acesso em: 17 jun. 2022.

AGUILAR-RIVERA, N. Bioindicadores para a Sustentabilidade da Agroindústria Açucareira. **Sugar Tech**, v. 24, p. 651–661, 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.1007/s12355-021-01105-z> >. Acesso em: 30 maio 2022.

ALVARENGA JÚNIOR, E. R. Dossiê Técnico (**Cultivo e aproveitamento do sisal**). Fundação Centro Tecnológico Minas Gerais, 2012.

AZEVEDO, A. R. G. de; AMIN, M.; HADZIMA-NYARKO, M.; AGWA, I. S.; ZEYAD, A. M.; TAYEH, B. A.; ADESINA, A. Possibilities for the application of agro-industrial wastes in cementitious materials: A brief review of the Brazilian perspective. **Cleaner Materials** 3 (2022). Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100040> >. Acesso em: 30 maio 2022.

BARBOZA, C. S.; NASCIMENTO, M. R. P. do; SANTOS, A. P.; OMIDO, A. R. , A. **Revisão de parâmetros para a produção de vedações horizontais mais sustentáveis a partir de fibras naturais**. Disponível em:<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2021/X-009.pdf> >. Acesso em: 14 jun. 2022.

BOLFE, E. L.; VELOSO SILVA, J. F.; SAUTIER, D.; VICTÓRIA, D. C.; MACARIO, C. N. Brazilian Foods and Territories Digital Platform: Conceptual Bases for Development. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 8, p. 81305-81328.

BRANDÃO, W.; SANTOS, R. de A. ÁRVORE DO CONHECIMENTO: Território Sisal. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000ghou0b0002wx5ok05vadr1fx7pyzy.html >. Acesso em: 09 jun. 2022.

CAMARGO, F. S.; SOARES, C. O. Perspectivas para a inovação no agronegócio brasileiro. **Revista Política Agrícola**. Ano XXX – n. 3 – Jul./Ago./Set. 2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/download/1740/1271>. Acesso em: 17 jun. 2022.

CARNEIRO, J. da S.; SILVA, M. C. de J.; SANTOS, E. N. dos.; LIMA, F. L. O.; COSTA, M. S. F. Biological activities of *Agave sisalana* with an emphasis on antimicrobial action: a literature review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.12734. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12734>. Acesso em: 30 maio 2022.

CARNEIRO, T. *et al.* Potential of sisal waste as a valuable resource: Applications and sustainable solutions. **Renewable Resources Journal**, v. 18, n. 3, p. 112-130, 2021.

CAVALCANTE, G. T. de O. **Diagnóstico dos principais indicadores socioambientais do sisal no recorte geográfico de Pocinhos/PB**. 2021. 121f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional - PPGDR) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021.

CAVALCANTE, R. Sustainable use of *Agave sisalana* agroindustrial waste in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 19, n. 1, p. 79-91, 2021.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. 2022. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 17 jun. 2022.

DINIZ, J. F. de B.; LIMA, E. S. de; MAGALHÃES, H. L. F.; LIMA, W. M. P. B. de; PORTO, T. R. N.; GOMEZ, R. S.; MOREIRA, G.; LIMA, A. G. B. de. Drying of sisal fibers in oven with forced air circulation: An experimental study. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.9342. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9342>. Acesso em: 30 maio 2022.

DURGA, M. L.; GANGIL, S.; BHARGAV, V. K. B. Conversion of agricultural waste to valuable carbonaceous material: Brief review. **Materials Today: Proceedings**, V. 56, Part 3, 2022, pp. 1290-1297. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.259>. Acesso em: 30 maio 2022.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FURTUOSO, M. C. O.; GUILHOTO, J. J. M. Estimativa e mensuração do produto interno bruto do agronegócio da economia brasileira, 1994 a 2000. **Revista de Economia e Sociologia Rural** [online]. 2003, v. 41, n. 4, p. 803-827. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032003000400005>. Acesso em: 17 jun. 2022.

GUPTA, R.; TIWARI, P.; SHARMA, A. Environmental challenges and the need for sustainable development. **Environmental Sustainability Review**, v. 15, n. 4, p. 239-252, 2022.

GUPTA, U. S.; TIWARI, S.; SHARMA, U. **Mechanical and Surface Characterization of Sisal Fiber (*Agave sisalana*) After Cold Glow Discharge Oxygen Plasma Treatment**. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1379915/v1> >. Acesso em: 09 jun. 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017a. Sisal ou agave - **Fibra** | **Brasil**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76385>. Acesso em: 09 jun. 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017b. **Produção de Sisal (fibra)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sisal-fibra/ba> >. Acesso em: 09 jun. 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2017c. Sisal ou agave - Folha | Brasil. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76387>. Acesso em: 09 jun. 2022.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. Disponível em: <<https://dea.ufc.br/wp-content/uploads/2019/11/diagnostico-e-desafios-da-agricultura-brasileira.pdf> >. Acesso em: 09 jun. 2022.

LANCASTER, L., LUNG, M. H., SUJAN, D. Utilization of Agro-Industrial Waste in Metal Matrix Composites: Towards Sustainability. **World Academy of Science, Engineering and Technology** 73 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.11937/37923> >. Acesso em: 30 maio 2022.

LUZ, Ao da; FOCHEZATTO, A. O transbordamento do PIB do Agronegócio do Brasil: uma análise da importância setorial via Matrizes de Insumo-Produto. **Revista de Economia e Sociologia Rural** [online]. 2023, v. 61, n. 1, e253226. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.253226>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MARONE, M. P.; CAMAPANARI, M. F. Z.; RAYA, F. T.; PEREIRA, G. A. G.; CARAZZOLLE, M. F. 2022. Fungal communities represent the majority of root-specific transcripts in the transcriptomes of Agave plants grown in semiarid regions. **PeerJ**. Disponível em: <<https://doi.org/10.7717/peerj.13252> >. Acesso em: 09 jun. 2022.

MARTIN, A. R.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, O. R. R. F. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. **Polímeros** [online]. 2009, v. 19, n. 1, p. 40-46. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000100011>>. Acesso em: 30 maio 2022.

MARTIN, J. G. P.; PORTO, E.; CORRÊA, C. B.; ALENCAR, S. M. Antimicrobial potential and chemical composition of agro-industrial wastes. **Journal of Natural Products**, v. 5, p. 27-36, 2012. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/268522606>>. Acesso em: 30 maio 2022.

MEDINA, G. da S. Economia do agronegócio no Brasil: participação brasileira na cadeia produtiva da soja entre 2015 e 2020. **Novos Cadernos NAEA**. v. 24, n. 1, p. 231-254, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/8521/7172>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MENDONÇA, J. A. A dinâmica territorial no semiárido baiano: o caso do sisal. **Estudos Rurais**, v. 12, p. 134-148, 2009.

MENDONÇA, P. M. E. **A Profissionalização do Campo do Desenvolvimento Rural na Região do Sisal**. FGV: 2009. 264 f. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/2495/72050100759.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jun. 2022.

MERIDA, C.; CANEVARI, C. C. de J.; JESUS, D. C. de. Desafios e perspectivas para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro no cenário pós-pandêmico. **Cadernos de Direito Actual**, 2021, 16: 277-295. Disponível em: <<http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/734/365>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Evolução do PIB do agronegócio brasileiro de 1959 a 1995: uma estimativa na ótica do valor adicionado. **Teoria e Evidência Econômica**, 2001, 9.16: 9-24. Disponível em: http://cepeac.upf.br/download/rev_n16_2001_art1.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia** [online]. 2020, v. 74, n. 4, p. 441-464. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0034-7140.20200021>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Potential Assessment of Waste Produced Through the Agro-Industrial Processing in Brazil. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015. Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/download/880/627/6601>>. Acesso em: 30 maio 2022.

OLIVEIRA, J. *et al.* **As interfaces da cadeia produtiva do sisal: uma análise da etapa urbana**. Simpósio baiano de geografia agrária, II., 2017, Salvador - BA. [...]. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: https://2sbga2017.ufba.br/sites/2sbga2017.ufba.br/files/eixo3_jutair_malena_maise.pdf. Acesso em: 9 out. 2024.

OLIVEIRA, L. F.; SOUZA, P. R.; PEREIRA, C. L. O sisal no Território do Sisal: dinâmica de cultivo e sustentabilidade. **Revista Agroecologia e Sustentabilidade**, v. 8, n. 3, p. 44-55, 2017.

QUEIROGA, M. P. *et al.* A cultura do sisal e seus impactos socioambientais no Território do Sisal, Bahia. **Revista de Estudos Sociais**, v. 10, n. 2, p. 112-126, 2021.

QUEIROGA, V. de P. **Sisal (*Agave sisalana*, Perrine):** Tecnologias de plantio e utilização. 1ed. Campina Grande: AREPB, 2021.

RAKESH, V.; MOUNIKA, A.; MANASA, B.; SHARMA, J. V. C.; GUPTA, A. V. S. S. A Review On Poisonous Plants: Medicinal Uses and Human Threats. **International Journal of Research in Engineering, Science and Management**, v. 5, n. 1, p. 98–103, 2022. Disponível em: <http://www.journals.resaim.com/ijresm/article/view/1682>. Acesso em: 9 jun. 2022.

RODRIGUES, D. D. ; FERREIRA, V. R. ; PIROVANI, C. H. D. ; AGRIZZI, M. P. ; VETTORAZZI, J. C. F. ; BERILLI, S. da S.; VICOSI, K. A. **Lodo de curtume:** resíduo com potencial para produção de mudas. *Tópicos em Agroecologia*. 1ed.: 2022, v. 3, p. 271-288.

RODRIGUES, D. D.; BERILLI, S. S.; Ferreira, V. R.; PIROVANI, C. H. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; HENRIQUE, E. P.; ROZAES, L. B.; PIASSI, M. B. Ganhos morfofisiológicos de mudas de pimentão produzidas com lodo de curtume e moinha de café. **REVISTA IFES CIÊNCIA**, v. 8, p. 1-15, 2022.

RODRIGUES, L. *et al.* Use of industrial waste in organic farming systems. **Sustainable Agriculture Journal**, v. 14, n. 2, p. 145-158, 2022.

RODRIGUES, L. N. **Agricultura irrigada:** desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Brasília, DF: INOVAGRI, 2017. Disponível em: <<https://salommao.com.br/wp-content/uploads/2021/10/Agriculturalirrigada.pdf#page=109>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

SÁNCHEZ, L. J. S.; LÓPEZ, C. R. H. Aproximación teórica sobre la agrobiodiversidad cultural del semiárido larense, desde la perspectiva docente. **RELACult - Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, [S. l.], v. 7, n. 3, 2021. DOI: 10.23899/relacult.v7i3.2176. Disponível em: <https://periodicos.claec.org/index.php/relacult/article/view/2176>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SANTOS, A. P. dos. **Farinha de batata (*Solanum tuberosum* L.):** obtenção, caracterização físicoquímica, funcional, elaboração e caracterização de sopas desidratadas. Itapetinga-Ba: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, 2009.

SANTOS, A. S.; SILVA, R. L. O território do sisal: um estudo sobre a concentração fundiária e os movimentos sociais na Bahia. **Revista Brasileira de Política Agrária**, v. 9, n. 2, p. 70-83, 2010.

SANTOS, E. M. C. ; COELHO NETO, A. S.; SILVA, O. A. da De Região Sisaleira a Território do Sisal: desvelando as nuances do processo de delimitação da diferenciação espacial no Semiárido Baiano. **GeoTextos**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2015. DOI: 10.9771/1984-5537geo.v11i2.13472. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/13472>. Acesso em: 14 jun. 2022.

SANTOS, E. M. C.; SILVA, O. A. da. Agentes sociais de produção do espaço rural no território do sisal–Bahia. Campo-Território: **Revista de geografia agrária**, v. 5, n. 9, p. 71-88, 2010.

SANTOS, E. M. C.; SILVA, O. A. da. SISAL NA BAHIA - BRASIL. **Mercator** (Fortaleza) [online]. 2017, v. 16, e16029. Disponível em: <<https://doi.org/10.4215/rm2017.e16029>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

SANTOS, F. *et al.* Extraction of pectin from *Agave sisalana* as a food stabilizer. **Food Chemistry and Technology**, v. 17, n. 4, p. 34-40, 2015.

SANTOS, J. D. G.; BRANCO, A.; SILVA, A.F.; PINHEIRO, C.S.R.; NETO, A. G.; UETANABARO, A.P.T.; QUEIROZ, S. R. O. D.; OSUNA, J. T. A. Antimicrobial activity of *Agave sisalana*. **African Journal of Biotechnology**, vol. 8 (22), pp. 6181-6184, 16 November, 2009. Disponível em:<<https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/66119>>. Acesso em: 30 maio 2022.

SANTOS, J. D. G.; VIEIRA, I. J. C.; BRAZ-FILHO, R.; BRANCO, A. Chemicals from *Agave sisalana* Biomass: Isolation and Identification. **International Journal of Molecular Sciences**. 2015; 16(4):8761-8771. Disponível em:<<https://doi.org/10.3390/ijms16048761>>. Acesso em: 30 maio 2022.

SANTOS, M. A.; SILVA, J. F. O. A construção do Território do Sisal e suas implicações sociais e econômicas. **Geografia e Ensino**, v. 20, n. 1, p. 72-90, 2015.

SHAHZAD, S. *et al.* Physiological and biochemical attributes of *Agave sisalana* resilient adaptation to climatic and spatio-temporal conditions. **Pak. J. Bot**, v. 54, n. 1, p. 169-178, 2022. Disponível em:<<https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1641320737.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

SIQUEIRA, M. U.; CONTIN, B.; FERNANDES, P. R. B.; RUSCH-SOARES, R. Brazilian Agroindustrial Wastes as Potential Textile and Other Raw Materials: a Sustainable Approach. **Materials Circular Economy** n. 4, p. 9, 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.1007/s42824-021-00050-2>>. Acesso em: 30 maio 2022.

SOARES, J. H. M.; ARRUDA, D. R. de; AMARANTE, P. A. Technological and economic transformations of sisal in Northeast Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e15611527847, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.27847. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27847>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SUNDARRAJ, A. A.; RANGANATHAN, T. V. A review on cellulose and its utilization from agro-industrial waste. **Drug Invent. Today**, 2018, 10.1: 89-94.

VILLARROEL, F. K. E. Elaboración y aplicación en cocteleria, de alcohol obtenido a base del extracto de la cabuya (Agave americano). **Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**. Riobamba. 2015. Disponível em:<<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9626>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

VUORINNE, I.; HEISKANEN, J.; PELLIKKA, P.K.E. Assessing Leaf Biomass of *Agave sisalana* Using Sentinel-2 Vegetation Indices. **Remote Sens.** 2021, 13, 233p. Disponível em:<<https://doi.org/10.3390/rs13020233>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

YOGI, K. *et al.* Exploiting *Agave sisalana* waste for eco-friendly applications. **Industrial Waste Management**, v. 23, n. 5, p. 255-267, 2021.

CAPÍTULO 8

Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na agricultura

Adriano da Costa Borges, Maurício Novaes Souza, Julia Falqueto Ambrosim, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Camila Dutra Pimenta, Esteffany Pereira da Silva, Oseas de Almeida Lima

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c8>

Resumo

Em 2010, a produção brasileira de rochas ornamentais foi de aproximadamente 9 milhões de toneladas. Em 2018, mesmo com a desaceleração econômica de países importadores, alcançou cerca de 8 milhões de toneladas. Em 2023, a produção brasileira de rochas ornamentais manteve-se estável em relação ao ano anterior, totalizando aproximadamente 10 milhões de toneladas. Desse total, 2,8 milhões de toneladas foram destinadas ao mercado externo, representando uma queda de 7% nas exportações, enquanto 7,2 milhões de toneladas atenderam ao mercado interno, indicando um aumento de 3%. Entre as principais rochas, o granito mantém o Brasil entre os cinco maiores produtores mundiais, com 5,4% da produção global. Essa expressiva produção gera grande quantidade de resíduos, o que tem motivado pesquisas para seu reaproveitamento. O Brasil, grande produtor agropecuário e consumidor de fertilizantes, importa cerca de 70%-85% dos insumos de base NPK. Os resíduos de granito apresentam, em média, 69% de dióxido de silício (SiO_2), 15% de alumínio, 3–5% de potássio, sódio e ferro, 1–2% de cálcio e magnésio, além de traços de titânio, fósforo e manganês. Estudos exploram o uso desses resíduos em práticas como a rochagem, que utiliza pós de rochas para fertilização. A aplicação desses resíduos como remineralizadores oferece benefícios ambientais e sociais: reduz impactos ambientais, promove a economia circular e fornece aos agricultores insumos sustentáveis e acessíveis. Essa abordagem também agrega valor às indústrias de rochas ornamentais, transformando resíduos em recursos produtivos.

Palavras-chave: Rochas ornamentais. Resíduos industriais. Rochagem. Remineralização. Fertilizantes sustentáveis. Desenvolvimento sustentável. Economia circular.

1. Introdução

As rochas ornamentais, amplamente conhecidas por sua estética e aplicação na construção civil, possuem características que as tornam importantes também para a agricultura. Mesmo com composições minerais variadas, essas rochas contêm elementos químicos essenciais para as plantas, como potássio, cálcio, magnésio, silício e micronutrientes. Esses elementos, presentes em diferentes proporções, podem ser disponibilizados ao solo por meio dos resíduos gerados no beneficiamento dessas rochas, permitindo seu uso como fertilizantes naturais. Eles ajudam a reequilibrar o solo e, ao serem liberados de forma lenta e contínua, promovem uma fertilização mais natural e sustentável em comparação aos fertilizantes químicos solúveis.

O processo de transformação das rochas ornamentais em remineralizadores de solo, conhecido como rochagem, envolve a moagem dessas rochas em pó fino, que é então aplicado ao solo. Esses remineralizadores contribuem para a reposição de nutrientes perdidos, tanto pelo processo natural de intemperismo quanto pela absorção pelas culturas agrícolas. Isso resulta em solos mais férteis, equilibrados e com melhor estrutura para o cultivo, promovendo o aumento da produtividade e maior resistência das plantas (Guarçoni; Fanton, 2011; Penha; Gualberto, 2020).

Os resíduos das rochas ornamentais são, assim, uma fonte rica de nutrientes naturais. Seu uso na agricultura ajuda a neutralizar a acidez do solo e a adicionar macro e micronutrientes, favorecendo o desenvolvimento saudável das culturas. Além de melhorar a nutrição das plantas, esses remineralizadores têm a vantagem de serem ecologicamente sustentáveis, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos comerciais e contribuindo para a preservação ambiental (van Straaten, 2006; Barros; Ribeiro, 2021).

Os remineralizadores podem aumentar a atividade microbiológica no solo, melhorar a estrutura física (como aeração e retenção de água) e ajudar a prevenir a acidificação excessiva. São considerados uma alternativa promissora dentro da agricultura sustentável e agroecológica, pois promovem a recuperação de solos esgotados de forma mais ecológica e econômica, reduzindo a dependência de insumos externos.

Esse tipo de manejo é considerado uma alternativa mais sustentável e ecológica, uma vez que aproveita os resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, que de outra forma poderiam contaminar solos e cursos d'água. Ao utilizá-los de forma racional, a rochagem promove uma agricultura mais equilibrada e sustentável, ao mesmo tempo em que melhora a fertilidade dos solos (Toscani; Campos, 2017; Brito *et al.*, 2019).

Assim, as rochas ornamentais vão além de sua função estética e decorativa, destacando-se também pelo potencial de contribuir para a agricultura sustentável, ajudando a remineralizar os solos e a melhorar a produtividade agrícola.

Os dois maiores polos de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil são os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, sendo que o primeiro é responsável por cerca de 40% da produção nacional: em 2010, essa produção foi de aproximadamente 9 milhões de toneladas (Abirochas, 2011). Em 2018, mesmo com a desaceleração da economia dos principais países importadores, chegou a uma produção aproximada de 8 milhões de toneladas, mantendo o Brasil entre os cinco maiores produtores mundiais, representando cerca de 5,4% da produção global (Abirochas, 2019).

Essa indústria é de suma importância para o desenvolvimento socioeconômico do Espírito Santo; entretanto, a extração e o processamento desse material podem causar danos ao meio ambiente quando não há uma gestão correta dos resíduos (Raymundo *et al.*, 2013; Mendonça; Moraes; Oliveira, 2016).

Em consequência dessa produção expressiva, esses estados também geram uma grande quantidade de resíduos sem uma destinação adequada que permita a sustentabilidade do setor. Apesar de haver no Espírito Santo uma instrução normativa (11/2016 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA) para destinação e descarte desses resíduos, como a lama do beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), essa normativa aborda apenas locais e formas de armazenamento (Espírito Santo, 2016).

Assim, o reaproveitamento de resíduos provenientes da mineração se tornou um grande desafio contemporâneo, uma vez que a exploração de

recursos minerais muitas vezes resulta na geração de grandes volumes de resíduos, com potenciais impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana. A busca por soluções sustentáveis para o gerenciamento desses resíduos tem sido uma preocupação crescente em diversas áreas, incluindo a indústria de mineração, governos e pesquisadores (Pontes; Stellin Júnior, 2005; Mendonça; Moraes; Oliveira, 2016; Sousa *et al.*, 2018; Torres *et al.*, 2019; Caldeira *et al.*, 2021).

Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais negativos causados pelo acúmulo desses resíduos e gerar renda, diversos pesquisadores têm trabalhado em projetos que visam o reaproveitamento desses materiais como matéria-prima para obtenção de outros produtos, principalmente na construção civil. Os resíduos mais pesquisados e empregados nessa área são os do beneficiamento de granito (Theodoro *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2016; Schwantes *et al.*, 2017; Lucas *et al.*, 2019; Barbieri *et al.*, 2021; Maia *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, no entanto, foram realizadas diversas pesquisas para o uso desses resíduos em outras áreas, como na produção agropecuária, grande consumidora de insumos fertilizantes, estando entre os principais da agricultura moderna os de base NPK. No Brasil, cerca de 70% desses fertilizantes são importados (Theodoro *et al.*, 2012; Lucas *et al.*, 2019; Barbieri *et al.*, 2021; Maia *et al.*, 2021).

As pesquisas voltadas à produção agrícola têm demonstrado interesse em resíduos de granito no processo de rochagem, prática que, segundo Santos e Reichert (2018) e Barbieri *et al.* (2021), apesar de antiga, ainda é pouco utilizada no país. A rochagem consiste em aplicá-los como remineralizadores do solo, geralmente como medida corretiva para recuperar a fertilidade, especialmente em solos tropicais, que apresentam alta taxa de degradação.

Essa prática foi incentivada pela regulamentação da Lei n. 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que incluiu os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à produção agrícola (Brasil, 2013).

O objetivo deste capítulo é destacar algumas alternativas que vêm sendo estudadas para o reaproveitamento dos resíduos do beneficiamento de granito de modo geral, com foco principal na produção agrícola.

As principais aplicações de resíduos de granito incluem cerâmicas, argamassas, tijolos de solo-cimento, ladrilhos hidráulicos, pavimentos asfálticos, lã mineral, vidros, concreto autoadensável, concretos e uso agrícola. O presente trabalho, no entanto, concentra-se nesse último.

