

ALQUIMIA DAS IDEIAS:

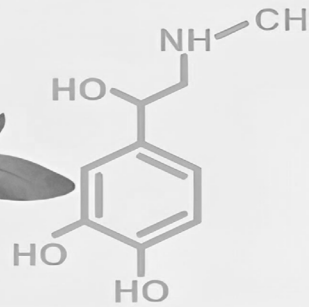
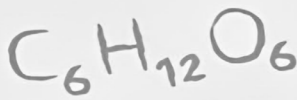
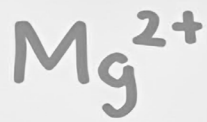
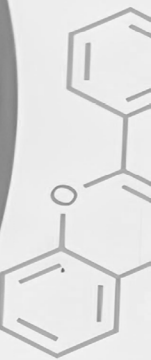
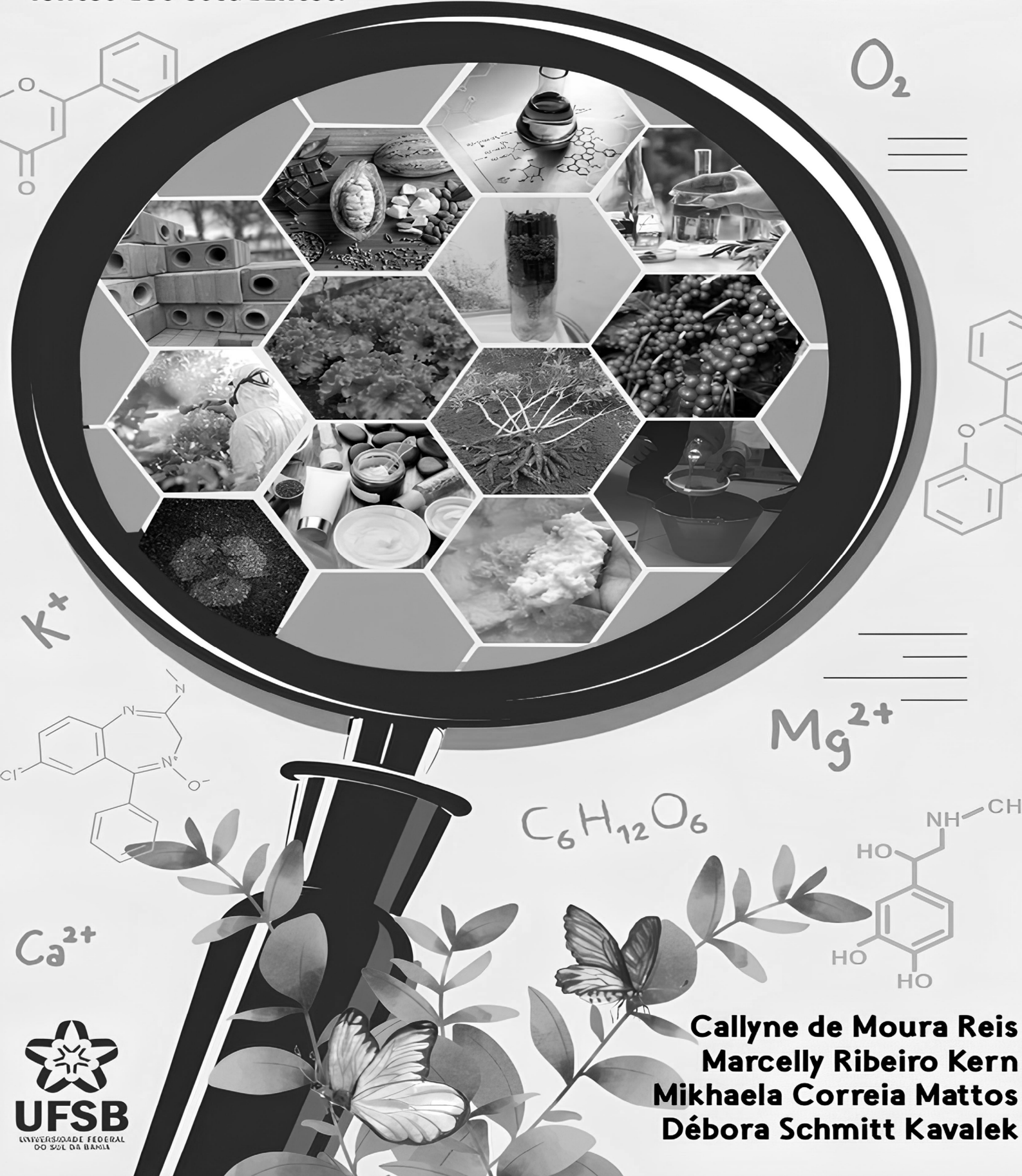
Química e sustentabilidade pelas lentes dos estudantes.



ALQUIMIA

Química e
sustentabilidade pelas
lentes dos estudantes.

DAS IDEIAS:



1.ª Edição - Copyrights do texto - Autores e Autoras

Direitos de Edição Reservados à Editora Terried

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.



O conteúdo dos capítulos apresentados nesta obra são de inteira responsabilidade d@s autor@s, não representando necessariamente a opinião da Editora.

Permitimos a reprodução parcial ou total desta obra, considerado que seja citada a fonte e a autoria, além de respeitar a Licença Creative Commons indicada.

Conselho Editorial

Adilson Cristiano Habowski - ***Currículo Lattes***

Adilson Tadeu Basquerote Silva - ***Currículo Lattes***

Alexandre Carvalho de Andrade - ***Currículo Lattes***

Anísio Batista Pereira - ***Currículo Lattes***

Celso Gabatz - ***Currículo Lattes***

Cristiano Cunha Costa - ***Currículo Lattes***

Denise Santos Da Cruz - ***Currículo Lattes***

Emily Verônica Rosa da Silva Feijó - ***Currículo Lattes***

Fabiano Custódio de Oliveira - ***Currículo Lattes***

Fernanda Monteiro Barreto Camargo - ***Currículo Lattes***

Fredi dos Santos Bento - ***Currículo Lattes***

Guilherme Mendes Tomaz dos Santos - ***Currículo Lattes***

Humberto Costa - ***Currículo Lattes***

Leandro Antônio dos Santos - ***Currículo Lattes***

Lourenço Resende da Costa - ***Currículo Lattes***

Marcos Pereira dos Santos - ***Currículo Lattes***

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Alquimia das Ideias: Química e Sustentabilidade pelas lentes dos Estudantes. Callyne de Moura Reis; Marcelly Ribeiro Kern; Mikhaela Correia Mattos; Débora Schmitt Kavalek (Autoras) -- Alegrete, RS : Editora Terried, 2025.

PDF

ISBN 978-65-83367-56-3

1. Educação

24-225451

CDD-918.17

Índices para catálogo sistemático:

1. Educação 90.14
2. Ensino 90.9



TERRIED

www.terried.com

contato@terried.com

APRESENTAÇÃO

Este e-book é o resultado de uma mistura bem curiosa, quase alquímica, de esforço, sensibilidade e boas doses de criatividade de estudantes do Bacharelado em Ciências, da Engenharia Civil e da Licenciatura Interdisciplinar em Ciências da Natureza e suas Tecnologias da Universidade Federal do Sul da Bahia. Os capítulos que você encontrará aqui foram “cozinhados” no caldeirão da professora Débora, no Componente Curricular de Química Geral, a partir de uma proposta que parecia simples (mas deu pano pra manga, ou melhor, pra jaleco!): escolher um tema que unisse química, sustentabilidade, a formação em curso dos estudantes e, de quebra, as paisagens, dilemas e riquezas do nosso pedacinho de mundo, o Extremo Sul da Bahia.

Esta obra reúne produções de estudantes que, em sua maioria, estão ainda nos primeiros semestres da graduação, mas não se engane: já chegaram misturando tudo com propriedade (e com fórmula molecular, se precisar). Eles aceitaram o desafio de pensar a química com a cabeça, o coração e os pés no chão (de preferência fértil e sem agrotóxico). Aqui estão suas visões sobre o mundo, sobre o papel da química e sobre os caminhos possíveis para um futuro mais equilibrado, ou, no mínimo, menos tóxico.

Por meio das lentes desses jovens pesquisadores e pesquisadoras, o e-book nos brinda com um festival de temas que vão do cacau ao café, da puba ao pigmento, do sabão ecológico ao biodigestor, dos oceanos aos corais (sem deixar escapar nem uma conchinha). Tem também cosmético ecológico, compostagem, biofertilizante e até concreto com consciência ambiental. Tudo isso, veja bem, com um pé na realidade, o outro no laboratório e o olhar atento às possibilidades de um mundo mais sustentável, sempre com a química como fio condutor (ou catalisador, para os mais técnicos).

Boa leitura!

Professora Débora Schmitt Kavalek

Licenciada em Química e Doutora em Educação em Ciências.

Professora do Componente Curricular Química Geral da UFSB.

SUMÁRIO

Capítulo 1

Química, Puba e Agricultura Familiar: Um Relato de Experiência em uma Pequena Propriedade Rural no Extremo Sul da Bahia.....9

Emilly Maviana dos Santos Mendes; Kamyla Beatriz da Silva; Luan Felipe Silva Santos Souza; Mikhaela Correia Mattos; Tauana Dias Souza; Vanessa Victoria de Oliveira Barros

Capítulo 2

A Construção Civil: Impactos, Sustentabilidade e Reutilização do Concreto.....23

João Pedro Barbosa dos Santos; Kallyn Fernandes; Marcelo Rodrigues Santos; Rubens Buonaduce; Radija Andressa Reis Leocádio

Capítulo 3

A Química do Chocolate e a Importância do Cultivo de Cacau para o Extremo Sul da Bahia.....36

Reinan Vinícius Santos de Almeida

Capítulo 4

Tijolos Ecológicos como alternativa sustentável para habitações de interesse social.....50

Cainã Amaral de Souza; Enzo Schultz Figueiredo

Capítulo 5

A Química por trás da Compostagem Utilizada na Agricultura Familiar63

Ana Clara Duarte da Silva Souza; Beatriz Pereira de Oliveira; Leidiane Rodrigues Freitas; Nathalie Lima Diniz; Ryan Pereira Araujo

Capítulo 6

Biodigestores e Química: Solução Sustentável para o Tratamento de Resíduos.....73

Artur Gonçalves Araújo; Karen Souza da Silva; Sára Alves de Matos Rodrigues

Capítulo 7

Biofertilizantes Orgânicos.....84

Jamile Nascimento do Carmo; Livia Tolentino de Carvalho Ferreira; Mayana Fontes Avelar; Raniele de Souza Rodrigues

Capítulo 8

O Impacto dos Agrotóxicos no Meio Ambiente e a Importância da Conscientização para Práticas Sustentáveis.....93

Ana Júlia Oliveira Souza; Grazielle da Cunha Lacerda; Jorge Rafael Oliveira Rocchigiani; Marcelly Ribeiro Kern; Moabe Sales dos Santos; Pedro Henrique Nascimento de Avelar

Capítulo 9

Passado, Presente e Futuro da Química nos Oceanos: Um olhar para os Corais.....119

Ana Cristina Pinheiro de Souza; Brenda Luise Costa do Carmo; Davi Santos Porto; Izabela Cristina Silva Costa; Pedro Henrique Cosmi Lima

Capítulo 10

Produção de Biogás a partir do Reaproveitamento de Resíduos Orgânicos: Um Experimento Simples.....136

Giovana Santos Thomy; Pedro Henrique Santos da Silva

Capítulo 11

Química do Café: Produção da Agricultura Familiar no Córrego Palmeira em Itamaraju/BA.....139

Izaque Souza Conceição; Gabriel Costa Santana

Capítulo 12

Reutilização de Óleo de Cozinha: Produção de Sabão como Alternativa Sustentável ao Descarte de Triglicerídeos.....149

Davi Francisco Dias; Itauan Ferreira da Silva; Matheus Pinheiro Silva Louzada; Michell Santos Vidal de Araújo

Capítulo 13

A Compostagem como Estratégia para Redução do uso de Agentes Químicos na Agricultura Familiar.....158

Adriano Batista da Silva; Claudinei José Peixoto Lucas; Gabriella Junqueira Augusto Viana; Joyce Camille Henrique Brandão; Magno Brito de Souza; Maria Luiza Costa Porto

Capítulo 14

Sustentabilidade e Ciência: O Papel da Química nos Cosméticos Ecológicos.....180

Gláucia Esperidião; João Vítor Santos; Maria Luiza De Souza Ferraz; Melissa Camargo Figueiredo; Thaissa Borges Martins

Capítulo 15

Lixões e Aterros Sanitários no Brasil: Impactos Ambientais e Alternativas Sustentáveis.....186

Diana Santos da Silva; Eleni Pereira Sampaio Dias; Larissa Paula de Jesus Aragão; Marcelle Borges Santana; Maria Luisa Santos Sales; Kennya Santos de Oliveira

Capítulo 16

Uso de Materiais Biodegradáveis.....195

Ana Carolina Souza Santos; Gustavo Bonfim de Brito; Tailana dos Santos de Franca; Mateus Rodrigues Batista

Capítulo 17

Pigmentos Naturais e Corantes Sustentáveis: Benefícios e Malefícios em Debate.....204

Jaline Santana dos Anjos

CAPÍTULO 1

QUÍMICA, PUBA E AGRICULTURA FAMILIAR: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL NO EXTREMO SUL DA BAHIA

Emilly Maviana dos Santos Mendes
Kamyla Beatriz da Silva
Luan Felipe Silva Santos Souza
Mikhaela Correia Mattos
Tauana Dias Souza
Vanessa Victoria de Oliveira Barros

Resumo: A mandioca é considerada uma importante fonte alimentar no Brasil e em vários países do mundo, pode ser cultivada em diversas condições climáticas e de solo. No Brasil, é produzida principalmente por grupos da agricultura familiar, servindo para alimentação humana, alimentação animal, compostagem, matéria-prima para diversos produtos como farinha, fécula, amido, bioetanol, puba entre outros. Este artigo traz uma revisão bibliográfica acerca da mandioca e a produção de puba e também um relato de experiência desde o plantio da mandioca até o seu beneficiamento, com enfoque na produção da puba, realizado em uma pequena propriedade rural no Extremo Sul da Bahia. Portanto, observou-se que há relação entre a química, a puba e a agricultura familiar, uma vez que a mandioca faz parte do cotidiano das famílias, principalmente na zona rural, e pode ser utilizada para estudos experimentais de química, como no caso da puba, onde o processo de pubagem é um ótimo exemplo prático para explicação de diversos conceitos químicos e até mesmo biológicos, o que aproxima o conhecimento científico do senso comum. A química é fundamental para entender e controlar os processos envolvidos na fabricação da puba de mandioca, desde a seleção da matéria-prima até o produto final. O conhecimento da química permite otimizar o processo, garantir a qualidade e segurança do produto e desenvolver novos produtos e aplicações para a puba.