No Brasil, o uso de remineralizadores tem crescido com o incentivo da Política Nacional de Fertilizantes e a aprovação de leis que regulamentam seu uso, como a Lei dos Fertilizantes de 2013 (Lei 12.890)

2. Uso agrícola (Rochagem)

Nos últimos 100 anos, a agricultura brasileira experimentou um crescimento significativo em produtividade, impulsionado principalmente pelas inovações tecnológicas decorrentes de pesquisas voltadas para o manejo do solo e o uso de fertilizantes. A pesquisa em fertilidade do solo tem sido um dos fatores fundamentais para esse desenvolvimento, ao introduzir práticas que promovem o uso eficiente de corretivos e fertilizantes. Essas inovações, além de aumentar a produtividade, também geram benefícios diretos para a qualidade do solo, favorecendo sua saúde e capacidade de sustentar cultivos no longo prazo (Lopes; Reis; Guimarães, 2017).

O uso adequado de fertilizantes não apenas melhora a produtividade agrícola, mas também desempenha um papel importante na preservação ambiental. Isso ocorre ao proteger áreas de florestas nativas, fauna e flora, ao mesmo tempo em que otimiza o uso de terras já cultivadas (Loureiro; Pereira; Silva, 2008). Fertilizantes como o potássio, aplicado na forma de sais como o KCl, ajudam a corrigir deficiências nutricionais do solo, garantindo o crescimento saudável das plantas. O potássio desempenha funções essenciais, como a melhoria da qualidade das proteínas nas plantas, a redução da incidência de doenças e a melhora na resistência ao estresse abiótico, como o frio. Contudo, sua aplicação deve ser feita com cuidado, uma vez que a alta solubilidade dos sais pode levar a perdas por lixiviação, diminuindo a eficiência e impactando negativamente o solo no longo prazo (Teixeira *et al.*, 2010).

2.1. Rochagem e a fertilização do solo

Com o objetivo de atender às necessidades industriais e ambientais contemporâneas, a aplicação de resíduos de rochas na agricultura, prática conhecida como rochagem, pode promover a fertilidade do solo sem comprometer a sustentabilidade ambiental. Esses resíduos são abundantes em nutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), além de outros micronutrientes, e oferecem uma alternativa para a nutrição das plantas. A rochagem é caracterizada como uma estratégia de revitalização para solos com baixa fertilidade (Oliveira; Queiróz; Ribeiro, 2010) (Figura 1).



Figura 1. Rochagem como opção para melhorar a fertilidade do solo. Fonte: <https://revistacampoenegocios.com.br/rochagem-e-boa-opcao-para-melhorar-a-fertilidade-do-solo/>, 2024.

No contexto brasileiro, onde os fertilizantes químicos são amplamente utilizados e majoritariamente importados, práticas como a rochagem têm o potencial de fortalecer a autonomia dos agricultores, promovendo segurança alimentar e sustentabilidade econômica. A utilização de fontes locais e renováveis reduz os custos de produção e minimiza os impactos ambientais, como a poluição de corpos d'água e as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção e transporte de fertilizantes químicos. Estudos como os de Schwantes *et al.* (2017), Alovisei *et al.* (2020) e Barbieri *et al.* (2021) demonstram o potencial do uso de pós de rochas ornamentais, como o granito,

na remineralização do solo, destacando sua eficiência em liberar nutrientes ao longo do tempo.

A prática da rochagem, além de ser sustentável, pode ser adaptada a diferentes manejos agrícolas para aperfeiçoar a liberação de nutrientes, tornando-a uma técnica versátil e eficaz. Ao ser incorporado a sistemas agrícolas que utilizam práticas conservacionistas, como a rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura, a rochagem contribui para a melhoria da estrutura do solo, o aumento da matéria orgânica e a promoção de um sistema agrícola mais resiliente.

2.2. Rochagem e a correção da acidez

Uma das práticas mais importantes para garantir a eficiência dos fertilizantes em solos tropicais, naturalmente ácidos, é a correção da acidez do solo. Tradicionalmente, essa correção tem sido feita com o uso de calcário. Entretanto, estudos indicam a viabilidade de materiais corretivos alternativos, como o pó gerado a partir do beneficiamento de rochas ornamentais (Machado *et al.*, 2009). Esses resíduos, além de constituírem uma solução sustentável para o descarte inadequado de materiais, possuem o potencial de neutralizar a acidez do solo, tornando-o mais adequado para a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, melhorando sua fertilidade.

A aplicação de pó de rocha no solo, prática também conhecida como rochagem, proporciona benefícios notáveis. Além de corrigir a acidez, esses materiais contribuem para a reposição de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. O uso de minerais como as micas flogopita e vermiculita, por exemplo, apresenta-se como uma alternativa eficaz para complementar a fertilização, fornecendo potássio de forma mais gradual e menos propensa à lixiviação (Teixeira *et al.*, 2010).

Dessa forma, o uso de resíduos de rochas ornamentais para a correção do solo oferece uma solução dupla: promove a sustentabilidade ao reduzir a dependência de corretivos convencionais e fertilizantes químicos, além de aproveitar subprodutos da indústria de rochas ornamentais que, de outra forma, seriam descartados de forma prejudicial ao meio ambiente. Essa prática, além

de melhorar a saúde do solo, contribui para a redução dos custos de insumos agrícolas, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente (Figura 2).



Figura 2. Com análises é possível conhecer os teores do solo e recomendar a calagem para correção da acidez. Fonte: <https://jeffersondealmeida.com.br/remineralizacao-de-solo-e-realidade-em-ms/>.

2.3. Rochagem e o processo de formação do solo

A rochagem não deve ser encarada apenas como um processo de produção de remineralizantes e fertilizantes para o solo, mas como um processo de formação do solo (Brito *et al.*, 2019). Trata-se de um legado significativo para as gerações futuras, proporcionando a construção de um sistema mais racional e uma agricultura sustentável.

O solo é considerado a base da produção agropecuária e da manutenção da vida terrestre. Para que apresente uma melhor produtividade ao longo do tempo, são necessárias correções e fertilizações (Alovisi *et al.*, 2020). Na Figura 3, observa-se uma área de pastagem em processo de degradação, por não receber correção ou fertilização por mais de 60 anos.

Os solos tropicais frequentemente enfrentam desafios significativos relacionados à degradação e baixa fertilidade, causados por diversos fatores. Entre os principais, destacam-se a remoção excessiva de nutrientes durante as colheitas, a erosão do solo e a perda de matéria orgânica. A matéria orgânica é fundamental para a manutenção da fertilidade, pois melhora a estrutura do solo,

aumenta sua capacidade de retenção de água e promove a atividade microbiana benéfica, essencial para os ciclos de nutrientes (Santos; Santos; Reichert, 2018; Monteiro *et al.*, 2023; Souza, 2023).



Figura 3. Área de pastagem em processo de degradação. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Quando o solo é explorado de maneira inadequada, como no uso intensivo sem a adoção de práticas de manejo sustentável, esses problemas podem se intensificar. A ausência de estratégias de conservação e a falta de reposição adequada dos nutrientes extraídos pelas culturas contribuem para o empobrecimento progressivo do solo. Um dos desafios mais marcantes em regiões de clima tropical é a lixiviação, processo no qual nutrientes solúveis são lavados para camadas mais profundas do solo, tornando-os indisponíveis para as plantas. Esse fenômeno é agravado pela alta intensidade de chuvas, característica comum nessas regiões, que promove a perda de nutrientes como N, K e Ca. A Figura 6 ilustra os impactos da lixiviação em áreas agrícolas mal manejadas.

A adoção de práticas de manejo sustentável é fundamental para mitigar esses problemas. Técnicas como a aplicação de adubação orgânica, a incorporação de matéria orgânica, o uso de culturas de cobertura, a rotação de culturas e a correção da acidez do solo são estratégias eficazes para reduzir os efeitos da lixiviação e melhorar a retenção de nutrientes. Além disso, o uso de remineralizadores de solo, como os pós de rocha, pode ser uma alternativa

sustentável para enriquecer o solo com nutrientes de liberação gradual, reduzindo a dependência de fertilizantes solúveis e minimizando perdas por lixiviação. Dessa forma, é possível promover a resiliência dos solos tropicais, garantindo sua produtividade em longo prazo e contribuindo para a sustentabilidade agrícola (Figura 4).



Figura 4. Área de pastagem com elevada taxa de lixiviação, erosão, formação de ravinas e voçorocas. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

2.4. Multiplicidade de funções da rochagem

Ou seja, a adoção de técnicas inovadoras, como o uso de resíduos de rochas ornamentais na correção do solo, surge como uma solução promissora para os desafios enfrentados pela agricultura moderna, sobretudo em regiões tropicais. Essas práticas representam alternativas eficazes aos fertilizantes químicos tradicionais, muitas vezes importados e de alto custo, promovendo uma abordagem mais sustentável e economicamente viável. Além disso, o aproveitamento de materiais descartados, como o pó de rocha, está alinhado aos princípios da economia circular, reduzindo o impacto ambiental associado ao descarte inadequado desses resíduos.

Uma das grandes vantagens dessa abordagem é a capacidade dos resíduos de rochas ornamentais de corrigirem a acidez do solo, um problema frequente em regiões tropicais. Solos ácidos limitam a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, reduzindo a eficiência dos fertilizantes aplicados. Ao utilizar esses resíduos, é possível não apenas neutralizar a acidez,

mas também fornecer micronutrientes de maneira gradual e equilibrada, prolongando os benefícios ao longo do ciclo de cultivo. Essa liberação lenta de nutrientes, característica dos materiais remineralizadores, contribui para uma fertilização mais eficiente, menor dependência de insumos químicos e maior competitividade agrícola.

O histórico da agricultura moderna, marcado pela Revolução Verde, trouxe inovações significativas, mas também desafios, como a degradação acelerada do solo, a dependência de insumos químicos e os impactos ambientais negativos. Esses fatores reforçam a necessidade de repensar os sistemas produtivos, buscando alternativas que combinem eficiência econômica e responsabilidade ambiental. Conforme destacado por Monteiro *et al.* (2023) e Souza (2023), a abordagem integrada de conservação do solo, manejo de nutrientes e uso sustentável de recursos naturais é essencial para garantir a produtividade agrícola em longo prazo, preservando a biodiversidade, a qualidade da água e a saúde do solo.

Nesse cenário, o uso de resíduos de rochas ornamentais e outras fontes remineralizadoras surgem como uma estratégia relevante para enfrentar os desafios da degradação e baixa fertilidade dos solos tropicais. Ao integrar essas práticas ao manejo agrícola, governos, pesquisadores, agricultores e sociedade podem contribuir para um sistema agrícola mais sustentável, resiliente e alinhado às demandas socioambientais globais (Figura 5).



Figura 5. Pó de rocha é mais barato e pode ser usado em diversas culturas. Fonte: Guto Silveira (Embrapa).

Em resumo, a rochagem ou remineralização do solo é uma prática de manejo agrícola que envolve a aplicação de pós de rochas diretamente sobre o solo, visando melhorar suas propriedades físicas e químicas. Essa técnica busca corrigir a acidez do solo, liberar nutrientes de forma gradual e promover interações benéficas entre os minerais presentes nas rochas e os microrganismos do solo, estimulando um ambiente propício ao crescimento das plantas. Embora a técnica tenha suas raízes em práticas antigas, como a calagem (com calcário) e a fosfatagem (com fósforo), ela se configura como uma alternativa moderna e sustentável para melhorar a fertilidade dos solos degradados e promover sua recuperação.

De acordo com Neves *et al.* (2021), o uso de pós de rochas na remineralização enfrenta um desafio devido à diversidade de composições das rochas, que variam conforme a espécie e os processos geológicos a que foram submetidas até serem descartadas como rejeito. Essa diversidade pode dificultar a aplicação uniforme de minerais essenciais ao solo, uma vez que cada tipo de rocha pode oferecer diferentes concentrações de elementos. No entanto, apesar dessas variabilidades, a técnica continua a ser considerada uma solução valiosa para a melhoria da fertilidade dos solos, especialmente em regiões com solos intemperizados e de baixa fertilidade.

2.5. A Rochagem e a recuperação de áreas degradadas

A rochagem não só contribui para a remineralização de solos degradados, como também pode ser vista como uma forma de rejuvenescimento do solo. Como os resíduos rochosos são, em sua essência, formados pela decomposição de rochas, eles carregam elementos essenciais para a manutenção da fertilidade do solo, o que torna a técnica uma abordagem integral e natural para melhorar o solo a longo prazo. Theodoro *et al.* (2012) destacam que, ao contrário dos fertilizantes químicos, a rochagem fornece nutrientes de maneira gradual e prolongada, o que reduz a necessidade de aplicações frequentes e intensivas, promovendo uma abordagem mais sustentável.

No Brasil, a rochagem tem ganhado destaque devido à grande diversidade geológica do território e à crescente demanda por fertilizantes químicos. O uso

de resíduos do beneficiamento de rochas, como o granito, apresenta-se como uma alternativa promissora, especialmente considerando os altos custos e os impactos ambientais dos fertilizantes químicos. Diversas pesquisas, incluindo estudos de Brito *et al.* (2019), têm demonstrado resultados positivos, especialmente no Estado do Espírito Santo, que possui uma significativa produção de granito. Esses resíduos apresentam uma composição mineral rica em dióxido de silício (SiO_2), alumínio, potássio, sódio, ferro, cálcio e magnésio, elementos que são fundamentais para a melhoria da fertilidade do solo. De forma geral, os resíduos de granito apresentam uma média de 69% de SiO_2 , cerca de 15% de alumínio, e de 3 a 5% de potássio, sódio e ferro, com cálcio e magnésio variando entre 1 a 2%. Elementos como titânio, fósforo e manganês estão presentes em quantidades menores, abaixo de 1% (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química média das rochas silicáticas (granitos) mais beneficiadas

	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	MnO
Média (%)	69,13	14,65	4,84	3,56	3,74	1,90	0,90	0,58	0,25	0,05

Fonte: Adaptado de Neves *et al.*, 2021.

A partir dessa composição, é possível observar que a rochagem com resíduos de granito tem o potencial de fornecer um conjunto diversificado de nutrientes essenciais para as plantas, melhorando a qualidade do solo e promovendo o crescimento sustentável das culturas. Além disso, ao utilizar resíduos de rochas, como o granito, o processo de rochagem também contribui para a redução do impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado desses materiais, alinhando-se aos princípios da economia circular.

Portanto, a rochagem surge não apenas como uma técnica de correção e remineralização do solo, mas também como uma alternativa sustentável e eficaz para a agricultura brasileira, ajudando a melhorar a produtividade das lavouras, reduzir a dependência de fertilizantes químicos importados e promover práticas agrícolas mais responsáveis e ambientalmente amigáveis.

A eficácia dos pós de rochas como fertilizantes depende de uma série de fatores, incluindo o tipo de rocha utilizada, as condições específicas do solo e as práticas agrícolas empregadas. Embora o uso de resíduos de rochas ornamentais, como o granito, seja promissor, a taxa de liberação de nutrientes desses pós tende a ser mais lenta do que a dos fertilizantes solúveis. Isso significa que, ao adotar a rochagem, os agricultores devem planejar cuidadosamente a aplicação para garantir que as necessidades nutricionais das plantas sejam atendidas de maneira contínua ao longo de seu ciclo de crescimento (Figura 6).



Figura 6. Rochagem como corretivo de acidez e fertilizante em procedimento de recuperação de áreas degradadas. Souza, 2023.

2.6. Rochagem: benefícios e limitações

Pesquisas contínuas sobre a remineralização do solo são fundamentais para compreender melhor os benefícios e as limitações dessa prática. Embora os pós de rochas tenham o potencial de melhorar a fertilidade do solo e contribuir para a sustentabilidade agrícola, sua aplicação eficaz exige um conhecimento mais aprofundado das variáveis envolvidas, como as características geológicas das rochas utilizadas, as condições de pH do solo e as necessidades específicas das culturas. Além disso, é importante entender como a interação entre os minerais liberados pelas rochas e os microrganismos do solo pode influenciar a disponibilidade dos nutrientes ao longo do tempo.

O desenvolvimento de diretrizes práticas baseadas em pesquisas específicas sobre os diferentes tipos de rochas e as condições locais de solo pode ajudar a maximizar os benefícios da rochagem. Por exemplo, a composição dos resíduos de rochas pode variar significativamente de acordo com o tipo de processo de beneficiamento, como o processo de serragem, que pode afetar a quantidade de ferro (Fe_2O_3) e cálcio (CaO) presentes nos resíduos, como evidenciado pela Tabela 2. Esses elementos podem ter impactos distintos sobre a fertilidade do solo, dependendo da forma e da quantidade em que estão presentes.

Tabela 2. Composição química média dos resíduos de granitos após a serragem

	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	MnO
Média	62,50	12,37	4,40	2,73	11,03	4,15	0,93	0,59	0,27	0,12
(%)										

Fonte: Adaptado de Neves *et al.*, 2021.

Assim, a utilização de pós de rochas na agricultura deve ser tratada com uma abordagem personalizada, levando em consideração as condições específicas de cada local e as necessidades das culturas. Com o tempo, e com base nas descobertas científicas, é possível aperfeiçoar as técnicas de rochagem e integrá-las de forma mais eficiente nas estratégias de manejo sustentável do solo. Isso não apenas contribuirá para a promoção da saúde do solo, mas também ajudará a aumentar a produtividade agrícola e a promover práticas de conservação ambiental de maneira mais equilibrada e sustentável (Alovisi *et al.*, 2020).

Portanto, apesar de seus desafios e limitações, a rochagem se configura como uma ferramenta valiosa para a agricultura sustentável, permitindo que os agricultores se tornem menos dependentes de fertilizantes químicos, ao mesmo tempo em que ajudam a restaurar e preservar a saúde do solo para as gerações futuras.

A serragem dos blocos de rocha para a produção de chapas gera resíduos de diferentes granulometrias, com destaque para a alta quantidade de partículas menores que 45 μm . Esse fenômeno é observado tanto em processos convencionais com lâminas quanto no uso de multifios diamantados, que, além de reduzir perdas e resíduos, promove uma maior eficiência na serragem, com um controle mais preciso sobre a composição dos resíduos gerados. No caso dos multifios, isso resulta em um aumento da produtividade e uma redução no consumo de recursos, como energia e mão de obra, além de possibilitar um maior aproveitamento dos resíduos em outras aplicações, incluindo na agricultura.

2.7. Rochagem e os impactos da granulometria

Os resíduos da serragem do granito contêm nutrientes importantes para o crescimento das plantas, como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que podem contribuir para a melhoria da fertilidade do solo. De acordo com Bertossi *et al.* (2012), a baixa granulometria desses resíduos oferece um grande potencial de utilização agrícola, pois pode aumentar a reatividade no solo e a velocidade de solubilização dos nutrientes, facilitando sua absorção pelas plantas. Essa característica é particularmente relevante para a produção vegetal, pois o potássio trocável presente nos resíduos pode beneficiar o crescimento das plantas de forma gradual.

Entretanto, essa baixa granulometria também tem implicações no comportamento do solo, especialmente em relação à sua condutividade hidráulica. Resíduos finos, ao diminuir o tamanho dos poros no solo, podem alterar a velocidade de penetração da água, o que, por sua vez, impacta o transporte de nutrientes e a lixiviação. Isso pode afetar o equilíbrio do solo, principalmente em solos mais argilosos ou compactados, onde a infiltração da água é limitada. Contudo, conforme observado nas análises de Bertossi *et al.* (2012), até 40% de resíduos no solo não apresentaram níveis críticos, sendo classificados como "Moderados" na escala de impacto, o que indica que não há restrições significativas ao uso dessa quantidade de resíduos na rochagem.

2.8. Rochagem e a liberação de nutrientes

No que tange à liberação de nutrientes, a rochagem tem a vantagem de ser um processo de fertilização mais sustentável, pois a liberação dos nutrientes ocorre de forma mais lenta, permitindo um efeito prolongado. Theodoro (2000) destaca que essa liberação gradual é uma característica positiva, pois evita o desperdício de recursos e não compromete negativamente o equilíbrio ambiental, como pode ocorrer com fertilizantes solúveis, cujos nutrientes são rapidamente lixiviados e podem causar contaminação de águas e do solo.

No entanto, a baixa solubilidade dos nutrientes presentes nos pós de rochas pode ser um desafio para sua aplicação eficaz como fertilizantes. Segundo Camara *et al.* (2021), a solubilidade limitada implica que os nutrientes sejam disponibilizados de forma mais lenta, o que pode ser uma limitação no início do ciclo de cultivo, quando as plantas exigem nutrientes de forma mais imediata. Para superar esse desafio, é importante explorar estratégias que favoreçam tanto a solubilidade quanto a liberação gradual dos nutrientes. Algumas dessas abordagens incluem a combinação dos pós de rochas com outros aditivos que possam acelerar o processo de solubilização, o uso de práticas de manejo que melhorem a dinâmica do solo, ou o desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência da liberação dos nutrientes.

Entre as estratégias que podem ser exploradas para otimizar a utilização de pós de rochas, algumas sugestões apontadas por Santos *et al.* (2016), Schwantes *et al.* (2017), Lucas (2019) e Barbieri *et al.* (2021) incluem a aplicação de tratamentos térmicos, a modificação da composição mineral das rochas ou a incorporação de microrganismos que possam favorecer a liberação de nutrientes, além da busca por práticas agrícolas que maximizem a reatividade e a disponibilidade desses nutrientes no solo. Com essas estratégias, é possível aprimorar o uso de pós de rochas, tornando-os mais eficientes na suplementação de nutrientes essenciais à fertilidade do solo, contribuindo para a sustentabilidade na agricultura:

✓ **Tratamento Físico e Químico:** processos de moagem mais fina ou tratamentos químicos podem ajudar a aumentar a solubilidade dos nutrientes nas rochas, acelerando sua disponibilidade no solo;

- ✓ **Uso Consorciado:** a combinação de pós de rochas com outras fontes de nutrientes, como fertilizantes orgânicos ou inorgânicos de liberação rápida, pode criar um equilíbrio entre a liberação imediata e gradual de nutrientes, atendendo às necessidades das plantas em diferentes estágios de crescimento;
- ✓ **Microrganismos Benéficos:** a presença de microrganismos benéficos no solo pode desempenhar um papel na decomposição dos minerais das rochas e na liberação gradual dos nutrientes;
- ✓ **Formulações Específicas:** pesquisas contínuas podem levar ao desenvolvimento de formulações específicas que acelerem a solubilidade dos nutrientes em pós de rochas, tornando-os mais eficazes como fontes de nutrientes;
- ✓ **Aplicação Adequada:** a aplicação de pós de rochas deve ser planejada de acordo com as necessidades da cultura e as características do solo, levando em consideração a liberação gradual de nutrientes ao longo do tempo.

2.9. Rochagem e novas pesquisas

A realização de mais pesquisas sobre o uso de pós de rochas como fertilizantes e sua interação com o solo e as plantas é fundamental para maximizar seu potencial como fonte de nutrientes. Avançar no entendimento da liberação gradual dos nutrientes e dos impactos ambientais da rochagem pode abrir caminho para soluções inovadoras, capazes de superar os desafios da baixa solubilidade e tornar a agricultura mais sustentável e resiliente. Além disso, conforme observado por Santos *et al.* (2014) *apud* Brito *et al.* (2019), o silício presente nos resíduos de rochas pode não apenas contribuir para a nutrição das plantas, mas também aumentar sua resistência a pragas e doenças, oferecendo um benefício adicional para a produção agrícola.

O trabalho de Santos, Santos e Reichert (2018) com resíduos de corte de granito (RCG) associado à macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé) demonstrou que a aplicação desses resíduos no solo pode aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), um indicador importante da qualidade do solo. A CTC é um parâmetro fundamental para a nutrição das plantas, pois reflete a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes essenciais para o crescimento das

culturas. Esse achado reforça o potencial dos resíduos da serragem de granito em melhorar tanto as propriedades físicas quanto as químicas do solo, um benefício crucial no manejo sustentável dos solos agrícolas.