Palavras-chave: Mandioca; Pubagem; Fermentação da Mandioca; Química.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca, com nome científico *Manihot esculenta* Crantz, também conhecida como aipim, macaxeira, mandioca brava, mandioca mansa, pão de pobre, candinga, maniva, maniveira, moogo, mucamba, entre outros, dependendo da região brasileira, pertencente à família das Euforbiáceas é uma planta tuberosa com alto aporte calórico, possui um cultivo versátil que pode ser cultivado em diversas condições climáticas e de solo, tendo resistência à seca, adapta-se a solos de baixa fertilidade, praticamente não requer ou dispensa o uso de agroquímicos em seu cultivo e possui grande versatilidade de usos no campo alimentar e industrial que a torna uma cultura importante para a segurança alimentar, por conseguinte, considerada uma importante fonte alimentar no Brasil e em vários países (Cavalcante, 2021; Araújo, 2018; Junior *et al*, 2016; Marcon, 2004). Apesar do local exato de origem da mandioca ser considerado por alguns autores como controverso, em vários trabalhos se observa que ela é originária na América do Sul e o Brasil é provavelmente o país onde se observa a maior variação nas formas de utilização da planta. A familiaridade do povo brasileiro com a mandioca deve-se ao fato de que os nativos já a cultivavam antes mesmo da chegada dos portugueses (Junior *et al*, 2016; Marcon, 2004; Crepaldi, 1992).

A mandioca é muito versátil e possui aproveitamento integral, servindo para alimentação humana, alimentação animal, compostagem, matéria-prima para diversos produtos industriais, farinha, fécula, amido, bioetanol, goma de mandioca, tapioca, beijú, puba, entre outros, o que cria um grande interesse acadêmico em pesquisas para o melhoramento genético e manejo da cultura. Sua diversidade genética chega a cerca de quatro mil variedades catalogadas no Brasil e no resto do mundo, é uma cultura que vem sendo perpetuada por povos indígenas, agricultores e pesquisadores. Em várias regiões do Brasil, principalmente em muitas comunidades rurais, a mandioca é uma cultura importante que faz parte da dieta básica da população, contribuindo com a nutrição das famílias e diminuindo, a despesa com a alimentação, além de compor a fonte de renda para os produtores rurais, como os agricultores familiares (Costa, Oliveira e Cabral, 2023).

Este artigo tem como objetivo trazer uma revisão bibliográfica acerca do processo de fabricação da puba juntamente com um relato de experiência que vai desde o plantio mandioca até o seu beneficiamento, com enfoque na produção

da puba, realizado em uma pequena propriedade rural no Extremo Sul da Bahia, relacionando o conhecimento científico da puba e os processos químicos envolvidos na sua produção, demonstrando assim, a relação entre a química, a puba e a agricultura familiar.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa possui uma natureza qualitativa e é classificada como bibliográfica, baseada na análise de trabalhos acadêmicos já publicados, com o objetivo de compreender o que a literatura tem revelado sobre a importância da mandioca e seus derivados, mais especificamente a puba no Brasil e ainda traz também um relato de experiência de uma pequena propriedade localizada no Município de Mucuri – Bahia, que faz o plantio da mandioca e o beneficiamento da puba. A escolha por este tipo de pesquisa fundamenta-se na possibilidade de analisar estudos existentes e identificar conceitos relevantes.

A coleta de dados inicial foi realizada em fontes secundárias, utilizando como base artigos, livros, dissertações, teses entre outros trabalhos publicados na Plataforma Google Acadêmico. Foram empregados os seguintes descritores: “puba de mandioca” e “química”, não foram aplicados filtros. A busca inicial resultou em 328 trabalhos, que foi feita a leitura do título e resumo. Foram excluídos livros, trabalhos que não abriram, duplicados e trabalhos que não atendiam ao objetivo desta pesquisa, restando assim 66 trabalhos para serem melhor analisados. Esses foram organizados e arquivados em uma pasta específica no computador para facilitar a identificação e a posterior análise que consistiu na leitura seletiva, com o objetivo de identificar aqueles que se enquadraram nos objetivos da pesquisa e que efetivamente constituíram a base de dados para a escrita do mesmo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*, *Manihot utilíssima* e outras espécies), que é oriunda da América do Sul, constitui um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvi-

mento. A mandioca pertence à família Euphorbiaceae; apesar de ser uma planta perene, sua lavoura é classificada como temporária nos diferentes censos e pesquisas realizados no país por ser replantada anualmente. Possui uma casca fina na cor marrom, sendo sua parte interna branca. De janeiro a julho ocorre o período de safra da mandioca. As raízes são ricas em carboidratos, podendo ser consumidas após simples cozimento e/ou após transformação em diversos tipos de farinhas (IBGE, 2010) (apud Simões, 2015).

A mandioca é uma planta perene que pode crescer indefinidamente, alternando períodos de crescimento vegetativo e armazenando carboidratos nas raízes. Ela possui períodos de quase dormência, provocados por condições climáticas severas, como baixas temperaturas e déficit prolongado de água (Alves, 2006, *apud* Siviero, 2008). No entanto, a cultura é capaz de alcançar produções satisfatórias sob condições adversas de solo e clima, sendo cultivada principalmente por populações carentes em recursos técnicos e econômicos (Souza *et al.*, 2006, *apud* Siviero, 2008).

Sua raiz, rica em fécula, é a parte efetivamente utilizada tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal, e cada vez mais como insumo em diferentes setores produtivos. Em geral, a raiz da mandioca é branca, mas pode ter coloração avermelhada ou amarelada, dependendo da variedade. Em algumas regiões, as folhas também são utilizadas para alimentação humana ou animal (neste último caso, como forma barata de acrescentar proteínas às rações (Sebrae, 2012, *apud* Simões, 2015).

Há anos, sociedades indígenas agrícolas passaram a selecionar as variedades de mandioca a cada colheita que realizavam, de acordo com suas características. Os melhores propágulos eram escolhidos para serem novamente plantados (Bezerra, 2006) (apud Souza, 2023). O cruzamento entre variedades agrícolas com características diferentes é uma das aplicações mais antigas da biotecnologia. Essa tecnologia cultural vem sendo mantida e transmitida segundo métodos tradicionais herdados dos indígenas (Souza, 2023).

Por ser oriunda de regiões tropicais, a mandioca é favoravelmente cultivada em climas tropicais e subtropicais, com uma faixa de temperatura-limite de 20°C a 27°C em relação à média anual; a temperatura média ideal para sua atividade gira em torno de 24°C a 25°C (Embrapa, 2003 *apud* Simões, 2015).

3.2 A Importância da Mandioca

A mandioca pode ser consumida de diferentes formas e tem grande importância mundial, sendo capaz de aumentar a segurança alimentar em países em desenvolvimento. Sua raiz armazena uma grande quantidade de amido, portanto, é uma importante fonte de energia. Além disso, a raiz da mandioca é rica em cálcio, fósforo e vitamina C. A raiz da mandioca é usada na fabricação de farinha e polvilho, além de ser consumida de formas diferentes, podendo ser cozida e frita (Santos, 2025).

Vale salientar que não é somente a raiz da mandioca que apresenta valor alimentício, as folhas são uma boa fonte de proteínas e apresentam-se ricas em aminoácido lisina. A folha moída da mandioca é bastante utilizada, por exemplo, na fabricação de um prato típico da culinária paraense conhecido como maniçoba (Santos, 2025).

A mandioca não é utilizada exclusivamente na alimentação, podendo ser utilizada na produção de etanol, plásticos biodegradáveis, madeira compensada e cosméticos e na indústria têxtil. A mandioca é também usada para fabricação de ração animal (Santos, 2025).

3.3 A Agricultura Familiar e a Puba

A mandioca é um cultivo de escala nacional e produzida principalmente por grupos participantes da agricultura familiar no Brasil (Cereda, 2010). A agricultura familiar tem um papel fundamental na economia e na segurança alimentar do Brasil. Diferente dos grandes agronegócios, este tipo de produção é caracterizado pelo cultivo em pequenas propriedades, onde a maior parte do trabalho é realizado pelos próprios membros da família. Este modelo é responsável por aproximadamente 70% dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros, demonstrando sua relevância para a sociedade (De Araújo, 2022).

Além de fornecer alimentos saudáveis e frescos para a população, a agricultura familiar contribui para a preservação das tradições culturais e gastronômicas regionais. Os agricultores familiares muitas vezes utilizam técnicas de cultivo sustentáveis, que respeitam o meio ambiente e garantem a

biodiversidade. Essas práticas incluem o uso rotativo das culturas, a utilização de adubos orgânicos e o manejo integrado de pragas, evitando o uso excessivo de agrotóxicos (Araújo, 2018).

Como tema do presente trabalho e produto oriundo da agricultura familiar, a puba é feita a partir da mandioca, um dos cultivos mais comuns na região Nordeste. O processo de produção da puba, que será visto mais detalhadamente ao decorrer deste artigo, envolve a fermentação da mandioca, que é deixada de molho em água por vários dias. Durante esse período, as bactérias presentes na água promovem a fermentação natural da mandioca, resultando em uma massa macia e de sabor levemente ácido. Após a fermentação, a mandioca é prensada para remover o excesso de água e, em seguida, pode ser utilizada em diversas receitas típicas, como bolos, mingaus e farofas. A puba é não só uma iguaria apreciada por seu sabor único, mas também uma fonte nutritiva e acessível para muitas famílias da região. Esse alimento é rico em carboidratos, fornecendo energia, e contém vitaminas e minerais importantes para a saúde (Almeida, 1992).

A produção e o consumo da puba exemplificam como a agricultura familiar preserva a cultura alimentar regional e fortalece a economia local. A venda desses produtos em mercados e feiras gera renda para as famílias envolvidas. Assim, a agricultura familiar e a produção de alimentos tradicionais são cruciais para a sustentabilidade econômica e cultural do Brasil, promovendo um modelo de desenvolvimento rural que conjuga preservação ambiental, valorização das tradições e segurança alimentar (Almeida, 1992., Dos Santos Silva *et al*, 2019).

3.4 A Puba

A puba, também conhecida como carimã (que significa “massa azeda de mandioca” em Tupi), é obtida por meio da fermentação natural das raízes frescas de mandioca, que podem estar inteiras ou cortadas. Tradicionalmente, as raízes são submersas em água parada ou colocadas em sacos dentro de água corrente. Esse processo dura entre 3 e 7 dias, dependendo das condições ambientais, tipo e idade das raízes, além da temperatura e do pH da água. Durante esse período, as raízes amolecem e a casca se solta. Depois disso, as raízes são trituradas em peneiras ou cochos de madeira e secas ao sol ou em forno (Almeida, 2023, *apud* Al-

buquerque, 1969; Gravatá, 1940; Daro, 1937^a, b; Gramacho, 1975; Pickel, 1938; Scholtz, 1971). Introduzida no norte e nordeste do Brasil pelas culturas indígenas, a puba é amplamente utilizada na culinária regional, especialmente entre as populações mais humildes (Almeida, 2023, *apud* Gramacho, 1975).

Segundo Malta (1958), os indígenas brasileiros produziam a puba reduzindo as raízes de mandioca a uma polpa, que era deixada para amolecer e fermentar. Esse processo permitia a extração do líquido tóxico, restando apenas o amido, livre das fibras presentes na farinha de mandioca (Almeida, 1992). As raízes frescas, com 8 a 12 meses de cultivo, são a matéria-prima ideal para a produção de puba. Além disso, a remoção da película externa das raízes melhora a qualidade do produto final (Almeida 1992, *apud* Gramacho, 1975).

A maceração das raízes de mandioca ocorre durante o processo de fermentação, conforme descrito por Campbell-Platt (1987). (Almeida, 1992). Maravalhas (1964) acredita que o sabor e o odor da farinha d'água são determinados pela maceração, que parece ser uma fermentação butírica, provavelmente causada por bactérias anaeróbias (Almeida, 1992).

3.5 A Puba e a Química

A fermentação natural das raízes de mandioca, denominada pubagem, é uma etapa fundamental no preparo da puba ou carimã, uma farinha amplamente utilizada no Nordeste brasileiro na fabricação de bolos, biscoitos, mingaus, entre outros. Além disso, é semelhante a diversos alimentos fermentados de origem africana, como o fufu e o gari. Durante o processo de fermentação, além do seu odor característico e da degradação dos compostos cianogênicos liberados pelas raízes, ocorre o amolecimento da mandioca. Dependendo da temperatura dos dias durante o processo, pode variar de 3 a 7 dias para que a fermentação seja concluída (Albuquerque, 1969; Dáro, 1937; Gramacho, 1975 *apud* Menezes, 1998; Almeida, 1992).

Almeida, P.F (1992) verificou que a pubagem é a consequência da ação de vários microrganismos que vão se alterando, em especial as bactérias de espécies *Klebsiella*, *Corynebacterium*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* e *Clostridium*, Além de fungos, como o *Saccharomyces* e *Penicillium*. Esses microrga-

nismos são os principais responsáveis pela fermentação da mandioca e, à medida que suas interações se desenvolvem, promovem alterações características; físicas, físico-químicas e bioquímicas. Vale ressaltar que o fenômeno da sucessão bacteriana é válido, de modo que a participação das enterobactérias e corinebactérias se reduz durante o processo fermentativo, dando lugar ao desenvolvimento da flora láctica e esporulada, que ao final da fermentação atinge cerca de 80% da microbiota total (microrganismos benéficos). Durante esse processo, foram identificados bactérias, leveduras e bolores no líquido da fermentação; também puderam ser identificados compostos orgânicos predominantes como ácido acético (CH_3COOH), ácido butírico ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$) e ácido láctico ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), que predominaram na maceração. Este processo se inicia após aproximadamente 48 horas e se completa quando a atividade das enzimas amilolíticas é máxima (Almeida, 1992).

4. RELATO DE EXPERIÊNCIA: A PRODUÇÃO DE PUBA EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE NO EXTREMO SUL DA BAHIA

Este relato de experiência trata acerca da produção da puba, realizada por uma família de agricultores familiares localizada no Sítio Correia no Município de Mucuri, Extremo Sul da Bahia. Primeiramente, buscou-se contato com a família acerca da disponibilidade para a realização da pesquisa, após o aceite, foi agendada a data para a visita e as informações foram coletadas por meio de diálogos informais com os membros da família, observações e foram feitas filmagens com o processo desde o plantio da mandioca até o preparo da puba (fresca) para venda.

Durante a visita, inicialmente foi nos mostrado como é feito plantio da mandioca, que consiste no corte do caule em pequenos pedaços de aproximadamente 15 cm (Figura 1), abre-se as covas com a enxada (Figura 2), na terra já arada e limpa, coloca-se o pedaço que se chama maniva, e se enterra (Figura 3). Neste sítio, tem-se dois tipos de mandioca: o aipim que não é tóxica, pode ser comida cozida e etc, e a mandioca que é a brava, portanto tóxica, serve pra fazer farinha, beijú, tapioca, goma entre outros produtos. A puba pode ser feita com os dois tipos de mandioca.



Figura 1- Maniva



Figura 2- Cova aberta com maniva para ser enterrada



Figura 3- Aterramento da maniva

O aipim com cerca de 8 meses já está pronta para consumo, já a mandioca brava, leva cerca de 1 ano e dois meses.



Figura 4- Mandioca com aproximadamente 4 meses



Figura 5- Mandioca com aproximadamente 6 meses

Após esse período, é feita a colheita, as raízes são arrancadas (Figura 6), lavadas para retirar o excesso de terra, descascadas, lavadas novamente e cortadas em pedaços médios (Figura 8).



Figura 6- Raiz da Mandioca



Figura 7- Raízes da mandioca



Figura 8- Pedacos da mandioca já cortados e lavados

Os pedaços já lavados, são colocados em um balde higienizado com água filtrada (Figura 9). O processo de fermentação da mandioca leva cerca de três dias (Figura 10). Após esse período, a mandioca apodrecida, é retirada do balde e colocada numa peneira com uma bacia em baixo, lavada e amassada para retirar o bagaço (Figura 11). Então espera-se decantar o que ficou na bacia por cerca de 1 hora, escorre a água, coloca mais água, espera decantar novamente (Figura 12).



Figura 9- Pedacos da mandioca dentro do balde com água filtrada



Figura 10- Puba após três dias de fermentação



Figura 11- Lavagem e retirada dos bagaços



Figura 12- Decantação da puba

Após a nova lavagem da puba, coloca-a num pano de saco para escorrer, pendura e deixa de um dia para o outro (Figura 13). No dia seguinte, a puba já está pronta para ser embalada, então já pode ser utilizada ou congelada (Figura 14).



Figura 13- Puba dentro do pano de saco para escorrer a água



Figura 14- Puba pronta para ser embalada



Figura 15- Pesagem da puba



Figura 16- Puba embalada, pronta para ser congelada

Nesta propriedade, além da puba fresca, fabrica-se o bolo de puba, ambos são vendidos e fazem parte da fonte de renda da família.

A produção da puba revela uma sequência de transformações químicas e bioquímicas. Durante a fermentação, o amido da mandioca, um polissacarídeo formado pelo acúmulo de várias unidades de glicose, é gradualmente quebrado em açúcares simples, como a maltose e a glicose. Posteriormente, estes são transformados em ácido láctico, em um processo de fermentação láctica realizado pelas bactérias presentes no próprio ambiente. A produção de ácido láctico faz o pH da massa cair, aumentando a acidez e auxiliando tanto na preservação quanto no desenvolvimento do aroma e do sabor da puba.

Ainda do ponto de vista químico, o HCN, um composto tóxico presente na mandioca brava na forma de glicosídeos cianogênicos (como a linamarina), é removido pelo próprio processo de fermentação e pelas lavagens subsequentes. A degradação enzimática da linamarina libera o HCN, que sendo volátil, se dissipa no ar, enquanto a lavagem faz com que ele seja removido junto com a água. Dessa forma, o procedimento torna o consumo da puba seguro para a família e para os consumidores.

Portanto, o preparo da puba revela como, a partir de um conhecimento tradicional, comunidades vêm, ao longo de gerações, utilizando princípios da química, como a fermentação, a alteração de pH e a detoxificação, para processar alimentos de forma sustentável e econômica. A puba é, ao mesmo tempo, um alimento, um produto da cultura regional e um resultado de transformações químicas compartilhadas pelo saber popular e pelo saber científico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mandioca tem grande importância na alimentação dos brasileiros, principalmente dos nordestinos, seu cultivo se dá principalmente pela agricultura familiar, sendo assim além de uma importante fonte nutricional, também uma fonte de renda para as famílias. Portanto, a mandioca faz parte do cotidiano das famílias, principalmente na zona rural, e pode ser utilizada para estudos experimentais de química, como no caso da puba, onde o processo de pubagem é um ótimo exemplo prático para explicação de diversos conceitos químicos e até mesmo biológicos, o que aproxima o conhecimento científico do senso comum.

A química é fundamental para entender e controlar os processos envolvidos na fabricação da puba de mandioca, desde a seleção da matéria-prima até o produto final. O conhecimento da química permite otimizar o processo, garantir a qualidade e segurança do produto e desenvolver novos produtos e aplicações para a puba.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Fernando. **Processamento e caracterização da puba**. 1992. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=artigos+sobre+a+puba+&oq=#d=gs_qabs&-t=1739318922741&u=%23p%3D08MATfB28z8J. Acesso em: 10 fev. 2025.

ARAÚJO, Elliane Martins. **Mandioca e seus derivados: aspectos alimentares e afetividades envolvidas no processo produtivo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Santo Antônio de Jesus, 2018. Disponível em: <http://ri.ufrb.edu.br/jspui/handle/123456789/3940>. Acesso em: 20 dez. 2024.

CAVALCANTE, Guilherme Soares. **Avaliação da produção de ácido láctico a partir de manipueira e microrganismos autóctones em sistemas anaeróbios**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2021.tde-04042022-142759>. Acesso em: 20 dez. 2024.

CEREDA, Marney Pascoli; VILPOUX, Olivier. **Metodologia para divulgação de tecnologia para agroindústrias rurais: exemplo do processamento de farinha de mandioca no Maranhão**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 6, n. 2, 2010. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/278/198>. Acesso em: 26 dez. 2024

COSTA, Fábio Roberto Teixeira; OLIVEIRA, Joana Pires Domingues de; CABRAL, Yokowama Odaguri Enes. **Métodos artesanais de processamento da mandioca no Distrito Federal**. EMATER. Brasília – DF. 2023. Disponível em: <https://biblioteca.emater.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/204/1/Processamento%20da%20mandioca%20FINAL.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2024.

CREPALDI, Iara. **Origem, evolução e geografia da mandioca: uma revisão**. Sitientibus, n. 10, 1992. Disponível em: <https://ojs3.uefs.br/index.php/sitientibus/article/view/10208/8467>. Acesso em: 30 jan. 2025.

DE ARAÚJO, Damásio Torres; DE SANTANA, Marta Maria Oliveira; SANTANA, Cristiana De Cerqueira Silva. **Agricultura familiar em comunidades de fundo de pasto do território norte do Itapicuru-BA**. In: OPEN SCIENCE RESEARCH IV. Editora Científica Digital, 2022. p. 1375-1385. Acesso em: 26 dez. 2024.

DOS SANTOS SILVA, Geisiane *et al.* **Agricultura familiar, economia popular e solidária e comercialização: “boas expectativas” como resultado de estudo na comunidade quilombola de Lagoa Grande, Feira De Santana-BA**. Revista Extensão & Cidadania, v. 6, n. 11, p. 13-13, 2019. Acesso em: 26 dez. 2024.

JUNIOR, Moisés de Souza Modesto *et al.* **Cultura da mandioca: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Embrapa. Brasília – DF. 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1056645/1/LVMandiocacap1.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

MARCON, Maria Janete Angeloni. **Efeito do processo fermentativo pelo método tradicional e com adição de glicose, sobre a qualidade do polvilho azedo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis – SC, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30369243.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2024.

MENEZES, Tobias José Barreto de; SARMENTO, Silene Bruder Silveira; DAIUTO, Érica Regina. **Influência de enzimas de maceração na produção de puba**. Food Science and Technology, v. 18, p. 386-390, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20611998000400005>. Acesso em: 05/02/2025.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. **“Mandioca”**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/saude/mandioca.htm>. Acesso em 13 de fevereiro de 2025.

SIVIERO, Amauri et al. **Farinha Mista De Mandioca Com Castanha-Do-Brasil: Uma Alternativa Agroecológica Para A Reserva Extrativista Cazumbá-Iracema**. 2008. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/510514>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SIMÕES, Diego do Carmo. **Aproveitamento de amido de mandioca para aplicações industriais: caso bioplásticos**. 2015. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/24206>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SOUZA, Maria da Paz Felix de. **Ensino das ciências ambientais a partir das tecnologias culturais no município de Coari - AM**. 2023. 85 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Centro de Ciências do Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais - ProfCiAmb, Tefé, AM, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/103041. Acesso em: 13 fev. 2025.

CAPÍTULO 2

A CONSTRUÇÃO CIVIL: IMPACTOS, SUSTENTABILIDADE E REUTILIZAÇÃO DO CONCRETO

João Pedro Barbosa dos Santos
Kallyn Fernandes
Marcelo Rodrigues Santos
Rubens Buonaduce
Radija Andressa Reis Leocadio

Resumo: A indústria da construção civil, apesar de seu papel crucial no desenvolvimento econômico e social, é uma grande geradora de resíduos sólidos e impactos ambientais, o que torna a reutilização do concreto uma estratégia essencial para mitigar esses efeitos negativos. Diante disso, este artigo explora a reciclagem e o reuso como alternativas sustentáveis. Para tanto, utilizou-se uma metodologia bibliográfica e dedutiva para analisar os impactos ambientais do concreto, os processos de reciclagem e reuso, e a ação de agentes ultraretardadores na hidratação do cimento. Assim, o estudo destaca que a reciclagem do concreto reduz significativamente as emissões de poluentes, enquanto o reuso de elementos estruturais é ainda mais eficiente, preservando a integridade dos materiais e evitando processos energéticos intensivos. Além disso, o artigo descreve como agentes ultraretardadores, compostos por ácido carboxílico e fósforo, atuam na interrupção do processo de hidratação do cimento, permitindo a reutilização do concreto fresco. Em conclusão, a pesquisa reforça que a reciclagem e o reuso do concreto são estratégias cruciais para tornar a construção civil mais sustentável, e que a implementação de políticas públicas, o desenvolvimento de tecnologias e a conscientização dos profissionais são fundamentais para promover a economia circular no setor.

Palavras-Chave: Resíduos de Construção Civil. Concreto Reciclado. Agente Ultraretardador.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, reconhecida por seu papel fundamental no desenvolvimento econômico e social (Brasileiro; Matos, 2015), enfrenta um desafio crítico: a crescente geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais associados. A extração de matérias-primas, a produção de concreto convencional e o descarte inadequado de resíduos contribuem significativamente para o esgotamento de recursos naturais, a poluição do ar e da água, e o agravamento do efeito estufa. Nesse contexto, a reutilização de resíduos sólidos, em especial o concreto, emerge como uma estratégia crucial para mitigar esses impactos e promover a sustentabilidade na construção civil.

Diante da urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa e minimizar a exploração de recursos naturais, a reciclagem e o reuso de concreto se apresentam como alternativas viáveis e necessárias. A reciclagem, embora complexa, permite a transformação de resíduos em agregados reciclados, reduzindo a demanda por matérias-primas virgens e as emissões de CO₂. O reuso, por sua vez, representa uma abordagem ainda mais eficiente, preservando a integridade dos materiais e evitando processos energéticos intensivos. A implementação de práticas de gestão de resíduos, aliada ao desenvolvimento de tecnologias e normativas que incentivem a reciclagem e o reuso, pode contribuir significativamente para a construção de um setor mais sustentável e responsável. Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo explorar as diferentes abordagens para a reutilização do concreto – um material que tem grande valor e importância nas obras –, analisando seus benefícios ambientais, desafios e perspectivas futuras.