Embora os resíduos de rochas possam contribuir para a correção do pH do solo, é fundamental ressaltar que eles não devem ser utilizados como a única fonte para esse ajuste. A alteração do pH é um processo delicado e que pode exigir ajustes mais precisos, como o uso de calcário, que é amplamente recomendado para a correção do pH de solos ácidos. A aplicação de calcário garante uma elevação mais eficiente e controlada do pH, proporcionando as condições ideais para a absorção de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, seu bom desenvolvimento. Isso foi enfatizado por Souza *et al.* (2013), que destacam a necessidade de combinar diversas fontes para uma correção eficaz do pH do solo. Dessa forma, embora os resíduos de rochas apresentem grande potencial, sua utilização deve ser feita de forma complementar e planejada, levando em consideração as características específicas de cada solo e as necessidades das plantas cultivadas.

2.10. Rochagem: aspectos ambientais, econômicos e sociais

Do ponto de vista mais abrangente, a prática de rochagem com resíduos de granito pode ter impactos positivos nos aspectos sociais, ambientais e econômicos, especialmente se considerada dentro de um contexto agroecológico. A seguir, alguns pontos-chave devem ser destacados:

✓ **Aspectos Ambientais:** A rochagem contribui para a melhoria da qualidade do solo, a retenção de nutrientes e a redução da necessidade de fertilizantes químicos, o que, por sua vez, pode minimizar os impactos ambientais negativos, como a contaminação da água e a degradação do solo. Além disso, o uso de resíduos de granito pode reduzir a quantidade de resíduos sólidos gerados na indústria de rochas ornamentais, promovendo a economia circular.

✓ **Aspectos Econômicos:** O aproveitamento de resíduos do corte de granito oferece uma alternativa mais econômica e sustentável para os produtores rurais, especialmente em regiões com escassez de fertilizantes químicos ou altos

custos de insumos. O uso desses resíduos pode reduzir os custos de produção, além de agregar valor a um material que, de outra forma, seria descartado.

✓ **Aspectos Sociais:** A adoção de práticas como a rochagem pode beneficiar os agricultores locais, proporcionando-lhes uma alternativa de fertilização mais acessível e sustentável. Além disso, pode contribuir para a criação de novos empregos e o fortalecimento de cadeias produtivas locais, desde a produção até a aplicação dos resíduos de rocha.

Com o avanço das pesquisas e a aplicação mais generalizada da rochagem com resíduos de granito, é possível promover um desenvolvimento agroecológico mais eficiente e sustentável, que integre as dimensões ambientais, sociais e econômicas de forma equilibrada. Esse tipo de abordagem pode contribuir para a construção de um sistema agrícola mais resiliente e adaptado aos desafios atuais da sustentabilidade:

✓ **Desenvolvimento Agroecológico:** a prática de rochagem com resíduos de granito pode ser considerada uma estratégia agroecológica, uma vez que promove a utilização de recursos naturais de forma sustentável e busca harmonizar as interações entre os sistemas agrícolas e o ambiente;

✓ **Acessibilidade e Difusão:** sendo uma tecnologia de fácil aplicação, a rochagem pode ser facilmente difundida entre os pequenos produtores de alimentos. Isso ajuda a democratizar o acesso a práticas sustentáveis de manejo do solo, beneficiando comunidades rurais e contribuindo para a segurança alimentar;

✓ **Redução de Rejeitos:** o reaproveitamento dos resíduos de granito provenientes de processos industriais ajuda a diminuir os rejeitos, promovendo uma gestão mais eficiente de recursos e contribuindo para a redução do impacto ambiental das indústrias de rochas;

✓ **Prevenção da Contaminação:** a rochagem pode ajudar a prevenir a contaminação das reservas de água pela lixiviação excessiva de fertilizantes químicos solúveis, contribuindo para a preservação da qualidade da água potável;

✓ **Baixo Custo:** a prática de rochagem geralmente possui um custo menor em comparação com os métodos tradicionais de uso de fertilizantes químicos

solúveis. Isso pode aliviar a pressão financeira sobre os pequenos produtores e tornar a agricultura mais acessível;

✓ **Impactos Positivos Múltiplos:** a adoção da rochagem pode levar a impactos positivos nas esferas ambiental, econômica e de produtividade. Isso inclui a melhoria da fertilidade do solo, a redução da dependência de fertilizantes químicos, o fortalecimento da resiliência dos ecossistemas agrícolas e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Considerando todos esses aspectos, a prática de rochagem com resíduos de granito não apenas aborda questões técnicas de fertilidade do solo, mas também tem o potencial de criar mudanças significativas em comunidades agrícolas, promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento socioambiental em nível local e, possivelmente, até regional. Contribui, ainda, para preceitos bases da Economia Circular, como melhor utilização de recursos naturais, a criação de novos produtos com menos geração de resíduos, reuso, reciclagem, entre outros (Camara *et al.*, 2021).

3. Considerações

A produção de rochas ornamentais no Brasil tem impactos que transcendem a indústria da construção civil e da decoração, afetando setores como a agricultura e a busca por práticas sustentáveis. A geração de resíduos dessa produção, como o granito, representa um desafio significativo, mas a busca por alternativas de reaproveitamento desses materiais é uma abordagem louvável, pois mitiga impactos ambientais e sociais, além de promover a economia circular, reintroduzindo os resíduos na cadeia produtiva como recursos.

É fundamental uma análise profunda e informada sobre a importância e os benefícios potenciais do uso de resíduos de rochas ornamentais na agricultura. O uso desses resíduos oferece uma solução sustentável e abrangente, abordando desafios ambientais, sociais e econômicos. Entre os principais benefícios, destaca-se o impacto ambiental positivo, pois o reaproveitamento desses resíduos contribui para a redução do descarte inadequado e mitiga os

danos ambientais. Além disso, ao promover a reciclagem, essa prática fomenta a economia circular.

Outro ponto relevante é a segurança alimentar, que deve ser uma prioridade em qualquer processo de reaproveitamento. A pesquisa cuidadosa é essencial para garantir que os resíduos de rochas ornamentais não tragam riscos para o solo, as plantas ou a água, assegurando a qualidade e a segurança dos produtos agrícolas. Além disso, a substituição de fertilizantes importados por fontes nacionais, como os resíduos de rochas, oferece uma grande vantagem para a economia e a autonomia do país, reduzindo os impactos ambientais causados pela produção e transporte desses insumos.

A prática de rochagem se alinha também aos princípios da agroecologia e da sustentabilidade, promovendo a resistência do solo e a resiliência dos ecossistemas. Como uma estratégia de fertilização, ela favorece a interação harmoniosa entre o sistema agrícola e o ambiente, contribuindo para a saúde do solo em longo prazo. Nesse contexto, o uso de resíduos de rochas ornamentais pode ser considerado um exemplo de desenvolvimento sustentável, beneficiando as indústrias, os agricultores e o meio ambiente.

Por fim, é imprescindível a realização de pesquisas contínuas para determinar as proporções ideais e os métodos mais eficazes de aplicação desses resíduos, garantindo que seus benefícios sejam maximizados sem comprometer a saúde do solo, das plantas e da água. Em suma, a rochagem com resíduos de rochas ornamentais não é apenas uma alternativa técnica, mas tem o potencial de promover mudanças significativas e positivas em diversos aspectos da sociedade, da economia e do meio ambiente. A combinação de conhecimento técnico com considerações sociais, econômicas e ambientais é essencial para garantir a execução bem-sucedida e responsável dessa abordagem.

4. Referências

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais; MONTANI, C. (Org.). **XXX Relatório mármore e rochas no mundo 2019 - Dossiê Brasil 2019**. Brasília: Aldus Casa di Edizioni in Carrara (IT), 2019. Disponível em:

<https://abirochas.com.br/wpcontent/uploads/2022/01/Dossier_Brazil_2019-mailing.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Síntese das exportações e importações brasileira de rochas ornamentais e de revestimentos em 2010**, 2011, informe n. 1. Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/1124/Exporta_Junho2010.pdf>. Acesso em: 12 set. 2011.

ALOVISI, A. M. T. *et al.* Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. **Revista Gestão e Sustentabilidade**, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 918-932, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e0I2020918-932

BARBIERI, R. F. *et al.* Utilização de rejeito de mineração na recomposição de solos degradados e na fertilização de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

BARROS, L. C.; RIBEIRO, R. A. O uso de remineralizadores de solo na agricultura. **Estudos Agrícolas**, n. 25, p. 120-135, 2021.

BERTOSSI, A. P. A. *et al.* Influência da utilização do resíduo fino de beneficiamento de rochas ornamentais silicáticas na qualidade do solo e da água. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 185-195, 2012. Disponível em: <https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/31_2/Art04_Bertossi_et_al.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

BRASIL. **Lei n.12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Altera a lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 11 dez. 2013.

BRASIL. **Lei n. 12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Estabelece normas sobre insumos destinados à agricultura. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, BRASÍLIA, DF, 2013.

BRITO, A. S. *et al.* Rochagem: uma prática sustentável para a remineralização dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. E0190069, 2019.

BRITO, R. S. *et al.* Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, Rio Branco, v. 6, n. 1, 2019. ISSN: 2446-4821

CALDEIRA, M. S.; MORAIS, C. A. M.; DIAS, G. S. F.; SILVA, C. G. Avaliação do desempenho mecânico de argamassas produzidas com resíduos de mineração de ferro. **Revista Matéria**, v. 26, n. 1, 2021.

CAMARA, G. R. *et al.* **Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

CAMARGOS, U. A. Concreto Auto-Adensável e Autonivelante. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 59, p. 04-05, 2002.

CHAUDHARI, P.; GIESSEN, B. C.; TURNBULL, D. Metallic Glasses. **Scientific American**, v. 242, p. 84-96, 1980.

CHIODI FILHO, C. Mercado global de rochas ornamentais e a participação do Brasil. **Economia & Desenvolvimento**, v. 35, p. 45-61, 2018.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p.15-27, 2012. Disponível em: <<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1132>>. Acesso em: 20 set. 2022.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria de Estado do Meio ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Instrução Normativa nº 11 de 11 de outubro de 2016**. Vitória: Diário Oficial dos Poderes do Estado. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/>. Acesso em: 21 maio 2021.

GUARÇONI, M. A.; FANTON, C. J. Resíduos de rochas ornamentais como fonte de nutrientes para o solo. **REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA AGRÍCOLA**, v. 6, p. 36-49, 2011.

LOPES, A. S.; REIS, H. P. G.; GUIMARÃES, G. L. Inovações tecnológicas na fertilidade do solo no Brasil. **CIÊNCIA E PRÁTICA AGRÍCOLA**, V. 17, P. 91-102, 2017.

LOUREIRO, R. S.; PEREIRA, F. N.; SILVA, J. R. A preservação ambiental e os fertilizantes. **REVISTA DE ECOLOGIA APLICADA**, v. 5, p. 45-58, 2008.

LUCAS, Y. *et al.* Application of crushed waste rock as a soil amendment for acidified agricultural soil. **Journal of Environmental Management**, v. 250, 109555, 2019.

LUOTO, K.; HOLOPAINEN, M.; KANGAS, J.; KALLIOKOSKI, P.; SAVOLAINEN, K. Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture. **Environmental Research**, v. 78, p. 25-37, 1998. ISSN: 0013-9351

MACHADO, A. R.; OLIVEIRA, L. A.; MARTINS, C. C. Uso de resíduos de rochas ornamentais na correção da acidez do solo. **AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**, v. 10, p. 35-45, 2009.

MACHADO, A.T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. São Paulo: 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Acesso em: 01 out. 2010.

MAIA, C. M. B. F. *et al.* Aplicação de rejeitos de mineração como fonte de nutrientes para plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

MARABINI, A. M.; PLESCIA, P.; MACCARI, D.; BURRAGATO, F.; PELINO, M. NEw Materials from Industrial and Mining Wastes: Glass-Ceramics and glasss and Rock-Wooll Fibre. **International Journal of Mineral Processing**, v. 53, Issues 1-2, p. 121-134, February 1998.

MARTIN, C. M. M. S. Utilização do Rejeito Oriundo do Corte de Rochas Ornamentais como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica. In: XVI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (JIC), 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, p. 106-112, 2008.

MELLO, L. G. Produção e uso de resíduos de rochas ornamentais em São Paulo. **REVISTA DE GEOLOGIA ECONÔMICA**, v. 15, p. 98-112, 2006.

MENDONÇA, G.; MORAIS, C. A. M.; OLIVEIRA, M. L. S. Reaproveitamento de rejeitos da mineração: proposta de classificação com ênfase em estudos de caso de minério de ferro. **Revista Escola de Minas**, v. 69, n. 2, p. 175-180, 2016.

MIRANDA, R. A. C.; BACARJI, E.; FERREIRA, R. C. Estudo da Aplicação de Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito em Tijolos de Solo-Cimento. In: IV Encontro nacional e II Encontro latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis (ELECS), 2007, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: ANTAC, p. 33-42, 2007.

MONTEIRO, R. J.; OLIVEIRA, K. P. de; LOUBACK, G. C.; CRESPO, A. M.; PERON, I. B.; FIGUEIREDO, J. S. M.; ARAUJO, O. P.; SOUZA, M. N. Ações de proteção do solo: mitigação de impactos ambientais no meio rural. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1.c2>

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de Resíduo de Serragem de Granito Proveniente do Estado do Espírito Santo em Cerâmica Vermelha. **Cerâmica** [online]. v. 49, n. 312, p. 262-267, 2003.

NASCIMENTO, G. B. do. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo art déco**. Belo Horizonte: 2008. 188 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

NEVES, M. A. *et al.* Lama de beneficiamento de rochas ornamentais processadas no Espírito Santo: composição e aproveitamento. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 123-136, 2021. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/15020>>. Acesso em: 20 set. 2022.

OKAMURA, H. Self-compacting High-performance concrete. **Concrete International**, v. 19, n. 7, p. 50-54, 1997.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self compacting concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, Tokyo, v. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

OLIVEIRA, G. S. **Utilização de resíduo de rochas ornamentais para produção de cerâmica de revestimento**. Alegre: 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, 2017.

OLIVEIRA, C. N. de; QUEIRÓZ, J. P. C.; RIBEIRO, R. C. da C. **Efeito da fertilização do solo com resíduos de rochas ornamentais na qualidade do biodiesel extraído**. Mineralis CETEM, p. 7, 2010.

PENHA, R. M.; GUALBERTO, F. A. A rochagem como alternativa sustentável na agricultura. **AGRONOMIA EM FOCO**, v. 9, p. 65-73, 2020.

PINTO JUNIOR, L. A. B.; GRILLO, F. F.; ARRIVABENE, L. F.; VIEIRA, E. A.; TENÓRIO, J. A. S.; OLIVEIRA, J. R. Adequação da Composição Química da Escória de Aciaria LD para a Fabricação de Cimento Portland. In: 41º Seminário de aciaria internacional, Resende. **Anais...** Resende – RJ, p. 368-379, 2010.

POLESE, M. O.; CARREIRO, G. L.; SILVA, M. G.; SILVA, M. R. Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria. **Revista Matéria** [online]. 2006, v. 11, n. 4, p. 444-454. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10814>>. Acesso em: 28 maio 2010.

PONTES, I. F.; STELLIN JÚNIOR, A. Utilização de Resíduos de Rochas Ornamentais nas Indústrias de Construção Civil. In: XXI Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa (XXI ENTMME), 2005, Natal, RN. **Anais...** Natal: ENTMME, p. 607, v. 2, 2005.

RAYMUNDO, V.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; BREGONCI, I. S.; LIMA, J. S. S.; FONSECA, A. B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 47-53, 2013.

REIS, A. S.; TRISTÃO, F. A. Análise Comparativa das Propriedades Físicas e Mecânicas de Ladrilho Hidráulico Piso Tátil com Aproveitamento de Resíduo de Corte de Granito e Ladrilho Hidráulico Piso Tátil Convencional. In: Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: ENARC, p. 166-178, 2009.

REZENDE, C. C. et al. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e50810212725, 2021. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228267/1/rsd-2021.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2022.

ROCHA, C. A. A. **Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos**. Campos dos Goytacazes:

2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

SANTANA, H. **Considerações sobre os nebulosos conceitos e definição de fíler em misturas asfálticas.** In: Reunião anual de pavimentação, 29. Associação Brasileira de Pavimentação, Cuiabá, MT, v. 1, 1995.

SANTOS, G. R. *et al.* Aplicação de resíduo da mineração de calcário na fertilização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 9, p. 791-796, 2016.

SANTOS, J. F. *et al.* Produção agroecológica de batata em relação à doses de pó de rocha. **Rev. Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 1, p. 29-35, 2014.

SANTOS, R. P.; SANTOS, I. B. C.; REICHERT, G. A. Avaliação da Aplicação de Resíduos de Corte de Granito e *Eichhornia Crassipes* em Solos de Baixa Fertilidade. In: **Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia – CONTECC, 2018**, Maceió. Disponível em: <https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/28_adadrdcdgee.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

SCHWANTES, D. *et al.* Aplicação de rejeito de mineração como fonte de nutrientes para o solo e para plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 3, p. 213-221, 2017.

SILVA, A. L. da. **Reciclagem de escória cristalizada para a produção de argamassas.** Itajubá: 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais para Engenharia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

SILVA, B. J. da. **Incorporação de resíduo de granito em massa cerâmica para revestimento.** Campina Grande: 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SILVA, E. B.; SILVA, M. F. G.; BARBOZA, A. da S. R.; GOMES, P. C. C. Produção de Concreto Auto-Adensável com Adição de Fibras e Resíduos da Serragem de Mármore e Granitos. In: Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: ENARC, p. 185- 198, 2009.

SILVEIRA, M. F.; VIDAL, C. M.; SOUZA, R. L. Tecnologias para o corte e beneficiamento de rochas ornamentais. **Tecnologia de Rochas Ornamentais**, v. 12, p. 81-99, 2014.

SNIC. Sindicato nacional das Indústrias de Cimento - **Press Kit 2010**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2010.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2010.

SOARES, M. S.; GACHET - BARBOSA, L. A.; RIBEIRO, L. C. L. J.; JACINTHO, A. E. P. G. de A.; LINTZ, R. C. C. Incorporação dos Resíduos Obtidos do Corte e Boleamento de Mármore e Granitos da Região de Limeira-SP na Produção de Concretos Auto-Adensável. *In: Encontro nacional sobre aproveitamento de resíduos na construção*, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: ENARC, p. 133- 143, 2009.

SOUSA, A. S.; ABREU, F. R. de; GOMES, R. F.; ALBUQUERQUE, A. C. S. Estudo da aplicação de resíduos da mineração de ferro em matrizes cimentícias. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 211-224, 2018.

SOUSA, G. M. **Estudo experimental de escória de aciaria para fins de caracterização tecnológica como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

SOUZA, J. N. de; RODRIGUES, J. K. G.; SOUZA NETO, P. N. de. Utilização do resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados à quente. **Revista Interação**, Campina Grande, v.2, p. 13-17, 2003.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>.

SOUZA, P. R. L.; FARIA, R. M.; SOUZA, J. L.; CRUZ, D. P.; ROCHA, G. C. **Utilização de Resíduos de Granito na Correção da Acidez de um Latossolo Vermelho-Amarelo**. *In: XXXIV Congresso brasileiro de ciência do solo*, 2013, Florianópolis, SC. 2013.

TEIXEIRA, W. G.; BENITES, V. M.; NEVES, L. R. O uso do potássio na agricultura e suas fontes alternativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 567-577, 2010.

TENORIO, J. A. S.; ARAÚJO, F. G. S.; PEREIRA, S. S. R.; FERREIRA, A. V.; ESPINOSA, D. C. R.; BARROS, A. Decomposição da fase majoritária do cimento portland - parte II: alita com adições de Fe e Al. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online], v. 56, n. 2, p. 113-117, 2003.

TENÓRIO, J. J. L.; LAMEIRAS, R. de M.; LIMA, L. A. de. Desempenho de argamassas produzidas com resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG). *In: VI Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas*, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, p. 34-44, 2005.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A importância de uma rede tecnológica de

rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. Pernambuco: **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 1390-1407, 2012. ISSN: 1984-2295.

TORRES, F. C.; VILELA, A. C. F.; SILVA, F. S.; OLIVEIRA, T. F. S. Reaproveitamento de rejeitos de mineração de ferro em argamassas. **Revista Matéria**, v. 24, n. 4, 2019.

TOSCANI, M.; CAMPOS, E. L. Rochagem e sustentabilidade no manejo de solos. **Científic@ Multidisciplinary Journal**, v. 9, n. 1, p. 1-73, 2017.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.; CREMONINI, R. **Viabilização econômica do concreto auto-adensável**. In: 12º Concurso Falcão Bauer. CBIC. Disponível em: <http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/Viabiliza%C3%A7%C3%A3o_econ%C3%B4mica_do_concreto_autoadens%C3%A1vel200693081825.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

VAN STRAATEN, P. Rochas para a agricultura: remineralizadores como condicionadores de solo. **Agricultura Sustentável**, v. 14, p. 255-274, 2006.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Efeito da Adição de Resíduo do Corte de Granito de Santo Antônio de Pádua-RJ em Massa Cerâmica Vermelha. In: 47º Congresso brasileiro de cerâmica, 2003, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), p. 1109, 2003.

CAPÍTULO 9

Impactos ambientais das bitucas de cigarros: redução por meio de reciclagem e compostagem

Hayume Emanuelle Martins Brito, Maurício Novaes Souza, Telma Machado Oliveira Peluzio, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Otávio Pereira Araujo

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c9>

Resumo

O presente trabalho analisa os impactos ambientais negativos do descarte inadequado de bitucas de cigarro, destacando seu papel como uma das principais fontes de poluição urbana devido às substâncias tóxicas e de difícil decomposição presentes nos filtros, que contaminam o solo e a água. A pesquisa propõe soluções baseadas na reciclagem e na compostagem como estratégias para mitigar esses impactos. A reciclagem se apresenta como alternativa para transformar as bitucas em novos produtos, enquanto a compostagem, apesar dos desafios relacionados à composição química dos filtros, demonstra potencial desde que adequadamente adaptada. Além disso, o estudo enfatiza a importância de ações de coleta seletiva e campanhas de conscientização pública para minimizar os danos ambientais e incentivar práticas sustentáveis. A agroecologia é integrada ao trabalho como abordagem central, oferecendo diretrizes para a gestão ecológica de resíduos. Princípios agroecológicos são explorados na aplicação de tecnologias limpas tanto na reciclagem quanto na compostagem, promovendo o fechamento de ciclos de nutrientes e respeitando os ciclos naturais. O trabalho conclui que essas soluções sustentáveis contribuem para a redução da poluição, recuperação ambiental e fortalecimento de práticas alinhadas à sustentabilidade.

Palavras-Chave: Poluição Urbana. Sustentabilidade. Agroecologia. Gestão de Resíduos. Conscientização Ambiental. Tecnologias Limpas. Recuperação de ecossistemas degradados.

1. Introdução

Os problemas ambientais resultantes das atividades industriais, agrícolas e urbanas, como a poluição da água e do ar, a extinção de espécies da fauna e flora, e a degradação da fertilidade do solo, têm gerado crescente preocupação entre ambientalistas, governos e a sociedade em geral. Esse cenário reforça a importância do consumo responsável para mitigar a pegada ambiental das atividades humanas e assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis (IPEA, 2024).