Posto isso, o presente trabalho busca destrinchar sobre a gestão do concreto ao final de sua vida útil, explorando três abordagens principais: descarte, reciclagem e reuso; com foco na sustentabilidade e na redução do impacto ambiental. Para isso, optou-se pela metodologia de pesquisa bibliográfica, que se fundamenta na coleta e análise de materiais já elaborados e publicados em diversos documentos. Essa abordagem permite a exploração aprofundada do tema, com base em referenciais teóricos consolidados, possibilitando a construção de uma compreensão abrangente e fundamentada.

Outrossim, como objetivo principal, a pesquisa descreve, do ponto de vista químico, como o agente ultraretardador composto por ácido carboxílico e fós-

foro contendo ácido orgânico e sais possibilita a reutilização do concreto fresco afetando as etapas de hidratação do cimento. Em virtude disso, também empregou-se o método de pesquisa bibliográfica. Não obstante, abusou-se da abordagem dedutiva, que progrediu do conhecimento químico geral adquirido através da revisão bibliográfica para a análise das particularidades do tema. Dessa forma, o artigo está estruturado em 3 etapas: em primeiro lugar apresenta-se a fundamentação teórica com enfoque no objeto do trabalho-Impactos ambientais do concreto e importância da sua destinação correta enquanto rejeito. Em seguida, é descrito uma opção válida para a reutilização do concreto em estado fresco; retomando brevemente o objetivo principal do trabalho; detalhado o método e critério utilizado para o levantamento de informações; e finalmente é demonstrado, na perspectiva química, como o estabilizador retarda o processo de hidratação do cimento viabilizando, desse modo, a reutilização posterior do concreto. Por fim, as considerações finais da pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Impacto Ambiental do Concreto

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, mas sua produção e descarte geram impactos ambientais significativos. A fabricação de cimento, principal componente do concreto, Portland consome grandes quantidades de energia e libera aproximadamente 1 tonelada de CO₂ para cada tonelada de cimento produzida (Mehta, 2001). Além disso, a extração de matérias-primas, como calcário e argila, pode resultar em desmatamento, erosão do solo e impactos negativos nos ecossistemas locais.

O consumo de recursos naturais também é alarmante. Globalmente, a produção de concreto exige de 10 a 11 bilhões de toneladas de areia, cascalho e rocha britada anualmente, além de grandes quantidades de água potável, que ultrapassam 1 trilhão de litros por ano, apenas para mistura e cura do concreto (Mehta, 2001). O descarte inadequado de concreto e entulho da construção civil agrava esse cenário, ocupando grandes áreas em aterros e contribuindo para a poluição urbana.

A durabilidade do concreto também desempenha um papel fundamental na sustentabilidade. Atualmente, muitas estruturas começam a se deteriorar em

apenas 20 a 30 anos, resultando em altos custos de manutenção e reconstrução. Melhorar a vida útil do concreto por pelo menos 100 anos pode reduzir drasticamente o consumo de materiais e energia ao longo do tempo. Para isso, técnicas como a redução da relação água-cimento e o uso de aditivos superplastificantes são essenciais (Mehta, 2001).

A reciclagem do concreto surge como uma solução eficaz para mitigar esses impactos. A reutilização de agregados reciclados pode minimizar a extração de recursos naturais e apresenta menores índices de emissões de CO₂, além de diminuir a necessidade de aterros sanitários para disposição final dos resíduos (Estévez *et al.*, 2001). No entanto, a porosidade dos agregados reciclados pode afetar a resistência do concreto, exigindo a combinação com agregados naturais ou o uso de aditivos redutores de água (Mehta, 2001).

2.2 Reciclagem do Concreto

O processo de reciclagem do concreto pode ser dividido em quatro etapas principais: Primeiramente, a etapa de demolição e separação de resíduos. A reciclagem do concreto tem início com a demolição de estruturas, seguida da coleta do entulho gerado. Esse resíduo pode conter materiais indesejáveis, como metais, plásticos e madeiras, que precisam ser separados antes do processamento. A eficiência dessa etapa influencia diretamente a qualidade dos agregados reciclados (Zadeh *et al.*, 2023).

Em seguida, a etapa de britagem e processamento. O entulho de concreto é transportado para plantas de reciclagem, onde passa por um processo de britagem. Durante essa fase, são empregados separadores magnéticos para remover o aço presente no concreto armado, possibilitando a reciclagem desse material separadamente. O controle da granulometria dos fragmentos resultantes é essencial para garantir a qualidade do agregado reciclado (Estévez *et al.*, 2001).

A classificação dos agregados reciclados vem logo após. Após a trituração, os materiais são separados conforme sua granulometria. Agregados de diferentes tamanhos são classificados para atender às diversas aplicações na construção civil. Estudos indicam que a melhoria da qualidade dos agregados reciclados pode ser alcançada por meio de técnicas como lavagem, remoção da argamassa aderida e adição de materiais cimentícios suplementares (Zadeh *et al.*, 2023).

Por último, tem-se a reutilização dos agregados reciclados. Esses agregados possuem diversas aplicações, podendo ser utilizados na fabricação de concreto novo, em bases para pavimentação rodoviária e em estabilização de solos. Entretanto, a qualidade do concreto reciclado pode ser inferior à do convencional, devido à presença de resíduos da argamassa original, sendo necessário o emprego de aditivos para melhoria de desempenho (Mehta, 2001).

Estudos recentes indicam que o uso de nanotecnologia e tratamentos térmicos nos agregados reciclados pode melhorar significativamente a aderência entre os grãos e a matriz cimentícia, resultando em concretos reciclados com propriedades mecânicas mais próximas das convencionais (Zhang *et al.*, 2022). Além disso, pesquisas apontam que o uso de ligantes alternativos, como cimentos geopoliméricos, pode reduzir ainda mais as emissões de CO₂ associadas à produção de concreto reciclado (Davidovits, 2015).

Um estudo de inventário recente feito na Universidade Politécnica da Catalunha apresentou uma comparação entre os impactos ambientais associados à produção de agregados reciclados a partir de concreto demolido com os impactos da extração e processamento de agregados primários utilizados na produção de concreto convencional. Os dados foram obtidos a partir de quatro plantas de reciclagem localizadas na Catalunha, sendo que uma delas, com produção de agregados de alta pureza, serviu como referência principal para a análise (Josa *et al.*, 2006).

Os impactos ambientais foram avaliados considerando as principais emissões associadas a cada processo. As emissões de CO₂ são particularmente relevantes devido à sua contribuição para o efeito estufa, enquanto NO_x e SO₂ influenciam processos de acidificação e eutrofização. Particulados sólidos (poeira) também foram analisados devido ao seu impacto direto na qualidade do ar e na saúde humana. A Tabela 1 apresenta os valores de emissão para concreto reciclado e convencional.

Tabela 1-Comparação entre emissão de concreto reciclado e convencional

Poluente	Concreto Reciclado (kg/t)	Concreto Convencional (kg/t)
CO ₂	4,85	17,35
NO _x	0,16	0,32
SO ₂	0,12	0,28
Poeira	0,08	0,24

Fonte: Josa *et al.* (2006)

Os resultados indicam que a reciclagem de concreto apresenta uma redução significativa de emissões de CO₂, com valores cerca de 72% inferiores aos do concreto convencional. Essa diferença é atribuída ao menor consumo de combustíveis fósseis na reciclagem em comparação às operações de extração e processamento de agregados naturais. De maneira similar, as emissões de NO_x e SO₂ foram reduzidas em 50% e 57%, respectivamente, demonstrando menor impacto sobre a qualidade do ar e a acidificação ambiental. Além disso, a geração de poeira na reciclagem foi 66% inferior à do processo convencional, mitigando impactos locais relacionados à poluição atmosférica e à saúde ocupacional (Josa *et al.*, 2006).

2.3 Reuso do Concreto

Além do descarte e da reciclagem, a gestão do concreto ao fim de sua vida útil apresenta ainda uma terceira abordagem viável: o reuso. O descarte tradicional, que consiste na demolição e deposição em aterros, representa a opção mais prejudicial ao meio ambiente, contribuindo para a degradação de solos e emissões de gases de efeito estufa devido ao transporte e deposição dos resíduos (Küpfer *et al.*, 2022). Nessas circunstâncias, a reciclagem surge como uma alternativa viável, reduzindo significativamente a exploração de recursos naturais e mitigando impactos ambientais. O processo de reciclagem do concreto gera aproximadamente 3.000 g de CO₂ por tonelada de agregado reciclado, enquanto a extração de agregados naturais libera entre 6.900 e 7.700 g por tonelada (Estévez *et al.*, 2001). No entanto, a reciclagem ainda demanda um alto consumo de energia devido à trituração, seleção e recomposição do material para ser reutilizado em novas misturas de concreto (Zadeh *et al.*, 2023).

Uma estratégia ainda mais eficiente é o reuso de elementos estruturais de concreto, que evita processos energéticos intensivos e preserva a integridade dos materiais. O reuso consiste na desmontagem seletiva de elementos de concreto, que são reaproveitados em sua forma original, reduzindo drasticamente a necessidade de novas matérias-primas e minimizando o consumo energético (Küpfer *et al.*, 2022).

Dois estudos de caso na Suíça demonstraram a viabilidade dessa abordagem: uma passarela arqueada pós-tensionada e um pavimento de estacionamento.

to, ambos construídos com blocos de concreto reaproveitados de edifícios demolidos. A passarela, com 10 metros de comprimento, foi construída utilizando 25 blocos de concreto reaproveitados de um edifício. Os blocos foram cuidadosamente extraídos por meio de corte com serra diamantada, minimizando danos estruturais. Uma das principais vantagens desse método é a conservação das propriedades mecânicas originais do material, evitando a necessidade de britagem e reprocessamento, característicos da reciclagem. O impacto ambiental da passarela foi reduzido em 75% em relação à construção de uma estrutura equivalente com concreto novo, devido à eliminação do uso de cimento virgem e à minimização do consumo energético durante o processamento dos materiais (Küpfer *et al.*, 2022).

O segundo estudo de caso envolveu a construção de um pavimento de estacionamento de 233 m², utilizando blocos de concretos reaproveitados de vários edifícios demolidos localizados a menos de 15 km do local da obra. Essa proximidade minimizou as emissões de CO₂ associadas ao transporte dos materiais. Os blocos, obtidos de paredes e lajes de concreto, foram adaptados para a nova aplicação, reduzindo drasticamente a necessidade de novos agregados e ligantes. O impacto ambiental do pavimento foi 82% inferior ao de alternativas convencionais, como concreto reciclado ou asfalto, demonstrando a eficiência do reuso como estratégia de economia circular (Küpfer *et al.*, 2022).

Os resultados dos estudos apontam que o reuso de concreto apresenta vantagens ambientais superiores à reciclagem e ao uso de concreto convencional. Enquanto a reciclagem reduz a necessidade de extração de novos recursos, ainda exige alto consumo de energia para britagem e reprocessamento. Já o reuso conserva as propriedades originais dos elementos estruturais e evita etapas adicionais de processamento, tornando-se uma alternativa mais sustentável e menos onerosa em termos de emissões de carbono. Apesar dos benefícios ambientais do reuso, essa prática ainda enfrenta desafios técnicos e logísticos. A viabilidade estrutural dos blocos de concreto depende de sua qualidade original e do processo de extração, que deve ser realizado de forma cuidadosa para evitar danos. Além disso, a adaptação de elementos reutilizados para novos projetos pode exigir modificações no design estrutural e no método construtivo.

No entanto, estudos indicam que, quando bem planejado, o reuso pode ser economicamente competitivo com a reciclagem e o uso de concreto convencio-

nal (Küpfer *et al.*, 2022). Ao comparar as três abordagens, o descarte continua sendo a menos desejável devido aos impactos ambientais significativos e às regulamentações cada vez mais restritivas sobre aterros sanitários. A reciclagem representa um avanço importante, reduzindo a necessidade de exploração de recursos naturais e possibilitando a reutilização de materiais. No entanto, o reuso se apresenta como a alternativa mais sustentável, pois reduz ainda mais as emissões de CO₂, conserva a energia incorporada nos materiais e minimiza a geração de resíduos. Dessa forma, a implementação de normativas que incentivem o reuso e a padronização de componentes estruturais para facilitar sua reutilização são medidas fundamentais para promover a economia circular na construção civil (Küpfer *et al.*, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto é classificado como resíduo Classe A, podendo ser encontrado tanto em estado fresco (rejeitos de preparo) quanto endurecido (entulho de demolição) (Barbosa *et al.*, 2023, p. 9). Dentre os métodos existentes para reciclar o concreto que ainda não endureceu, há aquele que ocorre por meio do uso de aditivo estabilizador para reduzir a velocidade de hidratação da mistura, permitindo o armazenamento para uso futuro sem perda de qualidades físicas e mecânicas. Esse estabilizador, que é composto por ácido carboxílico¹ e fósforo contendo ácidos orgânicos², inibe a nucleação do silicato de cálcio hidratado (CSH) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), interrompendo todas as fases de hidratação do cimento incluindo a fração de aluminato tricálcico (3CaO • Al₂O₃ ou C₃A). Conforme a dosagem, a mistura permanece nesse estado de desativação por horas ou, no máximo, três dias, quando não há, antes, a adição de um ativador – que pode ser definido como um acelerador da hidratação – para dar continuidade ao processo de hidratação (Buttler, 2003, p. 23).

Munindo disso, a presente pesquisa tem como foco descrever, da perspectiva química, como esse agente ultraretardador composto por ácido carboxílico e fósforo contendo ácido orgânico e sais atua interrompendo o processo multifásico de hidratação do cimento. Para isso, empregou-se tanto o método de revisão bibliográfica, que consiste no levantamento de material já elaborado e publicado

¹ Fórmula genérica: R-COOH.

² Fórmula genérica: R-PO(OH)₂.

em documentos a fim de explicar o tema com base em referências teóricas, quanto o método dedutivo que parte do todo – conhecimento químico adquirido pelos autores através da revisão bibliográfica do assunto – às particularidades.

3.1 Ação do Estabilizador na Perspectiva Química

É fato que, para entender o mecanismo de ação do estabilizador na mistura, antes é necessário conhecer as fases de hidratação do cimento. Em termos químicos, a hidratação é a junção de água a uma substância seca, resultando em um novo composto, um hidrato (Castro, 2021, p. 7). Assim, a hidratação do cimento consiste na reação entre o cimento que, segundo Cabral (2021), constitui-se num pó fino inorgânico com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, e a água, resultando em mudanças químicas e físico mecânicas, como a cura e o endurecimento³. Dessa forma, num cenário normal, os compostos do cimento, como silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ou C_3S), silicato de cálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ou C_2S), reagem com a água, liberando íons Ca^{2+} , OH^- e outros na solução. Essa primeira etapa pode ser chamada de Dissolução.

Adiante, na fase de Nucleação, os íons da solução começam a se agrupar, formando núcleos de hidratos de cálcio, como o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e os hidratos de silicato de cálcio (C-S-H), conforme as reações de hidratação evidenciado na Tabela 2. Nisso, os núcleos de hidratos crescem, formando cristais que se interligam, resultando no endurecimento do cimento.

Tabela 2-Reações de hidratação do cimento

Compostos que estão reagindo	Reagentes	Produtos
Silicato tricálcico (C_3S)	$2(3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 6 \text{H}_2\text{O}$	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3 \text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$
Silicato dicálcico (C_2S)	$2(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 4 \text{H}_2\text{O}$	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3 \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
Aluminato tricálcico (C_3A)	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + 3(\text{Ca SO}_4\cdot 2 \text{H}_2\text{O}) + 26 \text{H}_2\text{O}$	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{Ca SO}_4\cdot 32 \text{H}_2\text{O}$

Fonte: Josa *et al.* (2006).

³ O termo “cura” do cimento marca a transição da pasta plástica original para um material sólido, com a capacidade de medir sua resistência recém-adquirida. Já o “endurecimento” descreve o subsequente desenvolvimento de dureza e resistência que ocorre após a cura (CASTRO, 2021, pg 7).

Quando adicionados à mistura, o agente ultrarretardador atua desde a fase inicial, retardando a dissolução dos compostos do cimento. Dessa forma, os estabilizadores compostos por ácido carboxílico e fósforo contendo ácido orgânico e sais se adsorvem nas superfícies das partículas de cimento, formando uma barreira que impede o contato com a água, e sem água suficiente a hidratação não é completa (CASTRO, 2021, pg 7). Além disso, essa barreira também dificulta a liberação de íons Ca^{2+} , essenciais para a formação de C-S-H e CH.

Constantemente, a complexação dos íons Ca^{2+} pelos aditivos estabilizadores é outro mecanismo crucial. Ao formar complexos, os aditivos removem os íons Ca^{2+} da solução, impedindo a nucleação e o crescimento dos hidratos de cálcio. Isso interfere diretamente na formação do C-S-H, o principal responsável pela resistência do concreto, e do CH, que contribui para a alcalinidade da pasta de cimento.

Paralelamente, a inibição da nucleação e do crescimento dos hidratos é ainda reforçada pela adsorção dos aditivos nos locais de nucleação e nos cristais em crescimento. Essa adsorção impede a formação de novos cristais e retarda o desenvolvimento dos já existentes. Por fim, a fração C_3A , conhecida por sua rápida hidratação (Thomaz, 2011, pg.2), também é afetada pelos estabilizadores. A formação de etringita ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), que ocorre devido à presença de sulfato de cálcio (gesso) durante o processo de hidratação do C_3A , conforme a reação presente na Tabela 2, também é retardada pela presença dos aditivos, que interferem na disponibilidade de íons Ca^{2+} e sulfato.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil, apesar de sua importância econômica, precisa evoluir para um modelo mais sustentável. A reciclagem e o reuso do concreto são estratégias essenciais para mitigar os impactos ambientais e reduzir a exploração de recursos naturais. O uso de aditivos estabilizadores permite uma maior eficiência na reutilização do concreto fresco, minimizando desperdícios e emissões de carbono.

Dessa forma, a implementação de políticas públicas e incentivos para essas práticas se torna fundamental para transformar a indústria da construção em um setor mais alinhado com os princípios da sustentabilidade e da economia circular.

Além disso, a química desempenha um papel fundamental nesse processo, pois os mecanismos de hidratação do cimento e os efeitos dos estabilizadores químicos são essenciais para garantir a reutilização eficiente do concreto. O uso de agentes ultraretardadores, como os compostos de ácido carboxílico e fósforo, inibe temporariamente as reações de hidratação, possibilitando um maior tempo de manuseio e reaproveitamento do concreto fresco. Esses estabilizadores impedem a nucleação dos hidratos de silicato de cálcio e do hidróxido de cálcio, elementos fundamentais no endurecimento do cimento, retardando assim o seu endurecimento prematuro e permitindo sua reutilização sem comprometimentos estruturais.

Além da importância ambiental e química, a conscientização de profissionais da construção civil sobre a gestão sustentável de resíduos é essencial para a adoção de novas práticas e tecnologias. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento podem fomentar soluções inovadoras que ampliem a viabilidade econômica e técnica da reciclagem e do reuso do concreto. A colaboração entre empresas, governo e sociedade civil também desempenha um papel crucial na criação de um ambiente regulatório favorável à sustentabilidade no setor.

Por fim, a transição para um modelo de economia circular na construção civil exige um compromisso contínuo com a inovação, a eficiência de recursos e a responsabilidade ambiental. A redução da pegada de carbono da construção civil não só contribuirá para a mitigação das mudanças climáticas, mas também garantirá um futuro mais sustentável para as próximas gerações. Assim, medidas concretas para a implementação de práticas sustentáveis devem ser incentivadas, promovendo um equilíbrio entre desenvolvimento econômico, avanços químicos e preservação ambiental.

5. REFERÊNCIAS

AZAPAGIC, A. **Life cycle assessment and its application to process selection, design, and optimization.** *Chemical Engineering Journal*, v. 73, n. 1, p. 1-21, 1998.

BARBOSA, U. da S.; SALOMÃO, P. E. A.; LAUAR, G. T.; RIBEIRO, P. T. Reutilização do Concreto como Contribuição Para a Sustentabilidade na Construção Civil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [S. l.], v. 2, n. 1, 2023. Disponível em: <http://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/609>. Acesso em: 28 fev. 2025.

BRASILEIRO LL, MATOS JME. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** *Cerâmica* [Internet]. 2015 Abril; 61(358):178–89. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em 01 mar. 2025.

BUTTLE, Alexandre Marques. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto:** influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 2003. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São

CABRAL, Gabriel. **Química do Cimento.** Petquímica, 2021. Disponível em: <http://www.petquimica.ufc.br/quimica-do-cimento/>. Acesso em: 4 mar. 2025.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. In: **Compósitos madeira-cimento:** um produto sustentável para o Futuro [online]. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1. <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>.

CIPOLLA, et al. **Sustentabilidade na Construção Civil: Materiais com baixa pegada de carbono.** Universidade de Anhembe do Morumbi. Junho de 2024. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/45598>. Acesso em: 05 mar. 2025.

CONCRETO reciclado: como funciona, vantagens e desvantagens. **Locadora Equiloc**, 2019. Disponível em: [https://locadoraequiloc.com.br/blog/quais-as-vantagens-do-concreto reciclado-para-a-construcao-civil/](https://locadoraequiloc.com.br/blog/quais-as-vantagens-do-concreto-reciclado-para-a-construcao-civil/). Acesso em: 01 mar. 2025.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymer Chemistry and Applications.** 3. ed. Saint-Quentin: Geopolymer Institute, 2015.

EKVALL, T. **A market-based approach to allocation in open-loop recycling.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 29, n. 1-2, p. 91-109, 2000.

ESTÉVEZ, M. A.; et al. **Performance of recycled aggregate concrete: A comparative analysis.** *Construction Materials Journal*, v. 15, p. 85-102, 2001.

GLÓRIA, et al. **Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 05, Ed. 11, Vol. 09, pp. 61-80. Novembro de 2020. ISSN: 2448 0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/reciclagem-e-reutilizacao>. Acesso em 01 mar. 2025.

HUPPES, G. A structured approach to modeling product systems and the comparison of their environmental impacts. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 1, p. 35-42, 1994.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION (ISO). ISO 14041:1998- **Environmental management-Life cycle assessment-Goal and scope definition and inventory analysis**. Genebra: ISO, 1998.

JUNTA DE RESIDUS. **Guide of application of decree 201/94**. Catalunha: Waste Management Board, 1995.

KÜPFER, C.; et al. **Reusing better than recycling: Environmental benefits of reusing structural components**. *Construction and Building Materials*, v. 2022, p. 1-12, 2022.

MEHTA, P. K. **Reducing the environmental impact of concrete**. *Concrete International*, v. 23, n. 10, p. 61-66, 2001.

THOMAZ, Eduardo C. S. Hidratação do Cimento. **Instituto Militar de Engenharia**, 2011. Disponível em: http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/Hidratacao_do_cimento.pdf. Acessado em: 01 mar. 2025

ZADEH, E. E.; et al. **Mechanical properties and durability of recycled aggregate concrete: A review**. *Journal of Building Engineering*, v. 64, p. 104092, 2023.

CAPÍTULO 3

A QUÍMICA DO CHOCOLATE E A IMPORTÂNCIA DO CULTIVO DE CACAU PARA O EXTREMO SUL DA BAHIA

Reinan Vinícius Santos de Almeida

Resumo: Conhecido como “fruto dos deuses”, o cacau é o fruto maduro de uma árvore tropical conhecida popularmente como Cacaueiro (*Theobroma cacao*), pertencente à família *Malvaceae*, o fruto tornou-se a matéria prima para a produção do chocolate. No Brasil, os primeiros cacaueiros começaram a surgir por volta do século XVII, durante a colonização portuguesa. Inicialmente a árvore do cacaueiro, era oriunda da região amazônica, entretanto, passou a se espalhar pelo território brasileiro, mas especificamente pelo estado do Pará e Bahia, onde a mesma se adaptou com as condições climáticas e territoriais tornando os devidos estados em grandes produtores e exportadores de amêndoas de cacau. Tendo em vista, o seu rico valor comercial, o objetivo dessa pesquisa é analisar os processos físico-químicos envolvidos durante o processo da fabricação do chocolate, desde a retirada dos frutos até a conclusão do produto final e apontar sobre a importância da produção do cacau para os pequenos agricultores do extremo sul da Bahia, que fazem uso de técnicas da agricultura familiar em seu cultivo.

Palavras-chaves: Produção de chocolate. Processos físico-químicos. Agricultura familiar.

INTRODUÇÃO

Tendo origem na América Central e do Sul, mas especificamente em meio às sombras da maior floresta tropical do planeta, a árvore do cacaueiro responsável por produzir o fruto popularmente conhecido como cacau (*Theobroma cacao*), cresceu em abundância nas regiões da Mata Amazônica. Pertencente à família *Malvaceae*, o fruto se tornou a matéria prima para a produção de chocolates e outros produtos derivados do cacau, a partir do processo de colheita, fermentação, secagem, torrefação e moagem das suas amêndoas. Devido a isso, o cultivo

do cacau tornou-se uma grande fonte de renda para diversos agricultores, influenciando positivamente para a economia brasileira.

De acordo com Santelli (2023) “não se sabe ao certo como e quando o cacau chegou à Amazônia brasileira. Seu cultivo, no entanto, começou provavelmente no final do século XVII com a colonização portuguesa”. Com isso, inicialmente, o cacau foi introduzido na região do estado Pará, entretanto, com o passar do tempo (entre os séculos XVII e XIX), a árvore do cacau, começou a se expandir pelo bioma da Mata Atlântica, mas especificamente pelo território do estado da Bahia, onde a mesma, se adaptou ao clima do extremo sul do estado que se tornou uma grande área de cultivo do fruto.

Segundo Santos *et al.* (2015) “a primeira introdução do cacau no sul da Bahia ocorreu em 1746, quando sementes da variedade Amelonado foram importadas da Região Amazônica por um francês e plantadas no município de Canavieiras”. Ademais, após o francês Luiz Frederico Warneaux que residia no Pará, destinar ao fazendeiro Antônio Dias Ribeiro, algumas sementes da árvore do cacau, o fazendeiro passou a realizar o cultivo do fruto, que posteriormente, se expandiu e as primeiras sementes do cacau passaram a chegar na cidade de Ilhéus-Ba, por volta do ano de 1752, onde constatou-se uma boa adaptação da planta, sendo um dos fatores responsáveis pela disseminação dos cacauzeiros pelas fazendas regionais durante o século XIX, devido ao crescimento das exportações do fruto, que aumentavam de acordo com o consumo de chocolate nos países do continente Europeu e dos Estados Unidos. Essa época ficou conhecida como “ouro do cacau”, e proveu um aumento significativo na renda dos agricultores que apostaram no cultivo do cacau, além disso, esse evento foi responsável por fazer com que o Brasil ocupasse o segundo lugar no ranking mundial de produtores de cacau.

Entretanto, a partir do ano de 1989, o Brasil que era considerado um dos maiores exportadores de cacau, sofreu uma grande queda na sua produção. O país que na década de 80 chegou a exportar cerca de 400 mil toneladas de amêndoas de cacau, teve um decréscimo relevante em sua produção. Segundo a Agência FAPESP, o Brasil exportou em média 100 mil toneladas na década de 2000, tendo uma queda de aproximadamente 300 mil toneladas. Diante esta situação

devastadora, simultaneamente, a cacauicultura do Sul da Bahia, sofreu grandes prejuízos econômicos, devido a propagação do fungo chamado de *Moniliophthora perniciosa*, sendo responsável pelo surgimento e desenvolvimento da doença conhecida como “vassoura de bruxa”, que uma vez instalada em uma árvore do cacaueiro, provoca grandes danos, como a deformação da planta, apodrecimento e morte dos locais afetados pelo fungo.