Os impactos ambientais negativos, cada vez mais evidentes no cotidiano, afetam e continuarão afetando significativamente a sobrevivência humana. Por isso, é essencial promover ações educativas que contextualizem esses desafios, capacitando os estudantes e a população em geral a compreenderem e enfrentarem tais questões. Além disso, no caso dos estudantes, a química, frequentemente apontada como causadora de diversos tipos de poluição, deve ser tratada de forma contextualizada e interdisciplinar, considerando que os fatores ambientais envolvem questões sociais, econômicas, culturais e éticas.

Nesse contexto, Vaitsman e Vaitsman (2006) defendem que os impactos ambientais negativos podem despertar o interesse dos alunos para a relevância da química, promovendo um aprendizado dinâmico e alinhado à realidade. É fundamental que os alunos compreendam as verdadeiras causas dos impactos ambientais e suas consequências para si e para a sociedade, reconhecendo a complexidade do tema. A Educação Ambiental (EA), portanto, deve partir do contexto em que os alunos estão inseridos, em um processo dialógico e coletivo que favoreça a participação ativa da comunidade.

A EA contemporânea deve considerar as novas formas de trabalho, comunicação e relacionamento presentes em todos os níveis da sociedade, incorporando suportes e linguagens atuais. As tendências educacionais buscam abordar problemas globais, evoluindo em resposta a acontecimentos políticos e sociais. Nesse sentido, a educação relativa ao meio ambiente está profundamente conectada à conscientização sobre a finitude dos recursos naturais.

Barthes e Lange (2024) destacam que a EA passa por um ciclo: inicialmente restrita ao embate entre agentes econômicos e ativistas, ela se

expande para toda a sociedade civil e organizações governamentais. Esse movimento foi impulsionado pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (1972) e consolidado com o Relatório Brundtland (1987), as Cimeiras⁸ do Rio (1992) e de Joanesburgo (2002)⁹.

A educação para o desenvolvimento sustentável evoluiu em duas fases principais. A primeira, comportamentalista e normativa, foi promovida pela Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável da UNESCO (2004-2014), enfatizando ações práticas, como a separação de resíduos. A segunda, baseada no roteiro global 2015-2030, enfatiza a problematização de questões locais com impacto global. Nos últimos anos, emergências climáticas e a iminência de um "ponto de não retorno" nas mudanças climáticas reforçaram a necessidade de hábitos de consumo sustentáveis e adaptaram as empresas a uma economia de baixa pegada ambiental.

A problemática do descarte incorreto de bitucas de cigarro, embora ainda pouco discutida no contexto da EA, possui impactos expressivos no meio ambiente. Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2022), o tabagismo é responsável por cerca de 90% das mortes por câncer de pulmão. Além disso, as bitucas de cigarro representam cerca de 30% de todo o lixo descartado em vias públicas, bueiros e praias, configurando-se como um dos resíduos mais comuns e tóxicos do mundo.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018), em 2016 havia 1,1 bilhão de fumantes adultos no mundo, em 2024, 1,25 (OMS, 2025), número praticamente inalterado desde 2000. Entre eles, destacam-se mais de 24 milhões de fumantes jovens, na faixa etária de 13 a 15 anos, o que evidencia a necessidade de ações educativas urgentes. Globalmente, são descartadas cerca de 4,5 trilhões de bitucas de cigarro por ano, causando danos ao solo, à

⁸Também conhecida como Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) ou simplesmente Eco-92, foi um marco histórico na discussão global sobre meio ambiente e desenvolvimento sustentável. Realizada no Rio de Janeiro, Brasil, entre os dias 3 e 14 de junho de 1992, ela reuniu representantes de 172 países, incluindo chefes de Estado, ONGs e membros da sociedade civil.

⁹ Também conhecida como Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável ou Rio+10, foi uma conferência organizada pela ONU para avaliar os avanços realizados desde a Cimeira do Rio (1992) e reforçar o compromisso global com o desenvolvimento sustentável. Realizada em Joanesburgo, África do Sul, de 26 de agosto a 4 de setembro de 2002, reuniu representantes de governos, organizações internacionais, ONGs e empresas de todo o mundo.

água e ao ar (Figura 1). No Brasil, o cenário é alarmante, com cerca de 12,3 bilhões de bitucas descartadas incorretamente diariamente, segundo dados da Autoridade para as Condições de Trabalho (ACT, 2022).



Figura 1. Cigarros descartados no solo. Fonte: Ciessencia, 2022.

As bitucas de cigarro possuem elementos altamente tóxicos, como o arsênio, que podem contaminar lençóis freáticos ou permanecer em superfícies, comprometendo microrganismos aquáticos. Estudos demonstram que uma única bituca é capaz de poluir até 1,5 litros de água (Moerman, 2009). Adicionalmente, o tempo de decomposição das bitucas varia entre cinco e dez anos, tornando o problema ainda mais crítico.

O impacto ambiental do tabagismo, porém, não se limita ao descarte de bitucas. Durante o cultivo do tabaco, fertilizantes químicos e agrotóxicos são amplamente utilizados, contribuindo para a contaminação do solo e da água. Após o consumo, as bitucas, frequentemente descartadas de forma inadequada, são responsáveis por incêndios florestais em períodos de estiagem, intensificando os danos ambientais (Souza; Conegero, 2009).

Além dos prejuízos ecológicos, o tabagismo gera altos custos econômicos. Nos Estados Unidos, estima-se que o manejo do lixo de fumantes custe aproximadamente US\$ 4 bilhões anuais (ACT, 2022). No Brasil, um estudo realizado pela Fiocruz estimou que, em 2011, o tabagismo gerou custos de R\$ 21 bilhões ao sistema de saúde (Pinto; Riviere, 2011). De acordo com o Portal Gov.br (2023), o tabagismo gera custos de bilhões de reais ao sistema de saúde

brasileiro. Em 2022, o Instituto Nacional do Câncer (Inca) estimou que o tabagismo custou R\$ 153,5 bilhões ao país (R\$ 67,2 bilhões, o equivalente a 7% de todo o gasto com saúde; e R\$ 86,3 bilhões em custos indiretos decorrentes da perda de produtividade devida à morte prematura e incapacidade e cuidado informal).

Para mitigar esses impactos, é fundamental investir em programas antitabagismo e criar soluções para o descarte adequado das bitucas de cigarro. A reciclagem dessas pontas, por meio de tratamentos que eliminam elementos químicos e contaminantes, pode transformá-las em matéria-prima para a produção de papel, artesanato e tecidos. Assim, além de reduzir os prejuízos ambientais, essas práticas promovem a economia circular.

Este trabalho busca destacar o tabagismo não apenas como um problema de saúde pública, mas também como um agravante ambiental, apontando alternativas sustentáveis relacionadas às bitucas de cigarro, seu descarte e reciclagem. Além disso, propõe abordar a agroecologia e a educação ambiental como ferramentas essenciais para conscientizar a sociedade sobre os prejuízos ao solo e à água, promovendo práticas mais responsáveis e sustentáveis.

2. Os malefícios do cigarro para a saúde e para o Meio Ambiente

O tabagismo, além de ser um dos maiores fatores de risco para doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), apresenta impactos profundos na saúde pública e no meio ambiente. Segundo o *National Cancer Institute* (2016), o tabagismo é responsável por 6 milhões de mortes anuais, estando associado a 75% dos casos de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), 22% das mortes por câncer em adultos e 10% das mortes por doenças cardíacas. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2025) mostram que 1,25 bilhão de fumantes adultos existiam em 2024, número que permaneceu praticamente estável desde 2000, enquanto em 2020, 22,3% da população mundial ainda utilizava tabaco.

A questão do tabagismo transcende os impactos individuais de saúde, englobando também prejuízos ambientais, como a poluição causada pelo descarte inadequado de bitucas de cigarro. Estima-se que 4,5 trilhões de bitucas

são descartadas anualmente em todo o mundo, representando o lixo mais comum no planeta, com potenciais danos ao solo, à água e à biodiversidade (Figura 2).



Figura 2. Peixe morto devido à ingestão de bitucas de cigarros. Fonte: Fonte sustentável, 2020.

➤ **Medidas de redução do consumo de tabaco**

A Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) aponta que a conscientização é uma ferramenta essencial para a redução do consumo. Estratégias bem-sucedidas incluem:

- ✓ Advertências visuais: Imagens de alerta nas embalagens de cigarro informam os consumidores sobre os riscos à saúde (Figura 3).
- ✓ Proibição de publicidade: Restringir a propaganda de produtos derivados do tabaco.
- ✓ Aumento de impostos: Medida que desestimula o consumo devido ao encarecimento do produto.
- ✓ Combate ao comércio ilícito: Evitar a circulação de produtos de tabaco não regulamentados.

➤ **Serviços de Cessação do Tabagismo**

A OPAS destaca que, atualmente, 23 países possuem serviços nacionais para cessação do tabagismo, com cobertura total ou parcial de custos. Esses

serviços, associados a campanhas educativas, ajudam a reduzir a prevalência de fumantes e os impactos negativos do tabaco.

Com base nesse panorama, a promoção da educação ambiental e de práticas sustentáveis pode auxiliar na mitigação dos danos causados pelo tabaco, tanto em termos de saúde pública quanto ambiental. O correto descarte e reciclagem de bitucas de cigarro, por exemplo, são medidas importantes para minimizar os impactos ambientais e promover um ciclo sustentável.

De acordo com a OPAS/OMS (2017), o Brasil atualizou as imagens de advertência nos rótulos dos cigarros e de outros produtos derivados do tabaco em 2017. Essas imagens refletem o compromisso do governo brasileiro em evidenciar os danos que o cigarro causa à saúde, utilizando-se de metáforas impactantes para provocar reflexão nos consumidores (Figura 3).



Figura 3. Malefícios do cigarro. Fonte: Bing, 2018.

No que diz respeito aos impostos, a OMS implementa tributação elevada sobre o tabaco e oferece serviços de apoio para ajudar as pessoas a abandoná-lo. Segundo a OPAS (2022), o cigarro brasileiro era o sexto mais barato do mundo. Contudo, a partir de 2007, os tributos sobre os cigarros aumentaram significativamente. Em 2011, uma lei nacional e um decreto modificaram a estrutura tributária, ampliando a participação dos impostos no preço final do produto. Atualmente, sessenta países buscam atingir a meta global de reduzir em 30% o uso do tabaco entre 2010 e 2025 (OMS, 2021).

Conforme dados da FIOCRUZ, o tabagismo é responsável por diversas mortes causadas por cânceres de pulmão, boca, laringe, esôfago, estômago, pâncreas, rim e bexiga, além de doenças respiratórias obstrutivas como

bronquite crônica e enfisema pulmonar. O tabaco também está associado à cerca de 50 doenças, principalmente cardiovasculares, como hipertensão, infarto, angina e derrame. Ademais, reduz as defesas do organismo, aumentando a susceptibilidade a doenças como gripe e tuberculose, e pode causar impotência sexual.

Durante a gravidez, o tabagismo traz sérios riscos para a gestante e o feto. A exposição ao monóxido de carbono e à nicotina pode causar abortos espontâneos, nascimentos prematuros, bebês de baixo peso, mortes fetais e de recém-nascidos, gravidez ectópica, deslocamento prematuro da placenta, placenta prévia e sangramentos. Um único cigarro consumido pela gestante pode, em poucos minutos, acelerar os batimentos cardíacos do feto devido aos efeitos da nicotina. Gestantes fumantes passivas também estão sujeitas a esses riscos, pois absorvem substâncias tóxicas da fumaça, que chegam ao feto pelo sangue. Durante a amamentação, a nicotina também pode ser transmitida ao bebê pelo leite materno.

Os impactos econômicos do tabagismo também são significativos. O custo total, que inclui gastos com saúde e perdas de produtividade, é estimado em cerca de US\$ 1,4 trilhão anuais, o equivalente a 1,8% do PIB mundial. Quase 40% desse custo incidem sobre países em desenvolvimento, evidenciando a grande carga enfrentada por essas nações (OMS, 2022).

Além dos danos à saúde, o tabaco também prejudica o meio ambiente. Segundo a OMS (2022), a indústria do tabaco causa a perda de mais de 8 milhões de vidas humanas, 600 milhões de árvores, 200 mil ha de terra, 22 bilhões de toneladas de água e 84 milhões de toneladas de CO₂ anualmente. A maior parte do tabaco é cultivada em países de baixa e média renda, onde terras e água, essenciais para a produção de alimentos, são desviadas para o cultivo de tabaco. No Brasil, 94% da produção nacional de tabaco provêm de pequenos produtores da agricultura familiar (RURAL, 2021).

O relatório da OMS (2022), "Tobacco: Poisoning our planet", destaca que o processamento e transporte de tabaco correspondem a um quinto do CO₂ produzido pela indústria aérea comercial anualmente, agravando o aquecimento global. Desde a preparação da terra para o cultivo até o ciclo de vida do produto,

o tabaco gera degradação ambiental significativa em escala global (Drope *et al.*, 2018).

Particularmente no caso do solo, há de se considerar que é um recurso essencial para a vida no planeta, desempenhando funções indispensáveis aos serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes, filtragem de água e captura de carbono. Essas funções contribuem significativamente para a biodiversidade, a produção de alimentos, a regulação climática e o bem-estar humano. Além disso, o solo abriga uma rica diversidade de organismos, cuja microbiota é fundamental para a saúde das plantas e a produtividade agrícola, fortalecendo a segurança alimentar (Manda *et al.*, 2023).

No entanto, práticas agrícolas inadequadas, poluição e mudanças climáticas ameaçam a integridade dos solos, destacando a necessidade urgente de estratégias voltadas à sua conservação e recuperação como base para a sustentabilidade global (Gama, 2023).

No Brasil, a plantação de tabaco é um dos principais cultivos responsáveis pelo uso da terra, causando perdas de vegetação, ao lado da soja e do trigo. Na região Sul, durante as décadas de 1970 e 1980, cerca de 12 a 15 mil ha de florestas nativas foram derrubados anualmente, representando cerca de 95% da produção nacional. No geral, o cultivo de tabaco no sul do Brasil contribuiu substancialmente para a redução da cobertura florestal nativa para menos de 2% de sua extensão original. Além do desmatamento, o cultivo de tabaco degrada o solo mais do que outras culturas alimentares e comerciais, esgotando os nutrientes do solo mais rapidamente, incluindo nitrogênio, potássio e fósforo (OMS, 2017).

Além dos efeitos da fumaça dos cigarros que, quando fumados, lançam no ar diversos poluentes, os produtos de tabaco (bitucas) são os itens mais espalhados no planeta, contendo mais de 7.000 produtos químicos tóxicos. Cerca de 4,5 trilhões de filtros de cigarro poluem os oceanos, rios, calçadas de cidades, parques, solo e praias todos os anos. Os filtros de cigarro contêm microplásticos e compõem a segunda forma mais alta de poluição plástica em todo o mundo. A OMS (2022) ainda destaca que cigarros eletrônicos e produtos como tabaco sem fumo também aumentam o acúmulo de poluição plástica no ambiente.

Nos últimos 20 anos, os microplásticos e nanoplásticos¹⁰ emergiram como um desafio global devido ao aumento exponencial da poluição plástica. Estima-se que aproximadamente 51 trilhões de partículas microplásticas estejam dispersas no ambiente, propagando-se com facilidade, contaminando não apenas o solo, mas também as águas doces, o ar, os ambientes marinhos e costeiros, bem como em organismos marinhos. Essa ampla dispersão torna sua identificação e remoção uma tarefa complexa. (TIRKEY; UPADHYAY, 2021).

3. Educação Ambiental

A preocupação com a questão ambiental não é recente. No início dos anos da década de 1960, com diferentes modelos econômicos, exploração e devastação, os problemas ambientais já eram bem notáveis. No entanto, ainda não se falava em Educação Ambiental (EA). Somente em março de 1965, durante a Conferência de Educação realizada na Universidade de Keele, na Grã-Bretanha, usou-se, pela primeira vez, o termo EA, deixando claro que ela deveria vir a se tornar essencial na educação de todos (EFFETING, 2007; MMA, 2008).

Para Layrargues (2003), foi nesse período que a crise ambiental se tornou cada vez mais evidente, sobretudo em função da intensificação dos impactos ambientais resultantes das atividades humanas. Nesse contexto, a necessidade de se introduzir na educação dos cidadãos princípios básicos de Ecologia e de conservação dos recursos naturais, levou ao surgimento da EA. De acordo com Silva (2008), em relação aos conceitos de EA, os principais ainda estavam em fase de construção àquela época, encontrando-se inúmeras definições para definir esta área e suas múltiplas práticas educacionais.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente: “Educação Ambiental é um processo permanente, a partir do qual a comunidade toma consciência de forma global, do meio ambiente em que vive e adquirem conhecimentos, valores, habilidades, experiências e determinação, que os tornam capazes de agir de forma individual e coletiva para resolver problemas ambientais presentes e futuros”. Além disso, a EA vincula o educando com a comunidade,

¹⁰ Nanoplásticos são partículas de plástico com tamanho entre 1 e 1.000 nanômetros, ou seja, até 0,001 milímetros. São formados quando produtos plásticos se degradam, o que pode acontecer devido a fatores ambientais, como a exposição à luz solar, ou pelo desgaste mecânico.

desenvolvendo nele habilidades e atitudes para transformação da sua realidade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - Conferência Sub Regional de Educação para a Educação Secundária Chosica/Peru 1976).

A EA, segundo o documento final da Conferência de Tbilisi (1977), é o resultado de uma reorientação e articulação das diversas disciplinas e experiências educativas que facilitam a percepção integrada do meio ambiente, fazendo possível uma ação mais racional e capaz a responder às necessidades sociais (MMA, 2008).

A EA surgiu como resposta às necessidades de se fomentar discussões sobre os problemas ambientais globais, principalmente nas escolas, como forma de assegurar um futuro equilibrado entre a humanidade e a existência do planeta. (BRITO, 2016)

Para Gonçalves (1996, p.95), “a questão ambiental, na verdade, diz respeito ao modo como a sociedade se relaciona com a natureza. Assim, a questão ambiental coloca a necessidade de uma maior reflexão sobre o seu lugar no campo do conhecimento, não podendo ser reduzida ao campo específico de uma única ciência, ela convoca a depor diversos campos do saber”.

Levando em consideração que a questão ambiental exige reflexão no campo do conhecimento, Sousa e Fernandes (2015) *apud* Brito (2016), reiteram que a escola é um espaço privilegiado para estabelecer conexões e informações, como uma das possibilidades para criar condições e alternativas que estimulem os alunos a terem concepções e posturas cidadãs, cientes de suas responsabilidades e, principalmente, perceberem-se como integrantes do meio ambiente.

O ensino da Química, bem como o das demais ciências, requer uma ação pedagógica voltada para o desenvolvimento integral do aluno, ou seja, a escola promove ações para que sejam trabalhados os aspectos que abranjam não só os esforços sociais, psicológicos, pedagógicos, mas também os afetivos, procurando, com isso, construir cidadãos críticos que têm possibilidades de adaptar-se à sua realidade e transformá-la construtivamente (Santos *et al.*, 2011). Além disso, a Química pode ser um instrumento pelo qual a EA pode ser

vista como um processo de permanente aprendizagem, que valoriza as diversas áreas do conhecimento e forma cidadãos conscientes.

Ainda nas palavras do autor supracitado, a obtenção do conhecimento e do aprendizado só acontece por intermédio da interação do estudante com o docente. O professor precisa desenvolver conteúdos significativos em sala de aula para estimular situações desafiadoras, que pressupõem interações com os alunos e deles entre si e com o conhecimento. Além disso, é importante abordar conceitos relacionados com o cotidiano, de forma a facilitar a compreensão de situação-problema; uma vez que, o cotidiano é “comum” para o aluno e ao relacionar o comum com o aprendizado, é mais efetivo (Santos *et al.*, 2011).

O estudante deve ser incentivado a perceber as causas dos problemas ambientais (Brasil, 1998) para agir em prol da preservação da natureza e da sociedade. A abordagem da EA parte do contexto de que o aluno se encontra na forma de um processo dialógico, em que a solução é construída coletivamente, favorecendo a participação de toda comunidade.

Dias (2002) afirma que a EA estimula o exercício pleno da cidadania e resgata o surgimento de novos valores que tornam a sociedade mais justa e sustentável. Esta afirmação mostra a necessidade de se contribuir para a formação de sujeitos críticos que busquem a preservação da vida, do planeta e melhores condições sociais para a existência humana. Afirma ainda que o ensino da Química, por meio de temas geradores, tais como os impactos ambientais, facilita as discussões e a abordagem de conteúdo e viabiliza a construção de conceitos relevantes para a melhoria da qualidade de vida.

4. Impactos ambientais causados pela bituca do cigarro

Desde a antiguidade o homem gera lixo e resíduos, sendo a sua produção inevitável. No entanto, há muito tempo o lixo tem sido produzido por uma sociedade que não sabe manejá-lo de forma adequada, trazendo como consequências efeitos prejudiciais ao homem e ao meio-ambiente. Um exemplo disso é o acúmulo de lixo em ruas e imediações da cidade desde a Idade Média. Esta situação foi uma das causas de graves epidemias que mataram milhões de pessoas naquela época (Fadini, 2001).

De acordo com esse mesmo autor, após a Revolução Industrial, o aumento de centros urbanos e o crescimento contínuo de produtos industrializados e descartáveis causaram um impacto ambiental preocupante. No Brasil o lixo sempre foi um problema. Em 1760, a cidade do Rio de Janeiro já contava com cerca de 30 mil habitantes e o lixo produzido era jogado pelas janelas ou nas águas dos rios, lagoas ou mar. Em 1885, o francês Aleixo Gary foi contratado, provisoriamente, para executar o serviço de limpeza das praias e a remoção do lixo da cidade do Rio de Janeiro. Do seu nome, veio denominação popular de gari para os varredores de rua.

A variedade do lixo gerado é enorme: lixo em estado sólido, semissólido e semilíquido são depositados, principalmente, em lixões próximos aos centros urbanos; rejeitos radioativos são isolados em áreas de controle, lixos residenciais e rejeitos industriais são jogados em rios e lagos sem nenhum tratamento, baterias e pilhas, em grande parte, são depositadas em lixo comum. Enfim, existem várias fontes e tipos de contaminação crescente e contínua. Ar, terra, plantas, animais e, principalmente, água recebem, sem controle, o lixo antrópico gerado (*ibidem*).

Embora seja inevitável a produção de lixo pelo ser humano, é necessário o descarte correto do lixo para que o mesmo não traga efeitos prejudiciais para os seres humanos e ao meio ambiente. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o consumo de produtos derivados do tabaco não prejudica somente a saúde das pessoas, mas também causa um "enorme dano" ao meio ambiente.

A bituca de cigarro é um lixo sólido urbano e tóxico, considerada também um lixo orgânico pela sua composição e como microlixo bastante volumoso. Contém mais de 4700 substâncias tóxicas, químicas e radioativas, que prejudicam o solo, contaminam rios e córregos, além de causarem mortes de animais aquáticos, que confundem a bituca de cigarro com alimento, chegando a óbito em decorrência de obstruções do trato gastrointestinal (Bezerra; Bibanco; Bondioli, 2009) (Figura 4).

Além da bituca é fato que o cigarro causa grande impacto ambiental; sua embalagem é feita de papel vegetal e celofane e os filtros são compostos de acetato de celulose, com tempos de decomposição de 5 a 10 anos e 2 a 5 anos, respectivamente. Durante seu plantio e cultivo, são utilizados fertilizantes

químicos e agrotóxicos em grandes quantidades para tornar o solo propício para tais atividades. Tais medidas causam danos como a contaminação do solo e da água. Além disso, após o seu consumo, as pontas de cigarro, quando descartadas de forma inapropriada, continuam causando graves danos ao meio ambiente como os frequentes incêndios que ocorrem em períodos de baixa precipitação pluviométrica. (Souza; Conegero, 2009).



Figura 4. Remoção de 60kg de microlixo de praias de Santos, SP, em 26/01/2019. Fonte: <https://www.lignumambientaljr.com.br/2020/01/09/microlixo/>.

As bitucas de cigarro podem ser letais para os microrganismos de água doce. Estudos demonstram que uma bituca pode contaminar 1,5 litros de água, aproximadamente (Moerman, 2009) (Figura 5).



Figura 5. Os perigos da bituca de cigarro. Fonte: <https://peticaopublica.com.br/pview.aspx?pi=BR75073>.

O correto descarte e a destinação das bitucas de cigarro podem reduzir estes problemas. O resíduo pode ser reciclado, passando por tratamentos que retiram os elementos químicos e qualquer outro item que possa ser contaminante, além de transformá-los em matéria-prima, como o papel, artesanato e tecido.

Boeira (2002) aponta como um dos problemas ambientais a emissão de gases por meio da queima da lenha durante a cura do tabaco (Figura 6). No Sul do Brasil são utilizados, em média, 1,8 milhões de toneladas de lenha por safra para a cura do tabaco. Cada mil estufas queimam cerca de 50 mil metros cúbicos de árvores nativas ou reflorestadas, por safra. Em 1992, a Souza Cruz confirmou que a safra catarinense consumiria cerca de 9 milhões de árvores. Todavia, cabe ressaltar que toda queima de árvore gera poluição, que as queimadas também reduzem a biodiversidade e que as matas nativas não são garantidas pelo reflorestamento.



Figura 6. Fire-cured (cura ao fogo): as folhas são expostas ao fogo e à fumaça.

Fonte: <https://docachimbo.blogspot.com/2010/03/as-curas-do-tabaco.html>.

Técnicos da Souza Cruz confirmam que, em certas propriedades, agricultores derrubam árvores nativas para plantar espécies de crescimento rápido, podendo assim, utilizá-las como combustível, ou mesmo vendê-las (Boeira, 2006). A maioria (59,1%) dos fumicultores utilizava árvores nativas da Mata Atlântica em 1998, no Vale do Itajaí, SC, segundo pesquisa junto aos

técnicos dessa empresa. Percebe-se o predomínio do interesse comercial de curto prazo sobre a consciência ambiental. Entretanto, de forma paradoxal, o setor industrial tem assumido maiores iniciativas que o setor público, com pesquisas para diminuir os níveis de toxicidade dos agrotóxicos utilizados, política de controle ambiental, fundamentalmente reflorestamento e programas de educação ambiental no meio rural (Boeira, 2003).

No caso do setor fumageiro essas iniciativas fazem parte de suas estratégias de marketing visando, especialmente, obter uma boa imagem no mercado globalizado e garantir o fornecimento sistemático de matéria-prima (Boeira, 2002).

A legislação ambiental, em 1999, passou a obrigar os fabricantes a darem destino final para suas embalagens vazias de agrotóxicos, por meio de reciclagem ou incineração. Os comerciantes e, neste caso, as indústrias fumageiras, devem receber as embalagens dos produtos devolvidos pelos agricultores, que estão obrigados, por lei, a devolverem recipientes ao comerciante ou local credenciado para o recebimento, logo após a utilização do produto (Silva, 2004).

Segundo Schoenhals, Fallador e Silva (2009), o setor fumageiro vem atuando no que refere à política ambiental: a) na redução da quantidade de agrotóxicos nas lavouras de fumo; b) no recolhimento de embalagens de agrotóxicos; c) na orientação sobre correto uso, manejo e conservação do solo e dos recursos hídricos; e d) no fomento ao reflorestamento e incentivo à preservação das matas nativas.

Uma destinação adequada desses materiais, utilizando a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, pode minimizar danos ao meio ambiente e a saúde, conforme a política nacional de resíduos sólidos (PNRS, 2010). No entanto, o problema não é somente o descarte inadequado, nem tampouco a legislação, e sim a falta de conscientização das pessoas, que descartam as bitucas no chão. A ausência de lixeira e recipientes para o descarte correto dos filtros também é problemática porque resulta no aumento das bitucas descartadas nas ruas, calçadas e praias das cidades.

5. A reciclagem e a bituca de cigarro

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, a reciclagem é um conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados e, ou, sem utilidade, que reintroduzem produtos no ciclo produtivo (PNRS, 2010). Como alternativas de tratamento de resíduos sólidos, tem-se a compostagem, aterro sanitário, incineração e reciclagem. Dentre elas, a reciclagem é uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos mais vantajosas, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social, pois reduz o consumo de recursos naturais, economiza energia e água, além de diminuir o volume de lixo e empregar pessoas. Além disso, o lixo tem se tornado um dos problemas ambientais mais graves da atualidade, principalmente nos grandes centros urbanos, atingindo quantidades espantosas, como 14 milhões de quilos coletados diariamente na Cidade de São Paulo.

Além disso, os locais para disposição de todo esse material estão se esgotando, exigindo iniciativas urgentes para a redução da quantidade enviada para os aterros sanitários, aterros clandestinos ou lixões. Com isso, a reciclagem é uma forma bastante eficaz pra diminuir este problema, pois transforma o lixo em insumos e produtos que podem ser usados, além de diversas vantagens ambientais, emprego, contribuição para economia dos recursos naturais e bem estar da sociedade.

Ainda segundo o Ministério do Meio Ambiente, cerca de 1/3 de todo o “lixo” é composto de materiais recicláveis como vidro, papel, plástico e latas, com valores de mercado, porque são reaproveitados como matéria-prima no processo de fabricação de novos produtos.

A reciclagem envolve uma série de atividades tais como coleta, seleção, processamento e obtenção de uma nova matéria-prima. Para Fadini (2001) os benefícios obtidos por meio da reciclagem são: a diminuição do volume de lixo depositado em aterros; a preservação dos recursos naturais (diminuição do consumo de matérias-primas virgens); economia de energia; diminuição da poluição do ar e da água; geração de empregos através de cooperativas e indústrias recicladoras.

Em vários países já são conhecidos inúmeros programas para a conscientização da população e da reutilização do lixo. A Conferência Internacional da Organização das Nações Unidas (ONU), realizada em Istambul de 3 a 14 de junho de 1996, discutiu planos de ação para enfrentar os problemas urbanos em cidades de 150 países. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010) determina que todo material produzido pelas atividades domésticas e comerciais que, só devem ser conduzidos para destinação final apenas quando não é possível seu reaproveitamento, seja por meio da reciclagem, da reutilização, da compostagem ou da geração de energia - somente quando não existir tecnologias viáveis os resíduos devem ser destinados a aterros sanitários.

Porém, do volume produzido em 2016, quase 30 milhões de toneladas não tiveram a destinação adequada, representando um percentual de 41,6% do total de lixo gerado, o que transforma os resíduos sólidos em um grave problema ambiental. Em 2022, esse número ainda representava 40% de todo o lixo gerado no Brasil, podendo chegar a 60% no Norte e no Nordeste (Figura 7).



Figura 7. Disposição de lixo no Brasil. Fonte: <https://www.poder360.com.br/poder-infra/brasil-tem-40-do-lixo-descartado-deforma-inadequada/>.

Dentre os materiais possíveis de reciclagem encontrados nos resíduos sólidos urbanos se destacam o papel, o vidro, os plásticos e o metal,

principalmente o alumínio que representa o maior percentual de reciclagem no país: cerca de 97,9% deste resíduo é reciclado, mantendo a liderança mundial nas atividades de reciclagem; seguido pelo Japão, com 77,1%; e Estados Unidos com 64,3%.

A reciclagem é parte importante da solução do problema do lixo, não só no Brasil, mas em qualquer lugar do planeta. Porém, esse processo não depende apenas de um agente, mas sim de vários personagens que precisam atuar de forma consciente e coletiva. O primeiro passo depende da atitude de cada indivíduo: é indispensável que os cidadãos criem o hábito de separar o lixo orgânico do inorgânico e descartá-lo corretamente. Dessa maneira, valorizam-se os materiais destinados ao processo de reciclagem.

Com relação à bituca de cigarro existem hoje, em alguns locais públicos e privados, lugares adequados para o descarte correto da mesma, são os chamados “coletores de bituca”.

O resíduo do cigarro é considerado, por muitas pessoas, como não reciclável. No entanto, já existem técnicas para reciclá-lo e o seu aproveitamento é de 100%. Segundo a Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS), por meio da Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, a bituca do cigarro é considerada “Resíduo sólido”, definida pela lei como sendo:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Esta lei se resume, basicamente, no correto gerenciamento destes resíduos, apontando para uma melhor qualidade de vida e do meio ambiente, além de definir o tratamento adequado para os resíduos, que consiste na coleta seletiva e, em seguida, a reciclagem, uma das maneiras de se destinar corretamente resíduos como a bituca de cigarro.

A reciclagem da bituca do cigarro começa com a coleta seletiva dos resíduos, que pode ser facilitada com a implantação de coletores de bituca nos locais públicos e locais apropriados para fumante. Logo após a coleta, as mesmas são enviadas às indústrias de reciclagem de cigarro para a destinação final. Abaixo seguem as Figuras 8 a 10 desses coletores de bituca como exemplo.



Figuras 8 e 9. Coletores de Bituca uma empresa privada na cidade de São José do Rio Preto. Fonte: Acervo Hayume Emanuelle M. Brito, 2024.



Figura 10. Porta Bitucas: concepção de um acadêmico de Biologia da UnB em 2002. Fonte: UnB, 2002.

A primeira iniciativa de reciclagem de pontas de cigarro foi realizada em 2013 pela empresa TerraCycle, em Trenton, Nova Jersey, criada por Tom Szaky. A empresa coleta e transforma bitucas em plástico. O processo de reciclagem consiste em extrair da bituca o acetato de celulose, material plástico usado no filtro. No Brasil, a iniciativa pioneira de reciclagem de bitucas de cigarro teve lugar na cidade de Votorantim (SP), a primeira do Brasil a ter uma usina de reciclagem de bitucas de cigarro. O projeto, 100% nacional, desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Brasília, transforma o material em papel. O município já conta com inúmeras caixas coletoras dos resíduos, o que facilita o descarte ecologicamente correto das bitucas.

Para Pires, Gagliard e Gorzoni (2004), o correto gerenciamento deste resíduo deve levar em consideração todos os componentes químicos nele retidos, além do odor. Contudo, o processo de reciclagem da bituca passa por tratamentos que retiram os elementos químicos e qualquer outro item que possa ser contaminante, transformando-os em matéria-prima como papel, cimento, artesanato e tecido.

Um dos processos de reutilização destes resíduos é a hidrossemeadura, no qual o restante do tabaco, o filtro e o papel são separados por um processo mecânico, e todo o resíduo é colocado em um biodigestor por cerca de 90 h, com bactérias específicas que quebram as toxinas e as retiram dos resíduos. Os filtros compõem uma manta de sustentação nos locais degradados, enquanto o papel e restos de tabaco são usados como fertilizantes aplicáveis na mesma área em que a manta está sendo usada (Hori, 2011).

Em 2015, a empresa Eco Prática idealizou o projeto "POA sem Bituca". A ideia era contribuir com a limpeza da cidade e, ao mesmo tempo, garantir uma destinação final correta para as bitucas de cigarro. A destinação do material tinha como alvo uma iniciativa inédita implantada no país: a produção de cimento. A ação se resume nas seguintes etapas: I) instalação de coletores de resíduos de cigarro, também chamados bituqueiras; II) recolhimento das bitucas pela empresa em Porto Alegre; e III) encaminhamento dos resíduos para uma unidade de coprocessamento, em Nova Santa Rita.

Outro processo é a produção de papel artesanal. Este processo se inicia com a mistura das bitucas com soda cáustica e água oxigenada. Após um

processo de cozimento, a pasta resultante deve ser espalhada e seca naturalmente, o que resulta no papel (Kranz, 2004).

Além de compostagem e adubagem, as bitucas podem ser rentáveis fontes de celulose microcristalina, um produto amplamente utilizado como matéria-prima de espessantes na alimentação enteral e mesmo em curativos modernos na área da saúde.

Destaca-se o potencial econômico da reciclagem e exploração comercial do resíduo do descarte de bitucas de cigarro, a partir dos estudos de Ogundare, Moodley e Van Zyl (2017). Segundo os autores, as bitucas descartadas no meio ambiente são uma fonte viável de celulose, sendo possível, em laboratório, isolar celulose nanocristalina de alta qualidade das amostras. Isso demonstra o potencial econômico do resíduo, aliando sustentabilidade e geração de renda à preservação ambiental.

Além de ações governamentais para a coleta seletiva das bitucas e sua obtenção nas vias urbanas e locais onde são descartadas, a iniciativa privada pode gerar todo um nicho econômico de coleta e processamento do material, criando novos empregos e, concomitantemente, retirando da natureza um dos resíduos mais poluentes e numerosos no ambiente urbano.

Segundo Castro e Ribeiro (2023), trilhões de bitucas ainda são descartadas anualmente em todo o mundo. Ainda referente ao estudo desses mesmos autores, considerando que cada bituca tem 0,5g, o descarte total de bitucas passa das 500 mil toneladas, que poderiam ser descartadas na coleta seletiva ou retiradas da natureza para a fabricação de celulose microcristalina. O valor estimado de retorno, dado o alto valor agregado da celulose microcristalina, seria de cerca de 985 bilhões de reais. Com efeito, a economia sustentável é realmente lucrativa e viável do ponto de vista econômico e sustentável.

6. A reciclagem do cigarro

Há vários componentes na bituca do cigarro: papel, filtro (composto de acetato de celulose), cinzas, restos de tabaco, entre outros. A partir daí é feito um processo de digestão alcalina e nesse processo o acetato de celulose é hidrolisado, voltando a ser celulose. A celulose do papel que tem em volta do

filtro é desagregada e o tabaco também sofre uma digestão alcalina, liberando a celulose contida. Resta uma massa sólida de celulose e um licor alcalino no qual os compostos da bituca (principalmente os mais tóxicos), serão dissolvidos, inclusive a cinza é dissolvida no licor alcalino. Resta, então, a massa de celulose, que se transforma em papel.

Existem várias formas de reciclar a bituca do cigarro e os resultados (produto final) são diversos, como, papel, cimento, plástico, adubo dentre outros. Na Tabela 1 destacam-se as principais indústrias de reciclagem de cigarro no Brasil, sua unidade e produto final.

Tabela 1. Principais indústrias de reciclagem de cigarro no Brasil

Empresa	Unidade	Produto Final
Poiato Recicla	Votorantim (SP)	Papel
Escola Técnica Estadual de Heliópolis	São Paulo (SP)	Papel
Conspizza, Poiato Recicla	Uberlândia (MG)	Adubo
Eco Prática	Porto Alegre	Cimento
Ecocity	Votorantim (SP)	Hidro-semeadura
Bituca Verde	São Paulo	Carvão

Fonte: Os autores.

A Poiato Recicla produz papel por meio das bitucas de cigarro. Após uma triagem as bitucas são colocadas em um caldeirão com água e uma solução química, que faz a desintoxicação. Após 5 horas, fervendo a 100°C, a mistura descansa e se resfria. Logo depois é peneirada e lavada em tanques. Desse processo sai uma massa celulósica que resulta em uma folha de papel A4 a partir de 25 bitucas (Figuras 11 e 12).

Kranz (2004) descreve, de forma sucinta, este processo e afirma que o mesmo se inicia a partir da mistura das bitucas com soda cáustica e água oxigenada. Após um processo de cozimento, a pasta resultante deve ser espalhada e seca naturalmente, tendo como resultado o papel.



Figuras 11 e 12. Bitucas se transformam em papel após processo de reciclagem.

Fonte: Reprodução/TV TEM, 2016.

Estudantes de administração da Escola Técnica Estadual de Heliópolis, em São Paulo, por meio de projetos e pesquisas científicas também desenvolveram formas de reciclagem de bitucas. Descobriram, por exemplo, como transformar estes resíduos em pasta de celulose ou papel semente. Neste processo 300 unidades do resíduo de bituca produzem sete folhas em tamanho A4, aproximadamente, uma folha a partir de 43 bitucas.

6.1. Adubo como produto de reciclagem da bituca

O mesmo projeto, iniciado em Votorantim (SP), da empresa Poiato Recicla, que obtinha o papel como produto final, foi adaptado para se obter adubo. Neste caso o material é recolhido regularmente e encaminhado para outra parceira, a Conspizza, de Uberlândia (MG), onde as bitucas são submetidas a um processo de descontaminação, compostagem, trituração e normalização para que sejam retirados os metais pesados e outros componentes agressivos. Em seguida, os restos de cigarro são misturados a um composto orgânico e resíduos vegetais. É um processo parecido com o processo de compostagem de resíduos orgânicos comuns. Após a normalização e estabilização, o resíduo de bituca tem sua carga tóxica neutralizada, podendo ser usado para aplicação no solo (Poiato Recicla, 2022).

6.2. Cimento como produto de reciclagem da bituca

Em 2015 a empresa Eco Prática idealizou o projeto "POA sem Bituca". A ideia era contribuir com a limpeza da cidade e, ao mesmo tempo, garantir uma destinação final correta das bitucas de cigarro. O destino do material tinha como alvo a produção de cimento. A ação tem início com a instalação de coletores de bituca de cigarro (Figura 13). Em seguida as bitucas, recolhidas pela empresa em Porto Alegre, são encaminhadas para uma unidade de coprocessamento em Nova Santa Rita. Lá as bitucas passam pelo procedimento de coprocessamento, que produz uma mistura que passa a ser usada nas fornalhas. A mistura tem um alto potencial de combustão e é usada na produção de cimento.



Figura 13. Coletor de bitucas na cidade de São Sebastião-SP. Fonte: Acervo Hayume Emanuelle M. Brito, 2020.

6.3. Hidrossemeadura como produto de reciclagem da bituca

A hidrossemeadura é um processo de revestimento vegetal, que consiste na aplicação de uma massa pastosa, composta por fertilizantes, sementes, adesivos e matéria orgânica viva, lançada por jato de alta pressão, que adere à superfície, formando uma camada protetora, fixando as sementes e demais componentes, e agindo como um escudo contra a ação da chuva, vento e outros agentes causadores da erosão (Tonon *et al.*, 2012).

No caso da hidrossemeadura a partir de resíduos do cigarro, o restante do tabaco, o filtro e o papel são separados por um processo mecânico e todo o resíduo é colocado em um biodigestor por 90 horas, em contato com bactérias específicas que quebram as toxinas, retirando-as dos resíduos que serão separados. Os filtros irão compor uma manta de sustentação nos locais degradados e o papel e restos de tabaco serão usados como fertilizantes que, posteriormente, poderão ser aplicados na mesma área em que a manta está sendo usada (Hori, 2011).

6.4. Bituca Verde

A Bituca Verde é uma empresa de reciclagem de bitucas, criada em São Paulo em 2010. É uma iniciativa sustentável que recicla mais de 700 quilos de bitucas por ano. A iniciativa começou com a proposta de fabricação e venda de cinzeiros externos e específicos para coleta de bitucas de cigarro. A partir da iniciativa, a Bituca Verde decidiu “abrir espaço para ações mais conscientes de preservação ambiental” (Russo, 2010). O projeto começa com a coleta das bitucas. A seguir elas passam por um tratamento químico, resultando em um produto que substitui o carvão em fornos de indústrias cimenteiras. A empresa explicita que qualquer um pode se tornar parceiro, basta ter um coletor específico para o resíduo.

6.5. Sementuca

Outro projeto de reciclagem de bitucas de cigarro, é o projeto chamado “Sementuca”, que transforma os resíduos de bituca em folhas de papel. É um projeto desenvolvido por três estudantes de uma Escola Técnica em Heliópolis (SP). O objetivo do projeto é reutilizar as bitucas de cigarros descartadas na capital. Os jovens relatam que a ideia veio depois da Lei Antifumo, que entrou em vigor em agosto de 2009, período em que houve aumento no descarte das bitucas nas ruas.

O projeto foi desenvolvido no curso de Administração e contribuiu para a aprendizagem de Química pelos estudantes, principalmente dos conceitos

necessários para o desenvolvimento do projeto. No experimento foram utilizadas 200 gramas de bitucas (cerca de 300 bitucas), que resultaram em sete folhas de papel em tamanho A4, aproximadamente 43 bitucas para obter uma folha de papel neste tamanho. Em resumo, o experimento consiste na “limpeza” das bitucas, mergulhando-as em uma solução química que tira o odor do fumo. Em seguida, são levadas ao forno, onde é formada uma pasta de celulose. Os estudantes usaram para a reciclagem metade de papel reciclado e a outra metade de bitucas, mas afirmam que o processo pode ser feito apenas com bitucas.

O projeto foi apresentado na 6.^a Feira Tecnológica do Centro Paula de Souza, Expo Barra Funda. Foram apresentados mais de 280 projetos de escolas técnicas do Estado. O mesmo foi apresentado também na Feira do Empreendedor, promovida pelo Sebrae, em São Paulo, um projeto que pretende reutilizar as bitucas nas indústrias siderúrgica e cimenteira.

6.7. Cigarro Biodegradável

Além das empresas que reciclam o cigarro, existem outras iniciativas sustentáveis com o objetivo de reduzir o impacto ambiental das bitucas descartadas. Uma dessas propostas é a CiggSeeds, um conjunto de cigarros que contém sementes de flores no interior e filtros biodegradáveis. Após serem descartadas, as bitucas germinam e florescem, contribuindo para a recuperação do ambiente. O projeto foi desenvolvido pelo designer inglês Ben Norman, que acredita que a iniciativa ajuda a evitar a degradação do solo e da paisagem natural. No entanto, Norman destaca que, embora o projeto seja positivo para o meio ambiente, ele não elimina os riscos de doenças e morte para os fumantes, evidenciando que questões de saúde e de preservação ambiental nem sempre caminham juntas (Figuras 14 e 15).

O projeto de hortas agroecológicas realizado no Centro de Referência de Assistência Social (CRAS) de Burarama, no distrito de Cachoeiro de Itapemirim, com crianças de 11 a 14 anos, teve um foco pedagógico. A experiência evidenciou o papel fundamental das hortas agroecológicas no processo de

ensino-aprendizagem, atuando como uma ferramenta para incentivar práticas socioambientais e promover uma alimentação saudável.



Figuras 14 e 15. Cigarro Biodegradável. Fonte: CiggSeeds, 2022.

7. Considerações

O presente trabalho proporcionou uma análise abrangente dos impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado das bitucas de cigarro, destacando seu potencial poluente e os riscos que representam tanto para o meio ambiente quanto para a saúde pública. As bitucas, compostas por uma série de substâncias tóxicas e de difícil degradação, representam uma das formas mais comuns de poluição em áreas urbanas, exigindo urgentemente um manejo adequado para mitigar seus impactos.

A pesquisa demonstrou que as soluções tradicionais de descarte, como o envio a aterros sanitários, são insuficientes para lidar com a magnitude do problema, o que torna imprescindível a busca por alternativas mais sustentáveis. Nesse cenário, a reciclagem e a compostagem emergem como estratégias promissoras. A reciclagem das bitucas pode permitir a reutilização de seus componentes, gerando novos produtos e diminuindo a pressão sobre os recursos naturais. A compostagem, por sua vez, embora envolva desafios devido à toxicidade dos filtros e às substâncias químicas presentes, tem grande potencial se adaptada a processos controlados e criteriosos, alinhando-se a princípios semelhantes aos da agroecologia.