Contudo, diante dos fatos abordados Arantes (2021), afirma em sua obra que os danos causados pela “vassoura de bruxa” repercutiu efeitos socioeconômicos, através da queda da receita e endividamentos dos fazendeiros, que influenciou no aumento massivo de desempregados, além disso, o aumento significativo do fungo, também gerou grandes problemas na esfera ambiental, pois devido o cultivo do cacau ser realizado as sombras dos remanescentes da Floresta Atlântica, o plantio se tornou importante para a preservação do bioma.

Diante a proporção dos danos causados pelo eventual problema (vassoura de bruxa), o Ministério da Agricultura em parceria com o Ministério da Pecuária e Abastecimento, criaram o órgão da Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira (Ceplac), com o objetivo de desenvolver trabalhos associados a uma cultura rural sustentável nas regiões onde ocorrem a produção de cacau, através do desenvolvimento e aplicação de assistências técnicas, capacitações e métodos de melhoria de desempenho e eficiência econômica, com a finalidade de reverter os prejuízos causados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente artigo tem por finalidade apresentar uma pesquisa sobre os fatores químicos recorrentes da produção de chocolate, a partir do processo de fermentação das amêndoas do cacaueiro. Além disso, o artigo relata sobre a importância do cultivo de cacau para a economia do Extremo Sul da Bahia, tendo em vista o plantio realizado por pequenos produtores que usam recursos e métodos da agricultura familiar para manusear e propagar seu plantio.

2.2 Objetivo Específicos

Entender e compreender a origem histórica do cacau.

Analisar e descrever como ocorre o processo de colheita, fermentação, secagem, torrefação e moagem das amêndoas do cacau.

Descrever fatores químicos/físicos que influenciam na produção do chocolate.

Apresentar técnicas e manejos, dentro da agricultura familiar, utilizados para produção de cacau, a partir da realização de entrevista.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado como metodologia pesquisas bibliográficas e a visita a uma pequena propriedade rural localizada nas proximidades da cidade de Itamaraju-Ba, com o objetivo de realizar uma entrevista com o proprietário que faz uso da agricultura familiar para cultivar o cacau, dentre outros frutos em sua localidade, com o intuito de obter dados essenciais para discussão e argumentação do presente estudo, além de auxiliar na construção dos resultados finais da pesquisa em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estrutura do Cacaueiro

O cacaueiro (*Theobroma cacao*), é uma planta originária da Amazônia, que inicialmente era considerada da família *Sterculiaceae*, entretanto, após a realização de pesquisas filogenéticas, o cacaueiro passou por modificações, tornando-se parte da família *Malvaceae*, pertencente ao gênero *Theobroma*. As árvores da espécie do cacaueiro, crescem e se desenvolvem em terras baixas, como interior de bosques escuros e úmidos, com o intuito de se proteger debaixo de grandes árvores nativas das florestas, o seu fruto possui grande influência na economia do Brasil, pois suas sementes são as únicas utilizadas para a produção de chocolate.

A árvore do cacaueiro, é uma planta de pequeno porte, possui uma copa globosa, ou seja, com formato arredondado e de estatura baixa, possui folhas

com aspectos longos e alternadas, com formato lanceolado, possuindo uma base larga que vai afinando de acordo se aproxima da extremidade, seu caule na fase jovem possui uma casca lisa e levemente esverdeada, e na fase adulta, passa a ter uma casca áspera com tons próximos ao cinza escuro. Os primeiros frutos do cacaueiro, começam a surgir a partir do terceiro ano após a plantação, de acordo Santos (2021), “o fruto do cacaueiro, possui forma oval com cerca de 15 a 25 cm de comprimento, característica que pode variar de acordo com a variedade do cacau, e quando chegam à fase madura, grande parte das vargens mudam de cor, saindo do verde para tons próximo do vermelho, laranja ou amarelo”. No interior do fruto, encontra-se as sementes, que são compostas por dois cotilédones e um pequeno gérmen ou embrião revestidos por uma película conhecida como “testa” (casca), envolvida por uma polpa branca com tons rosados, com textura mucilaginosa e adocicada.

4.2 Processos Essenciais para a Transformação das Amêndoas do Cacaueiro em Chocolate (Colheita, Fermentação, Secagem, Torrefação, Moagem)

4.2.1 Colheita do fruto e abertura para retirar as amêndoas

A colheita do cacau, se inicia após o agricultor identificar que o fruto já se encontra na coloração próxima ao amarelo ou alaranjado, essa característica é importante para garantir que o fruto possua a quantidade ideal de açúcar e outras substâncias de extrema importância para o processo de fermentação, para que deste modo, as amêndoas possam proporcionar qualidade e eficácia na preparação do produto final. Após, ocorrer a identificação dos frutos prontos para colheita, o cacaucultor realiza a retirada do cacau com o auxílio de ferramentas como podão, machete, facão dentre outros apetrechos apropriados para remover o fruto da árvore, de modo que não prejudique os botões florais ou a própria planta.

Posteriormente, após a realização da colheita os frutos são direcionados e amontoados em um local adequado até o momento em que ocorre a quebra dos frutos, que ocorre de maneira manual com uso de facões/facas. Neste momento, os cacaucultores separam as amêndoas do cacau da casca, em seguida as

encaminham para o processo de fermentação, é importante que esse processo não ultrapasse 48h, pois segundo Santos (2021 *apud* Henriques, 2017) “o período entre a quebra e o início da fermentação não deve ser superior a 24 horas para que não ocorram reações químicas indesejáveis”.

4.2.2 Processo de fermentação

Seguidamente, após a separação das amêndoas da casca do cacau, as sementes envolvidas por uma polpa mucilaginosa, são destinadas ao processo de fermentação. Para que ocorra a fermentação, as sementes são armazenadas em caixas de madeira (podendo variar de região para região) durante aproximadamente 2 a 7 dias, esta etapa varia de acordo com a variedade e as condições em que se encontram os frutos. A fermentação, trata-se de uma fase fundamental para obtenção de amêndoas de qualidade, considerando que neste processo ocorrem as transformações físicas, bioquímicas e estruturais que influenciam significativamente o desenvolvimento do sabor, aroma e cor do chocolate e de outros produtos derivados do cacau.

Nesse processo, os microrganismos presentes no fruto do cacau começam a agir pela polpa que envolve toda semente do cacau, sendo uma região onde se encontram elevados níveis de glicose, frutose e sacarose. Deste modo, o processo de fermentação ocorre a partir dos agentes microbiológicos de forma espontânea, tendo como agentes primários as leveduras que devido ao alto teor de açúcar e o baixo nível de pH, e a falta de oxigênio dentro das sementes, as bactérias do ácido láctico, declinam as leveduras depois de 48h de fermentação e favorecem o surgimento de bactérias de ácidos acéticos que irão contribuir com o processo de fermentação.

O processo de fermentação ocorre a partir de duas fases, onde o primeiro momento é destinado ao processo chamado de hidrólise, provocado pelas leveduras e bactérias presentes nas sementes, com o intuito de realizar a quebra da sacarose, formando assim as moléculas de glicose e frutose que posteriormente favorecerão a produção de etanol e lactato. Contudo, após 48 h as leveduras já terão degradado grande parte da polpa que reveste a semente, ocasionando a drenagem do líquido presente no interior das sementes, favorecendo o estabelecimento de oxigênio, tornando o caminho viável para que as bactérias acéticas possam dar continuidade a segunda fase do processo de fermentação.

Na segunda etapa do processo de fermentação, ocorre a produção do ácido acético, devido a oxidação do etanol realizado pelas bactérias acéticas, produzindo assim, o dióxido de carbono e consequentemente o calor, fator que favorece o aumento da temperatura da massa, podendo chegar até 50°C, essas condições permitem que o ácido acético e o calor se insiram na parte interna da semente, sendo a ação responsável por realizar a quebra da parede celular e consequentemente a morte do gérmen. De acordo com a visão de Santos (2021) “consequentemente, a atividade enzimática endógena é desencadeada após a quebra das paredes e membranas celulares da então amêndoa, promovendo a formação de precursores do sabor do chocolate.” Todavia, após a realização dessas etapas, segue-se para as reações químicas endógenas, que possuem a função de iniciar a oxidação dos polifenóis, principalmente devido a polifenoloxidase e os aminoácidos gerados, que unindo-se com os quinonas formam a tonalidade marrom, sendo a característica típica do cacau, além de desempenharem o papel de reduzir a adstringência e o amargor das amêndoas.

4.2.3 Processo de Secagem

Após a conclusão do processo de fermentação, imediatamente é iniciada a etapa de secagem das amêndoas, com a finalidade de reduzir em média de 40 a 60% da umidade das amêndoas. Esse processo é importante para impedir a proliferação de microrganismos, além de garantir maior estabilidade no momento de armazenamento. Este processo, pode ser realizado de modo natural, ao expor as sementes ao sol sob o auxílio de barcaças, sendo uma espécie de “forma de madeira” com um teto móvel ou com o uso de bancadas, possuindo as mesmas características, porém são instrumentos móveis com o teto fixo. As desvantagens deste método tradicional, estão associadas a demora que é consideravelmente maior, pois possui influência do clima local, assim como o elevado número de mão de obra. Em situações em que a colheita coincide com o tempo chuvoso, ou falta local para armazenar um grande volume das amêndoas, este processo pode ser direcionado para secadores especiais, construídos para auxiliar no processo de secagem através do calor extraído da combustão de madeira ou outros combustíveis, além da possibilidade de utilizar coletores solares, que se manuseados corretamente, podem gerar bons resultados.

Durante o processo de secagem através da combustão, é necessário estar atento a temperatura do secador, pois o mau manuseamento pode ocasionar o gosto de fumaça no produto, além de provocar o ressecamento externo das amêndoas, fazendo com que os poros se fechem e favoreçam a perda da permeabilidade, e consequentemente tornando mais difícil o acesso da umidade interna ao exterior da semente, assim sendo, o ácido acético não é eliminado completamente, ocasionando um sabor ácido na amêndoa, influenciando na perda da qualidade sensorial do produto final, ocasião que também pode ocorrer na sacanagem natural, caso os raios solares estejam muito intenso. Ademais, a secagem deve ocorrer com a temperatura na faixa de 35 a 40°C, para não prejudicar as enzimas e afetar diretamente no resultado final, outro ponto importante, é que a secagem deve ocorrer entre 4 a 5 dias após a fermentação.

Por conseguinte, além da extração da água durante o processo de secagem, as reações químicas que iniciaram no processo de fermentação retornam às suas determinadas funções, dessa vez, atuando em parceria com as enzimas no interior das amêndoas, sendo a ação responsável por desenvolver a formação de compostos voláteis que atuam no desenvolvimento do aroma, sabor e cor.

Por fim, após a conclusão destas etapas, as amêndoas são classificadas manualmente e embaladas e podem ser armazenadas por meses, entretanto, é preciso tomar alguns cuidados no momento de armazenamento, pois em condições não adequadas, as amêndoas estão sujeitas a contaminações por vetores, poeira ou má manipulação dos trabalhadores. Devido a isso, as amêndoas secas devem ser diretamente condicionadas em sacos impermeáveis, pois elas podem obter ou perder umidade durante o armazenamento ou ao serem transportadas, a depender das condições psicrométricas do ar circundante, sendo fatores que podem gerar o surgimento de fungos deteriorantes, trazendo riscos a qualidade química do cacau. Contudo, é de extrema importância que as sacas sejam armazenadas em locais secos e arejados sem o risco do aparecimento de vetores.

4.2.4 Torrefação e processo de obtenção do chocolate

Após a conclusão das etapas anteriores, inicia-se o processo de torrefação, sendo uma operação tecnológica realizada em indústria de processamento de chocolate, com a finalidade de desenvolver o tratamento térmico essencial para realçar o desenvolvimento das amêndoas, formadas a partir dos processos de

fermentação e secagem. Durante a torrefação, ocorre a reação química de Maillard, sendo o processo mais importante na mudança da composição das amêndoas do cacau, onde as reações não enzimáticas se iniciam através de interações entre os grupos de carbonila (açúcares redutores) e grupos de amino nucleofílicos de aminoácidos, como as proteínas, resultando na condensação do açúcar-anina e rearranjo dos produtos amadori.

Contudo, estes estágios subsequentes estão associados a desidratação e fragmentação dos açúcares e aminoácidos presente nas amêndoas, ademais, há outras etapas de fragmentação que também são responsáveis pela formação simultânea de compostos grandemente reativos, no entanto, com baixo peso molecular, como por exemplo os compostos a-dicarbonil, a-hidroxicarbonil dentre outros. Por fim, estes precursores-chaves influenciam no desenvolvimento do sabor, qualidade e aroma do chocolate durante o processo de torrefação.

4.2.5 Moagem e Refino

No momento em que as amêndoas são direcionadas para o processo de moagem, elas se encontram em pequenos pedaços, assim sendo, a etapa da moagem é responsável por produzir uma baixa viscosidade e adequar o sabor do chocolate ao produto. Portanto, é a partir da moagem do “nibs”, que se torna possível a produção do licor de cacau, entretanto, a viscosidade do licor, será definido a partir do grau de torração e da umidade do “nibs”, entretanto, a definição real das partículas após a moagem, é classificada conforme o tipo de chocolate e o mercado que o mesmo será destinado, no entanto, a maioria das partículas deve ser menor que 40 μ m.