A agroecologia, por sua vez, se revelou um conceito essencial para a discussão, pois propõe uma integração entre práticas agrícolas e sustentabilidade ambiental. Aplicada ao manejo de resíduos como as bitucas de cigarro, ela oferece uma visão sistêmica que permite a compostagem e o reaproveitamento desses resíduos dentro de um ciclo fechado. Esse modelo de economia circular, no qual o descarte de um processo alimenta outro, visa não apenas minimizar os impactos ambientais, mas também promover uma abordagem integrada que considere os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Um aspecto relevante ressaltado neste trabalho foi a importância da educação ambiental e da conscientização pública na transformação dos hábitos da sociedade. A pesquisa revelou que uma grande parte da população ainda desconhece os efeitos nocivos das bitucas no meio ambiente, o que reforça a urgência de campanhas educativas que incentivem o descarte correto, a coleta seletiva e a valorização de soluções sustentáveis, como a reciclagem e compostagem. Além disso, políticas públicas que regulamentem o descarte das bitucas e promovam práticas de economia circular são essenciais para a implantação efetiva dessas soluções.

É fundamental que a conscientização sobre o impacto ambiental das bitucas seja ampliada, e que práticas sustentáveis sejam adotadas como parte de uma transformação cultural mais ampla. A implantação de projetos de coleta seletiva, em parceria com o setor privado e a sociedade civil, pode não apenas gerar emprego e renda, mas também promover um ciclo mais sustentável de produção e consumo, criando uma cadeia de valor que reduza os impactos negativos desse resíduo.

Por fim, é recomendável que futuras pesquisas se aprofundem na viabilidade técnica e econômica das soluções propostas, com um foco particular na compostagem, além de explorar o potencial das tecnologias emergentes na gestão dos resíduos de bitucas. Investir em inovação e educação ambiental é crucial para a conscientização pública, reforçando a importância de práticas que promovam um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. A integração de princípios agroecológicos e de economia circular pode ser o caminho para um

futuro mais responsável, onde a preservação ambiental, a saúde pública e a educação caminham juntas.

Conclui-se, portanto, que é possível enfrentar o problema do descarte inadequado das bitucas de cigarro por meio de soluções práticas, viáveis e sustentáveis, como a reciclagem, compostagem e a educação ambiental. Quando bem implantadas, essas iniciativas podem trazer benefícios significativos para a preservação do meio ambiente, contribuindo para um futuro mais equilibrado e responsável, alinhado com os princípios da sustentabilidade.

8. Referências

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Report of the Working Group on Tobacco Additives**. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2014.

BARTHES, A.; LANGE, J. M. Education au développement durable. In: **Dictionnaire critique des enjeux et concepts des «éducations à»**. Paris: L'Harmattan. 2 ème édition revue et augmentée. Paris Éducation, 2024.

BEZERRA, D. P.; BIBANCO, J. F. P.; BONDIOLI, A. C. V. **Dados preliminares sobre a ingestão de material antrópico por tartarugas marinhas na região do complexo estuarino lagunar de Cananéia-SP, Brasil**. IV Jornadas de Investigación y Conservación de Tortugas Marinas del Atlântico Sur Occidental – AOS – 30 de setembro – 1 de outubro de 2009. Mar del Plata, Bs. As, Argentina.

BOEIRA, S. L. **Atrás da cortina de fumaça: tabaco, tabagismo e meio ambiente: estratégias da indústria e dilemas da crítica**. Itajaí: Editora Univali, 2002.

BOEIRA, S. L. Indústria de tabaco e cidadania: confronto entre redes organizacionais. **RAE**, v. 46, n. 3, 2006.

BOEIRA, S. L.; GUIVANT, J. S. Indústria de tabaco, tabagismo e meio ambiente: as redes ante os riscos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** (Embrapa). v. 20, n. 1, 2003.

Brasil. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato_2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Instituto Nacional de Câncer (Inca). **Coordenação de Prevenção e Vigilância - CONPREV**. Programa Nacional de

Controle do Tabagismo e outros Fatores de Risco - Brasil. Rio de Janeiro: Inca; 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Programas Especiais de Saúde. Grupo Assessor para o Controle do Tabagismo no Brasil. **Tabagismo e Saúde**: informação para os profissionais de saúde. Brasília-DF, 1987. Centro de Documentação do Ministério da Saúde. 52p.

BRITO, V. L. T. Importância da Educação Ambiental e Meio Ambiente na Escola: uma percepção da realidade na Escola Municipal Comendador Cortez em Paraíba (PI), **Revista brasileira de educação ambiental (Revbea)**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 22-42, 2016

CASTRO, Í. B. C.; RIBEIRO, V. V. R. **Bitucas de cigarro descartadas**: relações entre impactos ambientais, demografia e mercado em cidades brasileiras altamente urbanizadas. Rio de Janeiro: ACT Promoção da Saúde, 2023.

CIESSENCIA. **Bitucas de cigarro e seus impactos**. Disponível em: <<https://ciessencia.com/meio-ambiente/em-estudo-capitaneado-por-pesquisadores-da-unifesp-bitucas-de-cigarro-compuseram-50-dos-residuos-encontrados-em-mutirao-realizado-em-praia-na-regiao-de-santos-sp/>>. Acesso em: 23 set. 2024.

DIAS, G. F. **Atividades interdisciplinares de educação ambiental**, 3ª Edição, 2006.

DROPE, J.; SCHLUGER, N. W.; CAHN, Z.; DROPE, J.; HAMILL, S. **The Tobacco**, Atlas. 6. ed. Atlanta: American Cancer Society And Vital Strategies, 2018. P.58. Disponível em: <https://tobaccoatlas.org/wp-> Acesso em: 19 set. 2022.

EFFETING, T. R. **Educação Ambiental nas Escolas Públicas**: realidade e desafios. Marechal Cândido Rondon, 2007.

FADINI, P. S. Lixo: Desafios e Compromissos. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. v.1, 2001.

FIOCRUZ. **Tabagismo, o mal da destruição em massa**. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/tabagismo.htm>> Acesso em: 02 jul. 2019.

GAMA, J. T. The Role of Soils in Sustainability, Climate Change, and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. **Ecologies**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 552-567, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4133/4/3/36>. Acesso em: 23 nov. 2024.

GONÇALVES, C. W. P. Um pouco de filosofia no meio ambiente. In: OLIVEIRA, E. M. **Educação Ambiental**: uma possível abordagem. Brasília: IBAMA, 1996. 95 p.

HORI, J. **A cadeia reversa das bitucas**. 2011. Disponível em: <http://iejorgehori.blog.uol.com.br/desenvolvimentosustentavel/arch2011-07-16_2011-07-31.html>. Acesso em: 02 set. 2012.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. **Número de fumantes no Brasil**. Disponível em: <http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/agencianoticias/site/home/noticias/2012/numero_fumantes_no_brasil_cai_pela_primeira_para_menos_de_15_por_cento_segundo_pesquisa_vigitel>. Acesso em: 16 jun. 2019.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. GOMES da SILVA, J. A. **Aditivos em cigarros, notas técnicas para controle do tabagismo**. Rio de Janeiro, Brasil. 2014. 47 p.

INCA. Instituto Nacional do Câncer. **Custos atribuíveis ao tabagismo – agosto de 2022**. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/observatorio-da-politica-nacional-de-controle-do-tabaco/custos-atribuiveis-ao-tabagismo>. Acesso em: 12 set. 2022.

INCA. Instituto Nacional do Câncer. **Programa de Tratamentos**. 2004. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/tabagismo/frameset.asp?item=programa&link=tratamentos.htm>. Acesso em: 9 maio 2019.

INCA. Instituto Nacional do Câncer. **Programa de Tratamentos**. 2004. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/tabagismo/frameset.asp?item=programa&link=tratamentos.htm>. Acesso em: 29 nov. 2018.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Agenda 2030: Objetivos de desenvolvimento sustentável: avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil: ODS 12: consumo responsável – assegurar padrões de consumo e produção sustentável**. Brasília: Ipea, 2024. 19 p. (Cadernos ODS, 12). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS12>

KRANZ, B. **Professora transforma bituca em papel**. 2004. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/>. Acesso em: 29 nov. 2018.

LAYRARGUES, P. P. **A natureza da ideologia e a ideologia da natureza: elementos para uma sociologia da educação ambiental**. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) Universidade de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000293110>. Acesso em: 23 maio 2019.

LEI Nº **12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. 2010.

Lei nº **12.305/10. Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS)**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>> Acesso em: 15 maio 2019.

MANDA, R. R. *et al.* Soil Health Management and Microorganisms: Recent Development. In: SINGH, U. B.; KUMAR, R.; SINGH, H. B. (Org.). **Detection, Diagnosis and Management of Soil-borne Phytopathogens**. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 437-493. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-8307-8_18. Acesso em: 23 nov. 2024.

Ministério da Saúde. **Grupo de Tabagismo**: uma iniciativa para parar de fumar. 2012. Disponível em: <http://www.fw.uri.br/site/publicacoes/publicacoesarquivos/148.pdf#page=14>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Reciclagem**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/destaques/item/7656-reciclagem>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **História da Educação Ambiental**. 2008. Disponível em: WWW.mma.gov.br/ Acesso em: 04 maio 2019.

MOERMAN, J. **Not Just an Eyesore**: Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. 2009. Disponível em: Acesso em: 10 de julho de 2016. Disponível em: http://www.tennessean.com/assets/pdf/DN14664411_13.PDF>. Acesso em: 15 abr. 2019.

OGUNDARE, S. A.; MOODLEY, van Z. Y. L.; WERNER, E. Nanocrystalline cellulose isolated from discarded cigarette filters. **Carbohydrate Polymers**, n. 175, p. 273-281, 2017. ISSN 0144-8617.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **OMS**: 1 em cada 5 pessoas no mundo fuma, 01/06/2018, Disponível em: <https://nacoesunidas.org/oms-1-em-cada-5-pessoas-no-mundo-fuma/> Acesso em: 19 jun. 2019.

OMS. **Tabagismo causa enorme dano ao Meio Ambiente**: alerta OMS. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/tabagismo-causa-enorme-dano-ao-meio-ambiente-alerta-oms,809cf31647dac5e6466f8deff994aeaf3xt17eot.html>. Acesso em: 05 mar. 2019.

PINTO, M.; RIVIERE A. **Custo do Tabagismo para o Brasil**. ACTbr, 2011. Disponível em: http://www.actbr.org.br/uploads/conteudo/721_Relatorio_Carga_do_tabagismo. Acesso em: 14 set. 2022.

PIRES, S. L.; GAGLIARD, R. J.; GORZONI, M. L. Estudo das frequências dos principais fatores de risco para acidente vascular cerebral isquêmico em idosos. **Arq Neuropsiquiatr**, v. 62, n. 3-B, p. 844-851, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/anp/v62n3b/a20v623b.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

SANTOS, P. T. A.; DIAS, J.; LIMA, V. E.; OLIVEIRA, M. J.; NETO, L. J. A.; CELESTINO, V. Q. Lixo e Reciclagem como tema motivador no Ensino de Química. **Eclética Química**, São Paulo, v. 36, n.1, 2011.

SILVA, A. S. Educação Ambiental: aspectos teórico-conceituais, legais e metodológicos. **Educação em Destaque**. Juiz de Fora, v. 1, n. 2, p. 45-61, 2. sem. 2008.

SILVA, C. A. **A produção de fumo na agricultura familiar e os reflexos na saúde do produtor**. 2004. Francisco Beltrão. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Economia Doméstica – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SOUZA CRUZ. Agricultores derrubam árvores nativas para plantar espécies de crescimento rápido. Disponível em: < http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YDBC8?opendocument >. Acesso em: 3 jun. 2019.

SOUZA CRUZ. **Tabaco e seus produtos**: cigarros. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YAEUS>. Acesso em: 11 jan. 2020.

SOUZA CRUZ. **Tabaco e seus produtos**: Impacto e importância econômica. Disponível em: <http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YDBC9>. Acesso em: 11 jan. 2020.

SOUZA, J. C. de A.; CONEGERO, C. I. **Uma experiência interdisciplinar na prevenção e controle do tabagismo no distrito de Salles de Oliveira em 2009**. 2009. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pdf/arquivos/2276-8.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2019.

TIRKEY, A.; UPADHYAY, L. S. B. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. **Marine pollution bulletin**, v. 170, p. 1-12, 2021.

VAITSMAN, E. P.; VAITSMAN, D. S. **Química & Meio Ambiente**: ensino contextualizado. 1. ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

CAPÍTULO 10

Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda

Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Gabriela dos Santos Medeiros, Maurício Novaes Souza, Camilla de Oliveira Souza, Otacílio José Passos Rangel, Graciandre Pereira Pinto, Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, Silvia Aline Bérghamo Xavier

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c10>

Resumo

Este capítulo explora a adoção de Sistemas Agroflorestais (SAFs) como uma estratégia eficaz para a recuperação de áreas degradadas e a promoção da biodiversidade, em um contexto de mudanças climáticas. Os SAFs combinam práticas agrícolas e florestais de maneira sinérgica, resultando em benefícios ambientais substanciais, como a recuperação do solo, o aumento da biodiversidade e o sequestro de carbono. Além de suas contribuições ecológicas, os SAFs oferecem vantagens socioeconômicas, incluindo a diversificação da produção e a geração de renda para pequenos agricultores. Diante da crescente crise ambiental, a implantação de SAFs surge como uma solução promissora para enfrentar desafios históricos e emergentes. Estes sistemas têm o potencial de gerar créditos de carbono e fortalecer as economias locais, ao diversificar as cadeias de valor e torná-las mais resilientes. Por fim, o capítulo destaca a relevância dos SAFs nas políticas de reflorestamento e recuperação ambiental, posicionando-os como uma alternativa sustentável que integra conservação e desenvolvimento socioeconômico, promovendo a restauração de áreas degradadas e a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais.

Palavras-chave: Biodiversidade. Mudanças climáticas. Sequestro e créditos de carbono. Diversificação da produção. Geração de renda. Agricultura familiar. Economia resiliente. Políticas de reflorestamento. Desenvolvimento socioeconômico. Restauração ambiental. Qualidade de vida. Comunidades locais.

1. Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são práticas agrícolas que integram culturas agrícolas com espécies florestais, com ou sem a inclusão de animais, em uma mesma unidade de manejo, cuja organização varia de acordo com o arranjo espacial e temporal adotado durante o plantio (Souza *et al.*, 2020; Crespo; Souza; Silva, 2024). Nesse contexto, árvores, arbustos, plantas agrícolas e animais podem ser manejados de forma conjunta, formando uma rede de interações que simula os ecossistemas naturais e aprimora a biodiversidade. Essa abordagem promove o uso mais sustentável da terra, gerando benefícios tanto para a produção de alimentos quanto para o ambiente (Bigli *et al.*, 2024).

Do ponto de vista ambiental, os SAFs são essenciais para a recuperação e manutenção de ecossistemas, pois contribuem para a melhoria da qualidade do solo, o aumento da biodiversidade, o combate à erosão e a captura do carbono atmosférico. Eles se apresentam como uma solução eficaz contra a degradação do solo e o desmatamento, dado que a associação entre árvores e culturas agrícolas reduz a erodibilidade do solo e auxilia na recuperação de áreas degradadas. Além disso, esses sistemas promovem a conservação da água e o aumento da fertilidade do solo por meio da decomposição de resíduos orgânicos e da fixação de nitrogênio, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos (Macedo, 2013; Crespo; Souza; Silva, 2024).

Os SAFs também desempenham um papel relevante na geração de renda para os produtores rurais, especialmente em áreas de agricultura familiar. Ao diversificar a produção, os agricultores conseguem obter uma variedade de produtos com diferentes ciclos de produção e mercados, diminuindo os riscos financeiros associados à monocultura. Isso ocorre porque as árvores podem oferecer produtos de longo prazo, como madeira, frutos, resinas e plantas medicinais, enquanto as culturas agrícolas podem ser colhidas em ciclos mais curtos. Essa diversidade de produtos permite acesso a mercados locais e mais amplos, contribuindo para a segurança alimentar e reduzindo a vulnerabilidade dos agricultores frente às mudanças climáticas (Albrecht; Kandji, 2003; Arco-Verde; Amaro, 2021; Crespo; Souza; Silva, 2024).

Além da renda adicional, os SAFs impactam positivamente a qualidade de vida e o bem-estar do agricultor e sua família, ao proporcionar um ambiente de trabalho termicamente mais confortável, reduzir a necessidade do uso de agrotóxicos e incentivar a produção de alimentos mais saudáveis (Guimarães; Mendonça, 2019). Esses sistemas possuem também um caráter educativo, promovendo a conscientização sobre a importância das práticas conservacionistas para alcançar o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade na agricultura.

No contexto da agricultura familiar, os SAFs fomentam práticas que são ecologicamente sustentáveis e economicamente viáveis. Esses sistemas estão alinhados aos princípios da agroecologia, que respeitam os processos naturais e buscam integrar a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais. Ao reduzirem a dependência de insumos externos, como fertilizantes químicos e pesticidas, e aumentarem a autonomia dos agricultores, os SAFs tornam-se exemplos de como transformar a agricultura familiar em um modelo produtivo mais sustentável e resiliente.

A agroecologia, como abordagem integrada que inclui o uso de sistemas agroflorestais, enfatiza o cuidado com o meio ambiente, a equidade social e a justiça econômica. Além disso, promove a agricultura orgânica e o fortalecimento das comunidades locais. Nesse sentido, os SAFs configuram-se como uma ferramenta essencial para a agroecologia, ao integrarem a produção de alimentos com a recuperação ambiental e a inclusão social. Eles oferecem uma alternativa sustentável que beneficia o meio ambiente, gera renda adicional e fortalece a agricultura familiar (Altieri, 2009; Bighi *et al.*, 2024; Crespo; Souza; Silva, 2024).

Os SAFs demonstram como as práticas agrícolas podem ser adaptadas para atender às necessidades produtivas, respeitando os limites ecológicos e promovendo a justiça social. Ao incorporar os princípios da agroecologia, esses sistemas contribuem significativamente para a construção de um futuro mais sustentável na produção de alimentos e na conservação dos ecossistemas (Bighi *et al.*, 2024; Crespo; Souza; Silva, 2024).

2. Definição dos SAFs

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são compostos por associações de culturas agrícolas e espécies arbóreas, sendo aplicados tanto na restauração de florestas e recuperação de áreas degradadas, quanto na produção de alimentos (Brasil, 2012). Esse sistema produtivo fundamenta-se nos princípios de sucessão ecológica e apresenta características análogas aos ecossistemas naturais, por meio da utilização de árvores exóticas e, ou, nativas consorciadas com culturas agrícolas, forrageiras, trepadeiras ou espécies arbustivas, conforme um arranjo espacial e temporal previamente estabelecido.

Essa definição é complementada pelo conceito proposto pelo Centro Internacional de Pesquisa em Agrofloresta, que descreve os SAFs como “sistemas de uso da terra e tecnologias onde espécies lenhosas perenes (árvores, arbustos, palmeiras, bambus, etc.) são intencionalmente manejadas nas mesmas áreas que culturas agrícolas e, ou, animais, em alguma forma de arranjo espacial ou sequência temporal.” Assim, os SAFs integram diferentes tipos de cultivo e atividades produtivas, promovendo interações sustentáveis e multifuncionais no uso da terra.

É importante salientar que o componente lenhoso é essencial e obrigatório nos SAFs. Portanto, a ausência de árvores descaracteriza a exploração agrícola como agroflorestal, classificando-a apenas como sistemas consorciados de culturas agrícolas (Damatta *et al.*, 2007; Bigli *et al.*, 2024).

3. Classificação dos SAFs

Os SAFs apresentam uma ampla diversidade de classificações que refletem sua flexibilidade e multifuncionalidade, adaptando-se às necessidades locais e aos objetivos específicos de manejo. Do ponto de vista ecológico, eles podem ser planejados para promover a conservação da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas ou a mitigação de mudanças climáticas. Sob o prisma econômico, os SAFs podem ser orientados para diversificar a produção, reduzir riscos financeiros e aumentar a resiliência dos sistemas produtivos. Em termos funcionais, esses sistemas integram culturas agrícolas, espécies arbóreas e, em alguns casos, criações animais, em arranjos que variam

conforme o espaço e o tempo, atendendo às demandas de curto, médio e longo prazo (SENAR, 2017).

De acordo com esse mesmo autor, as estruturas dos SAFs podem ser categorizadas como silviagrícolas, quando combinam árvores e culturas agrícolas; silvipastoris, quando integram árvores e pastagens para criação de animais; ou agrossilvipastoris, quando associam árvores, cultivos agrícolas e animais em uma mesma área de manejo. Essa diversidade evidencia o potencial dos SAFs como ferramentas para a sustentabilidade, ao equilibrar produtividade, preservação ambiental e inclusão social (Figura 1).

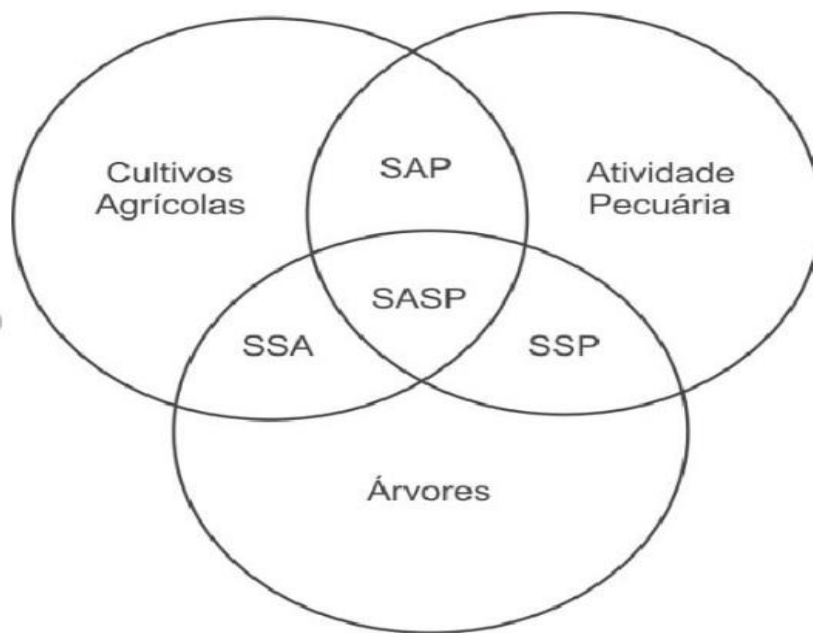


Figura 1. Desenho esquemático da classificação dos SAFs em sistema silviagrícola (SSA), sistema agropastoril (SAP), sistema silvipastoril (SSP) e sistema agrossilvipastoril (SASP). Fonte: <https://www.researchgate.net/>.

3.1. Classificação por aspectos ecológicos, econômicos e funcionais

A classificação dos SAFs pode ser realizada com base em diferentes critérios, abrangendo aspectos ecológicos, econômicos e funcionais, o que reflete a sua versatilidade e potencial para atender a diversos contextos. Sob o ponto de vista ecológico, os SAFs consideram fatores como a localização geográfica, a situação topográfica (terra firme, várzea, áreas montanhosas) e a complexidade biológica, que inclui a interação entre espécies vegetais e animais.

Já os aspectos econômicos classificam os SAFs como sistemas comerciais, voltados para a geração de lucro, de subsistência, que atendem às necessidades alimentares e materiais das famílias produtoras, ou intermediários, que combinam essas duas finalidades (MAPA, 2012, SENAR, 2017).

Por sua vez, de acordo com esses mesmos autores, os aspectos funcionais dividem os SAFs em dois grandes grupos: sistemas de produção, cujo foco está na geração de alimentos, fibras e outros produtos comercializáveis; e sistemas de proteção, destinados à conservação dos recursos naturais, como a recuperação de solos, a proteção hídrica e o sequestro de carbono. Essa categorização evidencia a flexibilidade dos SAFs em integrar objetivos produtivos e ambientais, tornando-os ferramentas indispensáveis para a sustentabilidade em diferentes realidades.

3.2. Classificação com Base no Arranjo

Os arranjos dos SAFs podem ser classificados com base na organização espacial e temporal das espécies.

✓ **Espacial:** no arranjo no espaço, a classificação refere-se à disposição das espécies no campo e pode incluir sistemas contínuos, onde culturas principais são associadas a outras espécies que prestam serviços ecossistêmicos; sistemas zonais, caracterizados por faixas alternadas de espécies; e sistemas mistos, que integram vários componentes no mesmo espaço e em diferentes níveis que simulam uma floresta, garantindo a sucessão de culturas.

✓ **Temporal:** já o arranjo no tempo considera a sequência de estabelecimento das culturas, podendo ser sequencial, como nos sistemas que utilizam seleção de culturas e agroflorestas temporárias, ou simultâneo, em que cultivos perenes e anuais coexistem na mesma área.

3.3. Classificação com Base na Estrutura

Os **SISTEMAS SILVIAGRÍCOLAS** são definidos pela associação de indivíduos florestais com cultivos agrícolas, integrando árvores e palmeiras,

sejam elas nativas ou exóticas, com diferentes tipos de plantas agrícolas. Essa estrutura visa à produção de alimentos e de produtos florestais, tanto madeireiros quanto não madeireiros, como frutos, resinas, gomas, castanhas, sementes e flores, promovendo um sistema produtivo diversificado e sustentável (Figura 2).



Figura 2. Sistema silviagrícola desenvolvido no Sítio Gravel, localizado em Guaçuí/ES. Foto: Dayane Fernandes Salgado. Fonte: Silva *et al.*, 2020.

Os **SISTEMAS SILVIPASTORIS** são caracterizados pela integração de componentes florestais com atividades de pecuária, formando um arranjo que combina árvores, arbustos e palmeiras com pastagens destinadas ao manejo de gado e outros animais. Esse tipo de sistema produtivo oferece benefícios significativos, como melhorias na qualidade do solo, aumento da biodiversidade, controle da erosão e promoção do bem-estar animal, uma vez que a presença de árvores proporciona sombra e abrigo, reduzindo o estresse térmico nos animais (Figura 3).

Além disso, esses sistemas promovem o sequestro de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, e oferecem alternativas econômicas aos produtores, como a obtenção de produtos florestais madeireiros e não madeireiros. No entanto, a implementação dos sistemas silvipastoris exige planejamento cuidadoso, incluindo a seleção de espécies arbóreas adequadas

e o monitoramento do desenvolvimento das árvores. É essencial garantir que todas as árvores tenham altura suficiente para evitar danos causados pelo pisoteio ou pela alimentação dos animais, assegurando a sustentabilidade e a eficiência do sistema ao longo do tempo.



Figura 3. Sistema silvipastoril desenvolvido há 23 anos em uma propriedade localizada em Tupanciretã/RS, com o uso de acácia-negra. Foto: Fernando Dias. Fonte: Lussani, 2023.

Os **SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS** integram cultivos agrícolas, espécies florestais e atividades de pecuária em uma mesma unidade produtiva, formando uma estrutura mais complexa e dinâmica. Essa combinação permite a maximização do uso da terra, ao mesmo tempo em que promove a diversificação da produção, garantindo a comercialização de diferentes produtos ao longo do ano. A diversidade de componentes no sistema contribui para a melhoria da qualidade ambiental, pois os elementos florestais ajudam na conservação do solo, no controle da erosão, na captura de carbono e no aumento da biodiversidade local.

Além disso, a integração das atividades de pecuária com a agricultura e as espécies florestais proporciona uma gestão mais eficiente dos recursos, ao mesmo tempo em que reduz os riscos econômicos para os produtores, já que a diversidade de produtos pode ser uma forma de proteger a produção contra oscilações de mercado ou mudanças climáticas. No entanto, devido à sua

complexidade, os sistemas agrossilvipastoris exigem um planejamento cuidadoso para garantir que todos os componentes interajam de forma sustentável e produtiva (Figura 4).

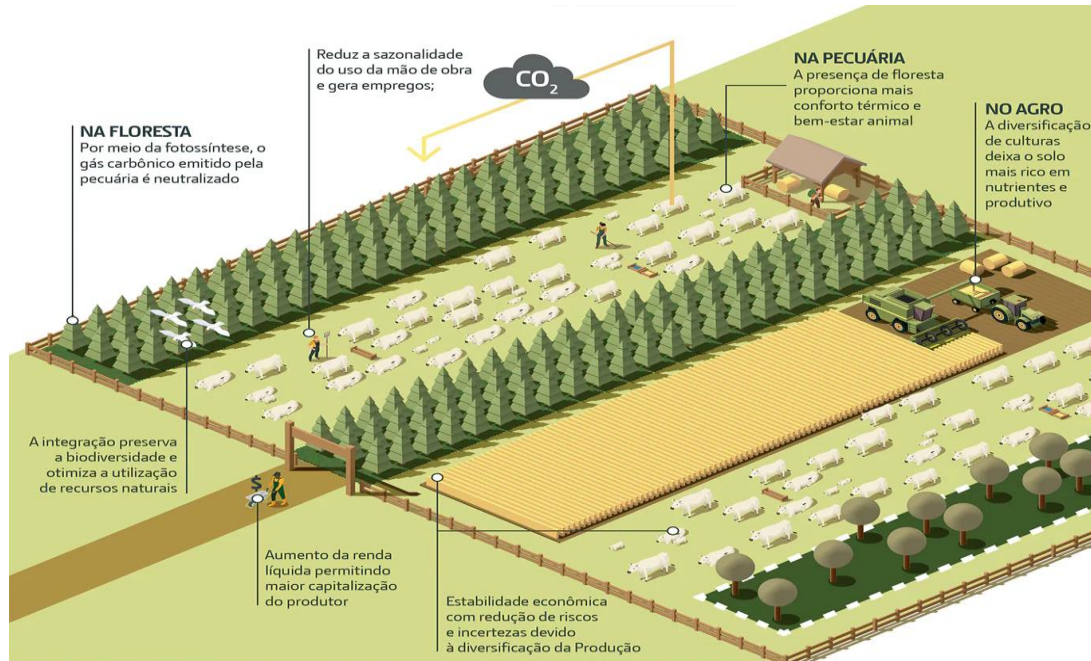


Figura 4. Benefícios de sistemas agrossilvipastoris. Fonte: John Deere, 2025.

4. Benefícios Ecológicos dos SAFs

A erosão do solo é um dos principais problemas ambientais que afetam os ecossistemas terrestres, levando à perda de partículas que são transportadas pelas forças do vento e da chuva, o que resulta no assoreamento de rios, lagos e reservatórios. O assoreamento prejudica o fluxo natural da água, afetando a fauna e a flora aquáticas e circundantes, além de exigir dragagem para manter a funcionalidade dos ecossistemas hídricos (Souza, 2024).

A erosão também intensifica o processo de lixiviação, que pode contaminar os lençóis freáticos e os cursos d'água devido ao uso excessivo de fertilizantes químicos de alta solubilidade na agricultura convencional (Morgan, 2005; Guerra *et al.*, 2017). Segundo Pereira *et al.* (2016), esse problema ocorre tanto superficialmente, por meio do escoamento das partículas do solo, quanto subsuperficialmente, por meio da lixiviação de nutrientes minerais, comprometendo a qualidade do solo e da água.

O desmatamento e o uso intensivo do solo por práticas agrícolas convencionais também agravam a degradação dos ecossistemas. Dados do IBGE (2020) indicam que, nos últimos 20 anos, a cobertura florestal do Brasil foi reduzida em 7,6%, reflexo da expansão das fronteiras agropecuárias. A expansão descontrolada da agropecuária contribuiu para a compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação da água subterrânea e perda de biodiversidade, resultando em alterações significativas nos ecossistemas, que são ainda mais agravadas por eventos climáticos extremos, como as intensas chuvas que têm atingido o país (Cunha, 2018).

Nesse contexto, os SAFs surgem como uma solução promissora para mitigar os impactos climáticos e promover a restauração dos ecossistemas. Graças à presença diversificada de espécies vegetais, como árvores, arbustos e culturas agrícolas, os SAFs oferecem uma cobertura eficaz do solo, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial (Franco *et al.*, 2022).

A interação entre essas espécies também favorece a agregação das partículas do solo, garantindo maior estabilidade e menor suscetibilidade à erosão. Além disso, o constante aporte de resíduos orgânicos, resultante das podas das árvores presentes nos SAFs, enriquece a fertilidade do solo por meio da ciclagem de nutrientes, criando barreiras físicas contra chuvas erosivas. Esse processo melhora a infiltração e a retenção de água, contribuindo para a conservação da umidade do solo ao longo do tempo (Machado *et al.*, 2021).

A conservação da umidade do solo estimula a atividade microbiana, o processo de decomposição e o acúmulo de carbono orgânico, tornando o solo um eficiente sumidouro de carbono. A ciclagem de nutrientes também desempenha papel fundamental nos SAFs, com as árvores sendo essenciais para a quantidade e disponibilidade de nutrientes para as culturas associadas. Nos ecossistemas florestais, a ciclagem de nutrientes é um processo dinâmico e contínuo, envolvendo transformações químicas, geológicas e biológicas, em que os nutrientes são obtidos da atmosfera, fixados biologicamente ou liberados pelo intemperismo, sendo perdidos por lixiviação, volatilização e reações similares (Dantas, 1994).

Nesse processo, o vasto sistema radicular das árvores transporta nutrientes das diferentes profundidades do solo, fixa nitrogênio e outros nutrientes essenciais, que posteriormente serão disponibilizados para as plantas associadas. As raízes das árvores também melhoram a estrutura do solo, aumentando sua porosidade, agregação e aeração, o que favorece a infiltração e retenção de água, além de reduzir perdas por erosão e lixiviação (Bighi *et al.*, 2024).

Em conjunto com o estrato herbáceo e a serapilheira, as árvores atuam como reguladoras da temperatura e do balanço hídrico do solo (Ovalle; Avendaño, 1994). As florestas também oferecem alimento e habitat para diversas espécies de animais, criando um ambiente complexo e biodiverso, essencial para a manutenção da ciclagem de nutrientes e o controle biológico natural de pragas (Guimarães; Mendonça, 2019).

A diversificação vegetal contribui para a preservação das populações de fauna, evitando a defaunação, um processo intensificado pelas atividades antrópicas, que compromete os serviços ecossistêmicos, como a polinização, dispersão de sementes, controle de pragas e ciclagem de nutrientes (Bello *et al.*, 2015). Nas florestas tropicais, como as encontradas no Brasil, a manutenção da fauna é fundamental para o armazenamento de carbono no solo e o aumento da resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas.

Além disso, as árvores desempenham um papel crucial como barreiras naturais, agindo como quebra-ventos que protegem as lavouras contra os efeitos adversos de ventos fortes (Umrani; Jain, 2010). Nos sistemas integrados com animais, as árvores ainda oferecem sombra, proporcionando maior conforto térmico e bem-estar aos animais (Gonçalves; Oliveira; Souza, 2024).

Se as práticas de manejo convencionais intensificam a degradação dos solos e a perda de biodiversidade, comprometendo a funcionalidade dos ecossistemas, os SAFs representam uma estratégia sustentável capaz de restaurar áreas degradadas, promovendo a resiliência ambiental (Stefanoski *et al.*, 2013; Guerra, 2016; Antonelli *et al.*, 2018). Assim, a implementação de ações voltadas à restauração florestal e ao manejo agroecológico do solo, como a adoção dos SAFs, é essencial para recuperar áreas degradadas e promover a sustentabilidade na agricultura.

5. Benefícios Econômicos dos SAFs

Os SAFs oferecem uma série de benefícios econômicos que tornam esses sistemas altamente atrativos para os produtores. Ao integrar culturas agrícolas com espécies florestais, os SAFs não apenas aumentam a produtividade das unidades produtivas, mas também diversificam as fontes de renda, o que ajuda a reduzir os riscos financeiros associados a uma dependência de uma única cultura. A diversificação da produção permite que os produtores acessem diferentes mercados ao longo do ano, promovendo uma comercialização mais constante e menos vulnerável às flutuações do mercado agrícola (Bigghi *et al.*, 2024; Crespo; Souza; Silva, 2024).

Além disso, de acordo com esses mesmos autores, os SAFs melhoram a fertilidade do solo, o que reduz a necessidade de insumos externos, como fertilizantes e defensivos químicos, e conseqüentemente, diminui os custos de produção. A utilização de árvores e outras espécies vegetais também contribui para a manutenção de um solo mais saudável e fértil, com o benefício adicional de promover a ciclagem de nutrientes, o que resulta em uma maior eficiência no uso de recursos naturais.

Outra vantagem significativa dos SAFs é a possibilidade de comercialização de produtos de maior valor agregado. Frutas, madeiras, óleos essenciais, mel e outros produtos originados da diversidade de espécies nos SAFs podem ser vendidos em mercados diferenciados, que valorizam a sustentabilidade e a produção orgânica, o que pode significar preços mais altos e uma maior margem de lucro para os produtores.

Além de contribuir para a diversidade de produtos e a redução de custos, os SAFs também proporcionam maior resiliência econômica, uma vez que a integração de diferentes culturas e produtos torna a produção menos vulnerável aos impactos de fatores climáticos adversos. A capacidade de adaptação e resistência a mudanças climáticas, como secas e chuvas excessivas, torna os SAFs uma alternativa vantajosa para garantir a estabilidade e a sustentabilidade financeira do produtor, mesmo diante de incertezas ambientais e econômicas. Dessa forma, os SAFs oferecem uma abordagem integrada que alia ganhos econômicos, sustentabilidade ambiental e segurança alimentar, promovendo um modelo de produção mais equilibrado e resiliente.

5.1. Benefícios nutritivos e comerciais

De acordo com a Lei nº 11.346 de 15 de setembro de 2006, que estabelece o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (Brasil, 2006), alimentação é compreendida como o direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, que respeitem a diversidade cultural e promovam a saúde. Esse conceito abrange a garantia de práticas alimentares sustentáveis, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, e deve ser acompanhado por políticas públicas que considerem as dimensões ambientais, culturais, econômicas, regionais e sociais (Figura 5).



Figura 5. SAF em desenvolvimento: espécies arbóreas, frutíferas e olerícolas.
Fonte: Dário Rodrigues, 2024.

Estudos indicam que a insegurança alimentar no Brasil tem aumentado de forma significativa, afetando 12% da população em 2017, o que equivale a 25 milhões de brasileiros sem acesso a alimentos adequados em suas casas (FAO *et al.*, 2023). Este quadro é ainda mais grave para a população de menor poder aquisitivo, que enfrenta grandes dificuldades para garantir uma alimentação

saudável e suficiente. A insegurança alimentar, que se agrava em contextos de conflitos geopolíticos, mudanças climáticas e a insustentabilidade dos modelos de produção convencionais, exigem soluções alternativas e sustentáveis para melhorar o acesso à alimentação.

Neste contexto, os SAFs têm se mostrado uma alternativa viável e sustentável, capaz de fornecer alimentos mais acessíveis, nutritivos e diversificados. Ao integrar árvores e outras espécies florestais a cultivos agrícolas, os SAFs oferecem aos agricultores uma dieta mais equilibrada e diversificada, além de aumentar a segurança alimentar, pois os agricultores podem acessar uma gama mais ampla de produtos ao longo do ano, reduzindo a dependência de uma única cultura.

Além disso, ao integrar práticas agroecológicas, os SAFs promovem a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas, como secas e chuvas excessivas, e ainda contribuem para a segurança econômica dos produtores. A diversificação das culturas também reduz os riscos financeiros, pois o agricultor não depende de um único produto para sua renda, podendo comercializar uma variedade de produtos (Grazel Filho, 2008; Costa *et al.*, 2024).

Portanto, ao promoverem a segurança alimentar e nutricional, os SAFs têm o potencial de se constituir como uma política pública eficaz no combate à insegurança alimentar, enquanto contribuem para a sustentabilidade da agricultura. Essa abordagem não só beneficia os agricultores diretamente, mas também colabora para a saúde e bem-estar das comunidades, além de promover práticas agrícolas mais resilientes e ambientalmente responsáveis (Barbosa; Santos, 2022).

5.2. Combate à crise climática e geração de créditos de carbono

O Protocolo de Kyoto, estabelecido em 1997 durante a 3ª Conferência das Partes (COP 3), foi um marco importante no combate às mudanças climáticas, ao estabelecer metas internacionais para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Limiro, 2009). Para facilitar o cumprimento dessas metas, o protocolo introduziu três mecanismos de flexibilização: o Comércio de Emissões (CE), a Implementação Conjunta (IC) e o Mecanismo de

Desenvolvimento Limpo (MDL) (Seiffert, 2009). Estes mecanismos possibilitaram a criação de um mercado global de carbono, com transações de "Créditos de Carbono" ou "Reduções Certificadas de Emissões" (RCEs), sendo uma nova "moeda" que gerou transações comerciais expressivas (Simoni, 2009; Santos; Beuren; Haussmann, 2011).

O mercado de carbono, especialmente após a implementação do Protocolo de Kyoto, viu um crescimento significativo. Em 2006, o mercado movimentou cerca de US\$32 bilhões, e em 2008, esse número superou os US\$126 bilhões (Carpoor; Ambrosi, 2008; Bayon; Hawn; Hamilton, 2009). O Brasil se destacou nesse mercado, exportando US\$750 milhões em créditos de carbono em 2009, com destaque para países como a Suíça, Reino Unido, Holanda e Japão (Silva Junior, 2011; Souza; Silva Junior; Andrade, 2010). O país foi um dos pioneiros na implementação de políticas para o MDL e criou a Comissão Interministerial de Mudança Climática Global (CIMGC), que gerencia as negociações e aprova projetos de MDL, atraindo investimentos para o mercado de carbono (MCT, 2010). Dados recentes sugerem que o Brasil, o plano para este mercado tem capacidade de movimentar até US\$ 2 bilhões, o equivalente a 12 bilhões de reais na próxima década, impulsionando setores estratégicos e atraindo investimentos internacionais.

Além disso, durante a COP 15, em 2009, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir suas emissões de GEE em 36,1% a 38,9% até 2020 em relação aos níveis de 2005, lançando o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) para promover práticas agrícolas sustentáveis (MCT, 2010; MAPA, 2012). Em novembro de 2025, a capital do estado do Pará vai sediar a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 30), um evento de relevância global, presidido pelo Brasil, que coloca a cidade e o país em destaque no cenário internacional.

Os SAFs, ao integrar o manejo de florestas com atividades agrícolas, têm sido apontados como soluções eficientes para a mitigação das mudanças climáticas. Esses sistemas contribuem para o sequestro de carbono através da fotossíntese das florestas, armazenando grandes quantidades de carbono na biomassa. Um hectare de floresta tropical pode armazenar cerca de 224 toneladas de biomassa, contendo aproximadamente 110 toneladas de carbono

(Guedes; Seehusen, 2011). Assim, os SAFs não só ajudam a recuperar áreas degradadas, mas também oferecem a possibilidade de gerar créditos de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e o mercado de carbono (Ribaski *et al.*, 2013) (Figura 6).

Entretanto, o mercado de carbono ainda enfrenta desafios relacionados à regulamentação e à transparência das transações. No Brasil, as negociações acontecem sem clareza jurídica ou tributária (Souza; Alvarez; Andrade, 2013), e o mercado sofre variações de preço, como observado em 2006, quando as cotações caíram drasticamente (Souza; Alvarez; Andrade, 2013). É necessário um debate mais amplo sobre a regulamentação dos projetos de MDL, considerando os aspectos tributários e econômicos, a fim de garantir a eficiência e estabilidade do mercado de carbono (Coelho *et al.*, 2008).

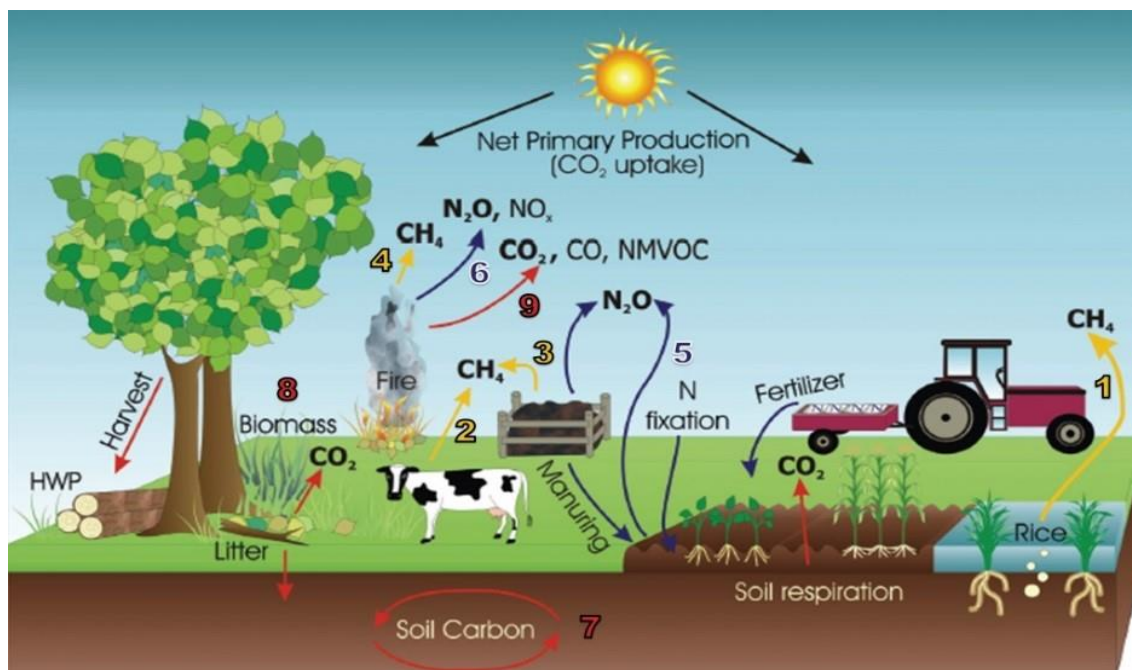


Figura 6. As atividades agrícolas que emitem GEE (CH_4 , N_2O e CO_2) e as emissões e remoções (CO_2) por mudança de uso da terra e, ou, manejo que alteram os estoques de carbono da biomassa e dos solos. Fonte: *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: <https://assifertors.com.br/manejo-do-solo-e-o-sequestro-de-carbono/>.

As práticas agroecológicas de manejo do solo e o reflorestamento são, portanto, fundamentais para a captura e fixação de carbono, representando uma

estratégia eficaz tanto para a sustentabilidade agrícola quanto para a mitigação das mudanças climáticas (IPCC, 2023).

6. Etapas de planejamento e desenvolvimento de SAFs em áreas degradadas

De acordo com o Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989, uma área degradada é aquela que sofreu alterações em suas características ecológicas, produtivas e/ou estruturais devido a ações antrópicas (Brasil, 1989). Essas alterações podem ser temporárias ou definitivas e comprometem a composição, estrutura e funcionamento do ecossistema.