Enquanto isso, o processo de refino é responsável por realizar a redução do tamanho das partículas de açúcar do chocolate e do pó de cacau, sendo uma etapa de grande importância, considerando o impacto de qualidade, pois essas partículas devem se manter entre 25 μ m e 20 μ m as tornando imperceptíveis no momento de degustação do produto final.

4.2.6 Etapa de Conchagem

Durante o processo de conchagem, o chocolate é agitado de forma contínua por um longo período de tempo (aproximadamente 08 h), nessa etapa, ocorrem

diversas transformações físicas e químicas. Esse processo, é considerado de extrema importância no durante a produção do chocolate para a realização dos últimos ajustes, pois trata-se do processo onde é averiguado o sabor e aromas finais, além dos últimos reajustes dos parâmetros reológicos e texturização adequada da massa do chocolate, por fim, esse processo costuma ser constituído por duas etapas, sendo elas: A conchagem seca, onde ocorre a redução da umidade e a melhora reologia, e a conchagem úmida, em casos que ocorre a adição de lecitina.

A conchagem, é considerada o último processo relacionado ao desenvolvimento do sabor do chocolate, devido a isso, essa etapa se torna a última oportunidade do fabricante realizar ajustes de acordo com as suas expectativas para o resultado do produto final, considerando que essa etapa de mistura, envolve fatores como a redução da umidade, volatilização dos ácidos voláteis e aldeídos, o desenvolvimento da textura uniforme e possíveis alterações na cor do chocolate, devido a emulsificação e oxidação de taninos.

4.2.7 Processo de temperagem

Devido à natureza polimórfica da manteiga de cacau, o chocolate deve passar pelo processo de temperagem ou pré-cristalização antes de serem encaminhados para o processo de modelagem ou de recobrimento, deste modo, a temperagem é responsável por garantir que a manteiga de cacau se cristalice e se torne estável, desse modo, para que ocorra a cristalização, é utilizado o recurso de agitação, a definição do tempo e a temperatura necessária até o ponto de cristalização. Tendo em vista, o objetivo que se deseja alcançar, inicialmente o chocolate é aquecido até chegar ao ponto de fusão completo, onde se encontra a gordura do chocolate (entre 45-50°C).

Em seguida, é realizado o resfriamento controlado entre 28-29°C, induzindo desta forma o processo de cristalização da gordura, no entanto, como ainda existe a presença de cristais instáveis, é necessário que haja o aquecimento do chocolate até 30-32°C, realizando dessa forma o derretimento desses cristais, por fim, se inicia a fase de resfriamento conduzido por uma faixa de 2,0°C/min até 18°C, desta forma o chocolate passa a ter uma massa brilhante, estável e homogênea.

4.3 A Importância do Cultivo de Cacau, a partir de Métodos e Técnicas Desenvolvidas dentro da Agricultura Familiar

Segundo uma pesquisa publicada no portal da EMBRAPA, a agricultura familiar ocupa cerca de 80,9 milhões de hectares do território brasileiro, sendo equivalente a 23% da área total destinada aos estabelecimentos agropecuários no Brasil, ademais, a agricultura familiar promove a oportunidade do balanceamento entre a produção de produtos provenientes da agricultura e a preservação do meio ambiente, tendo em vista, que este método de cultivo possui mão de obra realizada pelo “homem”, sem a necessidade de equipamentos que possam agredir brutalmente o ecossistema, além do uso de fertilizantes e insumos produzidos na própria propriedades ou em locais próximos, tornando assim, maior efetividade quando se trata de uma agricultura que auxilia na preservação do espaço.

Em consenso, ao que foi dito anteriormente os autores Guimarães *et al.* (2011), afirmam em sua obra “A agricultura familiar pode viabilizar a transição para uma agricultura mais sustentável em função da diversificação de culturas, maiores possibilidades de adequação aos ecossistemas locais”. Contudo, com o intuito de visualizar na prática o uso da agricultura familiar no cultivo e manejo do Cacaueiro, foi realizado uma visita com objetivo de realizar um estudo campo em uma pequena propriedade rural, localizada nas proximidades do município de Itamaraju-BA, onde o proprietário relatou sobre sua produção de cacau utilizando apenas recursos e métodos da agricultura familiar.

Inicialmente, eu ganhei 20 mudas de cacau e as plantei aqui em minha terra, as cultivei e consegui tirar um lucro na primeira colheita que realizei. Depois, observando alguns dos meus vizinhos, percebi que não era tão difícil fazer a muda do cacau, então decidi que não iria comprar mais mudas, mas sim, fazer as minhas próprias (figura 01). Então eu comprei as sacolas, enchi as sacolas de terra e molhava todos os dias pela manhã e pela tarde, e quando está o tempo chuvoso e na lua minguante, a gente abre o buraco e planta, depois é só ir molhando pela manhã e pela tarde (figura 02), as últimas que eu plantei já estão desse tamanho (figura 03), eu também faço o plantio de bananeiras junto com as mudas de cacau, porque assim, elas protegem umas às outras e os pés de banana dão sombra para os pés de cacau (figura 04), além disso meu filho, como o sol está muito quente nos últimos dias eu uso essa garrafa pet como regador, pois dessa forma, a água fica pingando por horas nos pés de cacau os mantendo fresco (figura 05), outra coisa, é importante que o caule do pé cacau, esteja sempre assim, com essa aparência clara, pois isso significa que ele está saudável (figura 06) (fala do agricultor entrevistado).

Por fim, durante a visita, foi possível notar, a partir das falas do pequeno agricultor, a importância do seu plantio de cacau e a forma tradicional com a qual ele conduz suas atividades agrícolas, tanto para o seu desenvolvimento pessoal quanto para o sustento de toda a família. Ele enfatizou como o cultivo do cacau, realizado de forma compartilhada pelos membros da família e de maneira quase artesanal, proporciona não apenas uma fonte de renda permanente, como também fortalece o próprio modo de vida no campo, preservando saberes, costumes e relações comunitárias (Figura 1).

Figura 1-Plantio do cacau de forma tradicional



Fonte: Arquivo próprio (2024).

Dessa forma, ele revela como o manejo tradicional, ao usar técnicas simples, de baixo custo e, conseqüentemente, mais sustentáveis, consegue conciliar a produção econômica com a preservação ambiental, sendo uma alternativa viável tanto para a sobrevivência da agricultura familiar quanto para o desenvolvimento da região como um todo. Assim, a agricultura familiar não apenas fortalece a economia local, como também desempenha um papel relevante na sustentabilidade, ao valorizar o uso responsável da terra, a preservação da biodiversidade e a manutenção de comunidades vivas e resilientes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante os conceitos abordados ao decorrer da pesquisa, nota-se que, os resultados encontrados apontam sobre a importância de entender a origem histórica do nosso alvo de pesquisa, levando em consideração que o fato de analisar e compreender registros históricos a respeito do tema presente, permite

ao pesquisador desenvolver uma visão ampla sobre seu campo de estudo, além de facilitar a interpretação ou anulação de possíveis hipóteses-primárias.

Por fim, entende-se o papel fundamental do cacau para o desenvolvimento da economia brasileira, principalmente a primórdios da década de 80, quando o mesmo foi considerado o maior exportador de amêndoas de cacau em ranking mundial. Deste modo, torna-se notório a importância da realização de pesquisas sobre este fruto de grande valor comercial e cultural para a nossa nação, levando em conta a ampliação da agricultura familiar dentro do ramo dos cacauicultores, com a finalidade de proporcionar o agricultor a oportunidade de desempenhar o seu trabalho e contribuir com a sustentabilidade do meio.

“Devemos manter a nossa certeza de que depois dos dias ruins, os bons virão novamente” - Marie Curie

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, Elisa. SILVA, Carlos. MORRI, Gustavo. AHNERT, Dário. MELLO, Durval. PIRES, José. CORRÊA, Ronan. SOUZA, Anete. Estrutura genética e diversidade molecular de plantas de cacau estabelecidas como variedades locais há mais de dois séculos: a história genética das plantações de cacau na Bahia, Brasil. **Plos One**, 2015. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0145276>. Acesso em: 03 de mar. 2025.

SANTELLI, Adele. A história do cacau na Amazônia da chegada ao Brasil à alternativa para a bioeconomia local. **InfoAmazonia**. 2023. Disponível em: <https://infoamazonia.org/2023/04/06/a-historia-do-cacau-na-amazonia-da-chegada-ao-brasil-a-alternativa-para-a-bioeconomia-local/#:~:text=Seu%20cultivo%2C%20no%20entanto%2C%20come%C3%A7ou,na%20primeira%20metade%20do%20s%C3%A9c>. Acesso em: 03 mar. 2025.

FIORAVANTE, Carlos. VELHO, Léa. Fungos, fazendeiros e cientistas em luta contra a vassoura-de-bruxa. **Sociologias**. 13 (27), Ago 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/soc/a/tFRgdkWNLd5xckKDsqqpLzF/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

MACEDO, Vivian. JUNIOR, Manoelito. TARANTO, Alex. SOUZA, Catiane. GALANTE, Rafaela. ANDRADE, Bruno. ASSIS, Sandra. NETO, Aristóteles. Aspectos Gerais do Moniliophthora Perniciosa (Stahel) Aime & Phillips-Mora, O Agente Etiológico Da Vassoura-De-Bruxa. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**. Vol. 9: 57-65. 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/reina/Downloads/alessandro,+57-65.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2025.

ARANTES, José. **Estudo avança no entendimento da vassoura-de-bruxa, doença que derrubou a produção de cacau no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/estudo-avanca-no-entendimento-da-vassoura-de-bruxa-doenca-que-derrubou-a-producao-de-cacau-no-brasil/36258#:~:text=Causada%20pelo%20fungo%20Moniliophthora%20perniciosa,sul%20da%20Bahia%20em%201989>. Acesso em: 03 mar. 2025.

GISLENE MARGARET AVELAR GUIMARÃES; FRANCIS LEE RIBEIRO; AGUSTINA ROSA ECHEVERRÍA. IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA FAMILIAR PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE MUNICÍPIOS COM PREDOMINÂNCIA DO AGRONEGÓCIO. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2011. DOI: 10.21206/rbas.v1i2.31. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2630>. Acesso em: 14 jun. 2025.

EMBRAPA. **Agricultura Familiar**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CACAU, DA AMAZÔNIA PARA O MUNDO. **Blog FSP**, 2023. Disponível em: <https://fsp.usp.br/eccco/index.php/2023/04/15/cacau-da-amazonia-para-o-mundo/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

SANTOS, Renato Meireles dos. Estudo dos atributos sensoriais das amêndoas de cacau (theobroma cacao l.) produzidas no estado do Pará. Orientadora: Consuelo Lúcia Sousa de Lima. 2021. 94 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/16854>. Acesso em: 04 mar. 2025.

FERNANDES, Karina. A Química do Chocolate. **Revista IFMG com ciência**. 2008. Disponível em: <https://crqsp.org.br/a-quimica=-do-chocolate/#:~:text=O%20aroma%20total%20do%20chocolate,respons%C3%A1veis%20pelo%20sabor%20do%20chocolate>. Acesso em: 04 mar. 2025.

CAPÍTULO 4

TIJOLOS ECOLÓGICOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Cainã Amaral de Souza
Enzo Schultz Figueiredo

Resumo: Este artigo apresenta uma análise dos Tijolos Ecológicos na construção civil, com ênfase nas Habitações de Interesse Social. A construção civil, responsável por impactos ambientais, busca alternativas como os tijolos ecológicos, que oferecem benefícios ambientais, econômicos e estruturais. Ao substituir materiais convencionais por resíduos reciclados, esses tijolos promovem a preservação ambiental e são aplicáveis em habitações de interesse social, com potencial para otimizar recursos e reduzir custos, conforme a literatura descreve. Nesse contexto, a crescente urbanização e os desafios ambientais impulsionaram a busca por alternativas ecológicas, como o uso de tijolos ecológicos. Estes materiais, mais sustentáveis, econômicos e ambientalmente responsáveis, representam uma solução inovadora para atender às necessidades habitacionais em áreas de interesse social, promovendo a integração de práticas sustentáveis nas políticas públicas urbanas.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Construção Civil. Tijolos Ecológicos.

1. INTRODUÇÃO

Os debates concernentes à sustentabilidade nas civilizações ocidentais contemporâneas encontram um de seus primeiros marcos fundacionais na obra da eminente zoologista Rachel Carson (Lopes, 2012, p. 2). Em seu livro “Primavera Silenciosa”, publicado em 1964, ela destacou os impactos decorrentes do emprego indiscriminado de agrotóxicos no controle de pragas agrícolas nos Estados Unidos e no Canadá. Tais substâncias químicas foram identificadas como agentes catalisadores da dizimação da fauna local, provocando desequilíbrios sistêmicos ao longo de toda a cadeia trófica a ela interligada.

Posteriormente, as discussões evoluíram e atingiram o panorama político global, tendo o conceito de sustentabilidade alcançado notoriedade internacional ao ser empregado em 1987 no Relatório de Brundtland, intitulado “Nosso Futuro Comum” (Ipiranga, Godoy, Brunstein, 2011, p. 2), elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) sob a égide da Organização das Nações Unidas (ONU).

O conceito de sustentabilidade, conforme abordado no Relatório de Brundtland, está intrinsecamente associado à noção de desenvolvimento, sendo este intimamente ligado às noções de produção econômica na ótica capitalista, consolidando-se na expressão desenvolvimento sustentável. O princípio cunhado, que se tornara sinônimo de sustentabilidade, refere-se à capacidade de suprir as necessidades do presente sem comprometer a aptidão das futuras gerações de satisfazerem suas próprias demandas (Ipiranga, Godoy, Brunstein, 2011, p. 2). Tal documento enfatiza que a formulação de diretrizes para o desenvolvimento econômico e social deve necessariamente contemplar estratégias que assegurem a sustentabilidade, levando em consideração tanto o acesso equitativo aos recursos essenciais quanto a distribuição justa de custos e benefícios entre diferentes gerações.