Uma das práticas adotadas para a recuperação de áreas degradadas é a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). O PRAD pode ser preventivo ou corretivo e constitui parte obrigatória do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Seu objetivo principal é criar um roteiro sistemático com informações e especificações técnicas organizadas em etapas lógicas, orientando a tecnologia de recuperação ambiental para alcançar os resultados esperados (Souza, 2024b).

Por ser um documento técnico, é recomendado que o PRAD apresente os seguintes elementos: introdução, objetivos, metas, metodologia, sistema de monitoramento e avaliação, cronograma de execução, recursos materiais, humanos e financeiros, além de anexos contendo fotos, ilustrações, mapas e outras informações relevantes (Hahn, 2004; Souza; Fonseca, 2023).

O processo de recuperação ambiental é complexo, demandando tempo, recursos financeiros, mão de obra qualificada e tecnologia. Ele também requer uma equipe multidisciplinar capaz de identificar os diversos fatores relacionados à área a ser recuperada, como características do solo, da água, da fauna, da flora e as modificações inerentes ao processo que causaram ou causarão os distúrbios (Souza, 2024b).

De acordo com Almeida (2016), o PRAD é estruturado em etapas que vão desde o diagnóstico inicial até a implementação de ações para a reconstituição do ambiente. As etapas iniciais incluem:

- ✓ Identificação dos agentes de degradação: levantamento dos fatores que provocaram e continuam provocando a degradação da área.
- ✓ Delimitação das áreas de influência: definição das áreas diretamente afetadas, onde serão concentrados os estudos e diagnósticos físicos, biológicos e socioeconômicos.
- ✓ Avaliação do grau de degradação: exame do estado atual do solo e da vegetação, incluindo sua capacidade de regeneração.

Após essas fases iniciais, o PRAD segue para a elaboração do projeto de recuperação, composto por (Almeida, 2016; Souza; Fonseca, 2023):

- ✓ Parte introdutória: resumo geral, introdução dos objetivos e metas, caracterização da região e descrição da equipe técnica envolvida.
- ✓ Caracterização do empreendimento: informações detalhadas sobre a área degradada, a atividade que causou a degradação, o licenciamento ambiental e os métodos de exploração utilizados.
- ✓ Diagnóstico ambiental: observações e levantamentos em campo, identificando os impactos e analisando o solo, fauna, flora e características do meio físico e socioeconômico.
- ✓ Plano de recuperação: descrição das ações para mitigar os impactos ambientais, como recomposição topográfica e paisagística, tratamentos da superfície final, medidas de contenção de erosão e recuperação do solo.
- ✓ Monitoramento e avaliação: sistema contínuo de acompanhamento dos resultados, com indicadores físicos, químicos e biológicos para avaliar a evolução da recuperação.

No caso dos SAFs, como estratégia para a recuperação de áreas degradadas, é essencial considerar seus diferentes aspectos, arranjos e estruturas, que influenciam diretamente na escolha das espécies, no desenho da paisagem e na produtividade. Segundo Tiecher (2016), arranjos simplificados, com espécies florestais mais conhecidas, como o eucalipto, podem atrair produtores interessados em iniciar a implantação desses sistemas (Figura 7).



Figura 7. Inícios dos trabalhos de recuperação em uma área degradada visando sua recuperação. Fonte: Dário Rodrigues, 2024.

A sustentabilidade dos SAFs também depende do manejo e dos processos sucessionais. Para Gliessman (2009), compreender esses processos é capital para promover a sustentabilidade do agroecossistema. O manejo deve respeitar e potencializar as sucessões naturais da região. A introdução ou retirada de espécies no sistema deve ser fundamentada em suas funções ecofisiológicas, adaptando-as às condições locais e aos papéis desempenhados nos diferentes estágios sucessionais (Vaz, 2000).

Para otimizar o manejo sucessório, Gliessman (2009) propõe uma série de estágios:

- ✓ Estágios iniciais: plantio de culturas anuais de rápido crescimento, como feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) ou feijão-guandu (*Cajanus cajan*), para captar nutrientes e preparar o solo.
- ✓ Culturas pioneiras: introdução de espécies como ingá (*Inga edulis*) e capixingui (*Croton floribundus*), que exploram diferentes profundidades do solo e atraem diversidade biológica.
- ✓ Espécies perenes de curta duração: como juçara (*Euterpe edulis*) e pitanga (*Eugenia uniflora*), promovendo diversidade e melhorando a qualidade do solo.

✓ Espécies perenes de longa duração: como jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*) e pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), criando um ambiente estável.

Essas sugestões, específicas para o bioma Mata Atlântica, não devem ser aplicadas universalmente.

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA (2019), em estágios mais avançados, o sistema pode evoluir a ponto de ser mantido como está ou manejado para retornar a estágios anteriores. Ao longo do tempo, os SAFs passam por transformações significativas, que exigem planos de manejo contínuos, flexíveis e adaptados às condições atuais.

7. Considerações

A adoção de SAFs como estratégia de manejo sustentável é uma solução eficaz tanto para a recuperação de áreas degradadas quanto para a promoção da biodiversidade, proporcionando benefícios ecológicos e socioeconômicos. Esses sistemas desempenham um papel fundamental na segurança alimentar ao viabilizar uma produção diversificada, saudável e sustentável, que não apenas atende às necessidades nutricionais, mas também gera renda extra para os pequenos agricultores, fortalecendo as economias locais e criando cadeias de valores resilientes às flutuações do mercado. Além disso, os SAFs apresentam potencial para contribuir com a geração de créditos de carbono, agregando valor econômico às práticas sustentáveis.

A implantação de SAFs está alinhada com a Estratégia e Plano de Ações Nacionais para a Biodiversidade (EPANB) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que prevê, até 2030, a restauração efetiva de pelo menos 30% das zonas de ecossistemas degradados. Essa meta reflete o compromisso com a melhoria da biodiversidade, das funções e serviços dos ecossistemas e da conectividade ecológica, posicionando os SAFs como instrumentos estratégicos para alcançar objetivos globais de conservação e recuperação ambiental.

Embora desafiador, o trabalho com SAFs demonstra um grande potencial para promover a recuperação de áreas degradadas e a sustentabilidade econômica em longo prazo. Para que isso ocorra de maneira eficiente, é

indispensável um planejamento cuidadoso que considere as características locais, a escolha adequada de espécies, as tecnologias disponíveis e os objetivos específicos do agricultor. Dessa forma, os SAFs integram práticas agrícolas e florestais em um arranjo harmonioso, resultando em equilíbrio ambiental, conservação dos recursos naturais, redução de riscos de erosão, melhoria da qualidade do solo e da água, aumento da produtividade e geração de renda. Com sua capacidade de equilibrar conservação e produção, os SAFs consolidam-se como uma abordagem essencial para o desenvolvimento sustentável na agropecuária.

8. Referências

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, n. 1-3, p. 15-27, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)

ALMEIDA, D. S. de. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3 ed. Ilhéus: Editus, 2016, 200 p.

ALTIERI, M. A. **Agroecology**: The Science of Sustainable Agriculture. Boca Raton: CRC Press, 2009. <https://doi.org/10.1201/9780429495465>

ANTONELLI, A.; KISSLING, W. D.; FLANTUA, S. G. A.; BERMÚDEZ, M. A.; MULCH, A.; MUELLNER-RIEHL, A. N.; KREFT, H.; LINDER, H. P.; BADGLEY, C.; FJELDSÅ, J.; FRITZ, S. A.; RAHBK, C.; HERMAN, F.; HOOGHIEMSTRA, H.; HOORN, C. Influências geológicas e climáticas na biodiversidade de montanhas. **Nature Geoscience**, v. 11, p. 718-725, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>

ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. **Análise financeira de sistemas agroflorestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2021. 70 p. (Documentos/Embrapa Florestas).

BARBOSA, D. M.; SANTOS, J. R. Sistemas Agroflorestais como Política Pública de Combate à Insegurança Alimentar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL, 12., 2022, Maceió. **Anais...** Maceió: ENCCULT, 2022, p. 1-11.

BAYON, R.; HAWN, A.; HAMILTON, K. **Voluntary carbon markets**: an international business guide to what they are and how they work. 2. ed. London: Earthscan, 2009.

BELLO, C.; GALETTI, M.; PIZO, M.; MAGNAGO, L. F.; ROCHA, L.; LIMA, M.; PERES, R.; OVASKAINEN, C.; JORDANO, P. O. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. **Science Advances**, v. 1, n. 11, 2015. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501105>.

BIGHI, A. R.; OLIVEIRA, C. H. R. de; SARTORIO, C. R.; TEIXEIRA, I. da C.; SOUZA, M. N. A importância do componente arbóreo nos sistemas agroflorestais. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VIII. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 191-216. ISBN: 978-65-84548-25-1. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-25-1.c6>

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, p. 6406, 11 abr. 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 3 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006**. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em garantir o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11346.htm. Acesso em: 3 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 3 out. 2024.

CARPOOR, K.; AMBROSI, P. **State and trends of the carbon market 2008**. Washington: World Bank Institute, 2008. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/281731468336837686/pdf/489980AR0200901n1Market120091FINAL0.pdf>. Acesso em: 06 out. 2024.

COELHO, A. R. G.; LIBONATI, J. J.; LAGIOIA, U. C. T.; MACIEL, C. V. A comercialização e a contabilização dos créditos de carbono com base em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista Pensar Contábil**, v. 10, n. 41. 2008.

CONFESSOR, J. G.; Silva, L. E. U.; Araújo, P. M. S. Avaliação das Perdas de Água e Solo em Pastagens do Cerrado Brasileiro Utilizando Chuva Simulada. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-65618>

COSTA, A. L.; FERRI, A. G.; TRUGILHO, G. A.; RANGEL, O. J. P.; VIEIRA, R. C.; SOUZA, M. N. Contribuições da cultura da banana em Sistemas Agroflorestais no Espírito Santo. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. II. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 195-214. ISBN: 978-65-84548-23-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c7>

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; SILVA, M. A. B. da. Ciclo do carbono e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícolas: revisão de literatura. **INCAPER EM REVISTA**, v. 13, p. 06-19, 2023. Home page: [https://editora.incaper.es.gov.br/incaper-em-revista. DOI:10.54682/ier.v.13e14.p06.19.

CUNHA, N. R. da S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. de M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; SALES, E. F.; ARAÚJO, J. B. S. O Café Conilon em Sistemas Agroflorestais, cap. 14, p. 374-389. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007.

DANTAS, S. de V. Precipitação e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Floresta Ambiente**, v. 1, 1994.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World**. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Roma: FAO, 2023. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

FRANCO, F.; COUTO, L.; CARVALHO, A.; JUCKSCH, I; FERNANDES-FILHO, E.; SILVA, E.; MEIRA-NETO, J. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600011>

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: UFRGS. 2009. 201 p.

GONÇALVES, J. M.; OLIVEIRA, A. DE F. M. de; SOUZA, M. N. Sistemas agroflorestais como estratégia mitigadora: benefícios na atenuação do estresse térmico em bovinos. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 249-270. ISBN: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c8>

GRAZEL FILHO, A. B. **Composição, Estrutura e Função de Quintais Agroflorestais no Município de Mazagão, Amapá**. 2008. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2008.

GUEDES, F. B., SEEHUSEN, S. E. (Org). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica**: lições aprendidas e desafios. Brasília: MMA, 2011. (Série Biodiversidade, 42).

GUERRA, A. J. T. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa**: Abordagens Geográficas. Rio de Janeiro: Editora CRV, 2016. 219 p. <https://doi.org/10.24824/978854440758.5>

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**, v. 27, n.1, p. 27-41, 2017. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7)

GUIMARÃES, L. A. O. P.; MENDONÇA, G. C. Agricultura sintrópica (agrofloresta sucessional): fundamentos e técnicas para uma agricultura efetivamente sustentável. **Incaper em Revista**, v. 10, p. 6-21, 2019.

HAHN, C. M. **Recuperação florestal**: da muda à floresta. São Paulo: SMA, 2004. 112 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2016-2018**. Rio de Janeiro, 2020, 26 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/#/home>. Acesso em: 15 nov. 2024.

JOHN DEERE. **ILPF (Integração Lavoura, Pecuária e Floresta)**. 2025. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/a-nossa-empresa/sustentabilidade/ilpf/>>. Acesso em 17 jan. 2025.

LIMIRO, D. **Créditos de carbono**: protocolo de Kyoto e projetos de MDL. Curitiba: Juruá, 2009.

LUSSANI, M. A. **Sistema silvipastoril auxilia pastagens e animais neste período de estiagem**. 2023. Disponível: <<https://ufsm.br/r-555-1206>>. Acesso em: 17 jan. 2025.

MACEDO, J. L. V. de. **Sistemas agroflorestais**: princípios básicos. Manaus: Instituto Amazônia, 2013. (Série Técnica de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 25).

MACHADO, P. L. O. de A.; FERREIRA, A. C. de B.; MADARI, B. E.; BORIN, A. L. D. C.; SILVA, M. A. S. da; CARVALHO, M. T. de M. Plantas de cobertura e adubos verdes para adaptação da agricultura à mudança do clima e redução da emissão de gases de efeito estufa no Cerrado. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; MARZALL, K.; SILVA, W. G. da (Orgs.). **Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros**. Brasília: MAPA, 2021. p. 82-83.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Brasília: MAPA, 2011. 173 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília: MCT, 2010. 280 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade – EPANB**: 2016-2020. Brasília: MMA, 2017. 262 p.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3. ed. England: Blackwell, v. 56, n. 5, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>

OVALLE, M. C.; AVENDANO, R. J. Influência dei árbol sobre la vegetación pastoral en los espinales (*Acaëa caven*), de la zona mediterránea de Chile. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E I ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, Porto Velho, 1994. **Anais...** Sistemas agroflorestais no desenvolvimento sustentável. Colombo: EMBRAPA, v. 2, p. 151-164, 1994. (Documentos, 27).

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – IPCC. **Mudança do clima 2023**: Relatório Síntese, 2023. Disponível em; <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2024.

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA A. J. T., FULLEN, M. A. Processos hidroerosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i2.877>

RIBASKI, J.; RIBASKI, S. A. G. Sistemas agroflorestais na região no Sul do Brasil. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: EMBRAPA, 2013.

SANTOS, V. dos; BEUREN, I. M.; HAUSSMANN, D. C. S. Tratamento contábil nas operações com crédito de carbono em empresas brasileiras. **Revista de Informação Contábil**, v. 5, n. 1, p. 36-67, 2011. <https://doi.org/10.34629/ric.v5i1.36-67>

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SEMA. **Sistemas agroflorestais indicados para o Acre**: Catálogo. Rio Branco: SEMA, GOVERNO DO ESTADO DO ACRE, 2019. 40 p.

SEIFFERT, M. E. B. **Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto**: Oportunidades de Negócio na Busca da Sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL – SENAR. **Sistemas Agroflorestais (SAFs)**: conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico. Brasília: SENAR, 2017. 140 p. (Coleção SENAR, 199).

SILVA JUNIOR, A. C. **Projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL):** promotores de transferência de tecnologia e tecnologias mais limpas no Brasil? 2011. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SILVA, M. A. B. da; SOUZA, C. de O.; RANGEL, O. J.; PASSOS, R. R.; SOUZA, M. N.; SALGADO, D. F. **Guia prático para áreas em transição agroecológica:** orientações, estratégias e um estudo de caso para motivar o agricultor. Alegre: Edifes Acadêmico, 2023.

SIMONI, W. F. de. Mercado de Carbono. In: FUJIHARA, M. C.; LOPES, F. G. **Sustentabilidade e Mudanças Climáticas:** guia para o amanhã. São Paulo: Terra das Artes, Senac, 2009.

SOUZA, A. L. R de; ALVAREZ, G.; ANDRADE, J. C. S. Mercado regulado de carbono no Brasil: um ensaio sobre divergências contábil e tributária dos créditos de carbono. **Organ. Soc.**, v. 20, n. 67, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1984-92302013000400006>

SOUZA, A. L. R. de.; SILVA JUNIOR, A. C. ANDRADE, J. C. S. Protocolo de Kyoto e Mercado de Carbono: Estudo Exploratório das Abordagens Contábeis Aplicadas aos Créditos de Carbono e o Perfil de Projetos de MDL no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELENCIA EM GESTÃO, 6., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, I. I. M de; ARAÚJO, E. S.; JAEGGI, M. E. P. C.; SIMÃO, J. B. P.; ROUWS, J. R. C.; SOUZA, M. N. Effect of afforestation of arabica coffee on the physical and sensorial quality of the bean. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 42, n. 7, p. 133-143, 2020. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i730562>

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. VIII. Canoas: Mérida Publishers, 2024. 316 p.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. VIII. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 316 p. ISBN: 978-65-84548-25-1. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-25-1>.

SOUZA, M. N.; FONSECA, R. A. A evolução dos movimentos ambientais e o surgimento da AIA. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1.c1>

STEFANOSKI, D.; SANTOS, G.; MARCHÃO, R.; PETTER, F.; PACHECO, L. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 17, p. 1301-1309, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil:** práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186p.

UMRANI, R.; JAIN, C. K. **Agroforestry**: Systems and Practices. Jaipur: Oxford Book Company, 2010.

VAZ, P. Sistemas agroflorestais com opção de manejo para microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.75-81, 2000.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor agropecuário no Centro-Oeste, especialmente no Mato Grosso, enfrenta um período de rápida deterioração. Entre agosto e setembro de 2024, os sinais de crise se intensificaram. Segundo relatório do Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), o Valor Bruto da Produção (VBP) do estado deve apresentar uma queda de 26,62% em 2024, totalizando R\$ 148,6 bilhões, o que representa uma redução de R\$ 53,91 bilhões em comparação aos R\$ 202,51 bilhões registrados em 2023.

Segundo essa mesma fonte, a soja, principal *commodity* da região, deverá sofrer uma retração de 34,11%, com o VBP passando de R\$ 101,93 bilhões para R\$ 67,16 bilhões, marcando a primeira queda desde 2013. O milho enfrenta uma situação ainda mais grave, com recuo de 39,31%, reduzindo o VBP de R\$ 40,64 bilhões para R\$ 24,67 bilhões. Entre os principais fatores que comprometem a produtividade e os resultados estão as instabilidades climáticas, agravadas por restrições financeiras.

Rodrigo Gallegos, especialista em reestruturação de negócios, alerta que o cenário adverso deve persistir até 2025. A dificuldade de acesso ao crédito rural, indispensável para cobrir os altos custos de produção, está diretamente ligada ao aumento da inadimplência no setor, intensificando os riscos financeiros dos produtores.

Outro problema crítico é a falta de profissionalização das empresas do agronegócio brasileiro, que prejudica a gestão operacional e financeira, além de limitar o uso de ferramentas de proteção contra as oscilações do mercado. Gallegos reforça que a reestruturação e a profissionalização são indispensáveis para enfrentar esses desafios de forma mais sustentável.

Por outro lado, a agricultura familiar de base agroecológica tem demonstrado maior resiliência em comparação ao agronegócio empresarial, mesmo diante de crises, devido a algumas características específicas que a tornam menos vulnerável a fatores externos. Veja os principais motivos:

- ✓ Menores custos de produção:

A agroecologia promove o uso eficiente de recursos naturais disponíveis localmente, como adubação verde, compostagem e controle biológico de pragas,

reduzindo a dependência de insumos externos como fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, cujos preços são voláteis e frequentemente elevados.

✓ Diversificação produtiva:

A diversidade de culturas, característica dos sistemas agroecológicos, distribui os riscos. Enquanto monoculturas empresariais, como soja ou milho, sofrem drasticamente com quedas de preços ou eventos climáticos extremos, a agricultura familiar diversificada tem mais chances de manter parte da produção rentável.

✓ Produção voltada ao mercado local:

Agricultores familiares frequentemente comercializam seus produtos em mercados locais ou regionais, o que reduz custos logísticos e os torna menos dependentes de mercados internacionais, cujos preços são fortemente influenciados por especulação e crises globais.

✓ Menor endividamento:

A agricultura empresarial frequentemente utiliza financiamentos de grande porte para custear insumos e tecnologias. Em períodos de restrição de crédito e alta inadimplência, como o atual, isso amplifica os riscos. Por outro lado, agricultores familiares agroecológicos, com menores custos de produção, têm menor necessidade de financiamentos e, portanto, menor exposição ao endividamento.

✓ Sustentabilidade econômica e ambiental:

Sistemas agroecológicos fortalecem a saúde do solo, aumentam a resiliência às mudanças climáticas e diminuem a dependência de recursos externos. Esses fatores contribuem para uma produção mais estável a longo prazo, mesmo em condições adversas.

✓ Demanda por alimentos saudáveis:

O interesse crescente por alimentos orgânicos e de base agroecológica, impulsionado por consumidores que buscam saúde e sustentabilidade, tem ampliado oportunidades de mercado para a agricultura familiar, garantindo melhores preços e escoamento da produção.

Esses aspectos mostram que, enquanto o agronegócio empresarial é altamente dependente de insumos industriais, mercados internacionais e

financiamento, a agricultura familiar agroecológica se apoia em princípios de autonomia, resiliência e sustentabilidade, permitindo-lhe enfrentar crises com maior equilíbrio.

Este trabalho, o volume IX dos “Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas”, abordou temas fundamentais para a construção de sistemas produtivos sustentáveis e resilientes, destacando o papel da agroecologia como alternativa ao modelo de produção tradicional.

O Capítulo I discute os desafios e as perspectivas da agroecologia para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, abordando questões como a necessidade de transição gradual, investimentos, capacitação e superação de barreiras políticas e culturais. O Capítulo II explora práticas de controle de plantas espontâneas para otimizar a produtividade agrícola, com destaque para o manejo integrado e técnicas sustentáveis, como o uso de palhada. O Capítulo III apresenta o potencial da homeopatia vegetal no manejo fitossanitário, destacando sua contribuição para reduzir o uso de produtos químicos. No Capítulo IV, o controle biológico é analisado como solução agroecológica eficaz para reduzir o uso de agrotóxicos, preservando a biodiversidade e promovendo a sustentabilidade.

O Capítulo V aborda a conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma, essenciais para a segurança alimentar e adaptação às mudanças climáticas. No Capítulo VI, o uso de resíduos de esgoto em sistemas agroecológicos é apresentado como alternativa para promover a sustentabilidade, desde que respeitadas normas de segurança e tratamento adequado. O Capítulo VII explora o reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal, demonstrando como práticas inovadoras podem fortalecer economias locais e promover a economia circular.

O Capítulo VIII analisa a viabilidade do uso de resíduos do beneficiamento de granito na agricultura, destacando os benefícios ambientais e econômicos da prática de rochagem. O Capítulo IX discute os impactos ambientais das bitucas de cigarro, propondo estratégias de reciclagem e compostagem para mitigar danos e promover práticas agroecológicas. Finalmente, o Capítulo X avalia os Sistemas Agroflorestais (SAFs) como modelo eficiente para recuperação

ecológica, diversificação produtiva e geração de renda, com potencial para gerar créditos de carbono e fortalecer economias locais.

Dessa forma, nas considerações finais, reforça-se a urgência de transformar as ideias e conceitos em ações concretas, promovendo a transição para um modelo agroecológico que equilibre produção, justiça social e preservação ambiental. O trabalho ressalta a importância de aplicar os conhecimentos discutidos para enfrentar os desafios ambientais e construir um futuro mais sustentável.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, fevereiro de 2025.



www.meridapublishers.com