Ademais, o relatório evidencia que o desenvolvimento sustentável não pode ser dissociado do progresso econômico, visto que este constitui um vetor fundamental para a concretização da sustentabilidade (Ipiranga, Godoy, Brunstein, 2011, p. 3). Assim sendo, destaca-se que a evolução sustentável demanda transformações estruturais na economia e na sociedade, consolidando um modelo que harmonize crescimento econômico, preservação ambiental e promoção social, no chamado tripé da sustentabilidade.

Posteriormente, tais concepções evoluíram para abordagens mais sistematizadas, culminando na formulação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como um arcabouço estratégico global. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) se configuram como um conjunto de metas de indicadores globais concebidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), com a finalidade de fomentar um modelo de desenvolvimento mais equitativo, inclusivo socialmente e ambientalmente sustentável em diversas esferas da sociedade (UFMG, 2025). Tal iniciativa engloba 17 macro objetivos, formulados com o intuito de

enfrentar os desafios preeminentes da contemporaneidade, tais como a erradicação da pobreza, a promoção da saúde pública, a universalização da educação de qualidade, a equidade de gênero e a salvaguarda dos recursos naturais, entre outras questões emergentes. Cada um desses eixos estratégicos está desdobrado em metas e indicadores específicos, os quais possuem um horizonte temporal delineado até o ano de 2030, visando à transformação estrutural do planeta rumo a um paradigma mais sustentável e equânime.

Especificamente, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável englobam as seguintes diretrizes: (1) Erradicação da Pobreza, (2) Fome Zero e Agricultura Sustentável, (3) Saúde e Bem-Estar, (4) Educação de Qualidade, (5) Igualdade de Gênero, (6) Água Potável e Saneamento, (7) Energia Acessível e Limpa, (8) Trabalho Decente e Crescimento Econômico, (9) Indústria, Inovação e Infraestrutura, (10) Redução das Desigualdades, (11) Cidades e Comunidades Sustentáveis, (12) Consumo e Produção Responsáveis, (13) Ação Contra a Mudança Global do Clima, (14) Vida na Água, (15) Vida Terrestre, (16) Paz, Justiça e Instituições Eficazes, e (17) Parcerias e Meios de Implementação (ONU, 2024).

Dentre esses eixos estruturantes, merece destaque o 11º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que visa tornar as cidades e assentamentos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis até 2030 (UFMG, 2025). Com o aumento da migração do campo para os centros urbanos, emergiram as megálopoles, sendo estes municípios com mais de 10 milhões de habitantes. Em 1990, eram 10 no mundo; hoje, são 28, abrigando 453 milhões de pessoas, incluindo São Paulo e Rio de Janeiro no Brasil.

No Brasil, 84,3% da população vive em áreas urbanas, ocupando menos de 1% do território nacional (UFMG, 2025). A alta concentração populacional demanda, dessa forma, uma gestão territorial eficiente para garantir infraestrutura adequada e mitigar os impactos ambientais ocasionados pelo crescimento desordenado.

Cabe destacar que a legislação que orienta as diretrizes das políticas públicas voltadas às zonas urbanas é o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 2001), sendo este um marco que garante princípios fundamentais e mecanismos urbanísticos, fiscais e legais, tendo por objetivos assegurar o desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos e garantir o cumprimento dos papéis sociais das áreas urbanas (UFMG, 2025).

Atualmente, as principais preocupações associadas às causas ambientais giram em torno das mudanças climáticas, as quais incluem o aumento médio das temperaturas em todo o planeta, além do acréscimo das concentrações de CO₂ e do potencial crescimento da umidade devido ao aumento da precipitação em algumas regiões (Teodoro e Carrazedo, 2025, p. 2). Tais fatores são responsáveis por pressionar por estratégias de mitigação e adaptação nos centros urbanos em todo o mundo, pois podem elevar o risco de diversos processos de deterioração de estruturas utilizadas na construção civil, como o concreto armado, amplamente utilizado no Brasil.

Cabe destacar que, em 2010, segundo informações da International Cement Review, a produção global de cimento alcançou aproximadamente 3,3 bilhões de toneladas anuais, representando um aumento superior a 100% em cerca de 10 anos, intensificando ainda mais os impactos ambientais resultantes de sua produção (Santoro e Kripka, 2016, p. 3).

Os principais efeitos ambientais nas etapas de fabricação do cimento, desde a extração da matéria-prima, são com as vibrações no solo e subsequentes desmoronamentos e erosões, emissões gasosas que geram poluição atmosférica, até a produção do cimento e clínquerização, com liberação de gases como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), gases oxidantes, óxidos nitrogenados e compostos de chumbo, as quais contribuem para as mudanças climáticas (Santoro e Kripka, 2016, p. 3).

Assim sendo, evidencia-se que os impactos ambientais associados à construção civil evidenciam a necessidade urgente de buscarmos por alternativas sustentáveis para a indústria, a fim de mitigar seus efeitos negativos sobre o meio ambiente. Nesse contexto, deve-se focar em inovações no setor da construção, como o desenvolvimento de materiais mais ecológicos e processos de produção mais eficientes, especialmente voltados às populações vulnerabilizadas, as quais têm sofrido adiantadamente os efeitos nocivos das mudanças climáticas. Dessa forma, o presente trabalho busca analisar a viabilidade do uso de tijolos ecológicos em habitações de interesse social, com ênfase no comparativo com sua alternativa convencional, e para tal dispõe-se de uma revisão bibliográfica narrativa.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade do uso de tijolos ecológicos em habitações de interesse social, caracterizando o conceito, suas aplicações e realizando comparações com tijolos convencionais, a fim de analisar seus benefícios ambientais, econômicos e estruturais.

Objetivos Específicos

1. Definir e descrever os tijolos ecológicos, abordando seus principais materiais constituintes, processos de fabricação, vantagens e limitações em relação aos tijolos convencionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi elaborado no âmbito do componente curricular Química Geral, integrante da matriz curricular do Bacharelado em Engenharia Civil, oferecido pela instituição de ensino superior localizada no extremo sul da Bahia, a Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB) - Campus Paulo Freire, sediada em Teixeira de Freitas, Bahia.

A estratégia metodológica adotada para esta análise se fundamentou em uma revisão bibliográfica narrativa sobre o conceito de “Tijolos Ecológicos”, valendo-se de referenciais teóricos e estudos prévios da área. Foram examinadas publicações acadêmicas, relatórios institucionais e documentos técnicos pertinentes.

Os repositórios utilizados para embasamento teórico e levantamento de dados incluem as plataformas Google Scholar, SciELO Brasil (Biblioteca Eletrônica Científica Online), Portal de Periódicos da CAPES, vinculado ao Ministério da Educação do governo federal brasileiro.

A abordagem metodológica adotada corresponde à revisão narrativa da literatura, a qual, diferentemente da revisão sistemática, se caracteriza por sua flexibilidade, não demandando uma questão de pesquisa delimitada nem a aplicação de um protocolo rígido (Cordeiro et al., 2007, p. 4), como os métodos de revisão sistemática ou de escopo. Cabe ressaltar que em tal método de investigação, a seleção dos estudos ocorre de forma não estruturada, podendo estar sujeita a vie-

ses e influências da percepção subjetiva do pesquisador. Contudo, para atenuar essas limitações, a escolha dos trabalhos analisados foi orientada pelos principais artigos recomendados pelos repositórios de dados, utilizando-se palavras-chave como “Tijolos Ecológicos” e “Construções Sustentáveis”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Habitações de Interesse Social

O Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) foi estabelecido pela Lei Federal nº 11.124, de 16 de junho de 2005, com o principal objetivo de implementar políticas e programas voltados para garantir o acesso à moradia digna à população de baixa renda, que constitui a maior parte do déficit habitacional no país (Brasil, 2005; 2019). Além disso, esse sistema centraliza todos os programas e projetos relacionados à habitação de interesse social, sendo composto pelos seguintes órgãos e entidades: Ministério das Cidades, Conselho Gestor do Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social, Caixa Econômica Federal, Conselho das Cidades, Conselhos, Órgãos e Instituições da Administração Pública direta e indireta nos Estados, Distrito Federal e Municípios, que lidam com questões urbanas e habitacionais, além de entidades privadas que atuam no setor habitacional e agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional.

A Lei nº 11.124 também criou o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) e seu Conselho Gestor, que, a partir de 2006, passou a centralizar os recursos orçamentários dos programas de Urbanização de Assentamentos Subnormais e de Habitação de Interesse Social, inseridos no SNHIS (Brasil, 2019). O fundo é constituído por recursos provenientes do Orçamento Geral da União, do Fundo de Apoio ao Desenvolvimento Social (FAS), dotações, empréstimos internos e externos, contribuições e doações de pessoas físicas ou jurídicas, entidades e organismos nacionais ou internacionais, além de receitas de operações realizadas com recursos do FNHIS (Brasil, 2019). Os recursos são destinados a uma variedade de ações definidas pela Lei, como a aquisição, construção, conclusão, melhoria, reforma, locação social e arrendamento de unidades habitacionais, a produção de lotes urbanizados para fins habitacionais, a regularização fundiária

e urbanística de áreas de interesse social, bem como a implementação de saneamento básico, infraestrutura e equipamentos urbanos, que complementam os programas de habitação de interesse social.

Deve-se ressaltar que o conceito de Habitação de Interesse Social (HIS) não surgiu concluído, sendo progressivamente desenvolvido pelo Ministério das Cidades (2003) e apoiada politicamente pelo Conselho Nacional das Cidades, ao longo das quatro Conferências das Cidades (em níveis Nacional, Estadual e Municipal), em parceria dos diversos setores sociais (Buonfiglio, 2018, p. 3). A HIS faz parte de um conjunto de ações voltadas para a resolução da questão habitacional em âmbito nacional, que originaram os principais marcos regulatórios na área no país; a Política Nacional de Habitação (2004); a Lei Federal que criou o Sistema Nacional de Habitação (SNH, Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005) e o Plano Nacional de Habitação, aprovado em 2009 (PlanHab). Assim sendo, as habitações associadas à tais políticas públicas receberam a alcunha de “Interesse Social”. (Buonfiglio, 2018, p. 3).

Conceito e Características dos Tijolos Ecológicos

O tijolo ecológico pode ser composto por uma miríade de materiais, e seu uso pode ser observado das mais diversas formas em todo o mundo (Santos, Menegazzo, Oliveira, 2017, p. 4). A incorporação de resíduos, desempenha um papel significativo na promoção da construção sustentável, ao mesmo tempo em que minimiza a extração de argila, evitando a necessidade de novos aterros para o destino dos rejeitos (Santos, Menegazzo, Oliveira, 2017, p. 4). Deve-se destacar sua considerável viabilidade econômica, tanto na sua fabricação quanto após ser aplicado na edificação, além da versatilidade ecológica do produto, visto que há inúmeras vantagens na reutilização de recursos simples, como entulho, fibra vegetal, restos de granito e até solo proveniente de escavações, além de ressaltar a não necessidade da queima de biomassa no processo de cura, evitando o corte de árvores e promovendo a preservação dos recursos naturais.

A Norma Brasileira Regulamentar - NBR 8491 (1983) - Tijolo maciço de solo-cimento caracteriza como um tijolo cujo volume não deve ser inferior a 85% do seu volume total aparente, sendo composto por uma mistura homogênea,

compactada e endurecida de solo (que não pode conter matéria orgânica em concentrações prejudiciais), cimento Portland, água e, se necessário, aditivos. Esses tijolos podem ser classificados nos tipos I e II, com dimensões de (20x9,5x5) cm e (23x11x5) cm, respectivamente (comprimento, largura e altura). No que se refere às especificações técnicas, esses tijolos devem apresentar teores de absorção de água médios e individuais que não ultrapassem 20% e 22%, respectivamente, além de uma resistência mínima à compressão média e individual de 2,0MPa e 1,7MPa, respectivamente (Marques et al., 2022).

Contudo, outros estudiosos, como Pisani (2005, apud Santos, Menegazzo, Oliveira, 2017, p. 4), apontam a inviabilidade do material devido à alta demanda do setor, já que a produção diária de tijolos, com o maquinário disponível, varia entre 500 e 2000 unidades por dia. Além disso, o tempo de cura desse material é consideravelmente mais prolongado em comparação ao tijolo convencional.

A fabricação de tijolos convencionais gera diversos impactos ambientais, como descrito por Agrafiotis e Tsoutsos (2001, apud Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2013, p.01) “A fabricação de tijolos comuns requer grandes quantidades de energia, em função da queima de fontes energéticas como a madeira, mas também o custo dessa energia refletindo no custo total de produção”. Além disso, os impactos ambientais da extração da matéria-prima, principalmente a argila, também devem ser considerados.

Nessa perspectiva, as alternativas ecológicas para a fabricação dos tijolos são implementadas em busca da sustentabilidade do setor da construção civil. Assim, Sala (2006, apud Motta *et al*, 2014, p.15) define o tijolo ecológico (ou tijolo-cimento) como uma mistura prensada de solo com cimento, que não exige a queima no forno e nem libera resíduos tóxicos na atmosfera. Portanto, o uso de tijolos ecológicos surge como uma alternativa viável e sustentável para reduzir os impactos ambientais da construção civil.

O processo de confecção do tijolo de solo-cimento baseia-se na mistura de água, solo e cimento, que é compactada e curada à sombra, sendo que a dosagem dos materiais deve seguir as diretrizes da norma NBR 12253/92 da ABNT. Além de reduzir o consumo de água e energia, o tijolo apresenta baixo custo de produção, contribuindo para a diminuição de gastos com argamassa e cola, uma vez que é auto travado, ou seja, pode ser montado por meio do encaixe entre

os tijolos. Adicionalmente, é possível incorporar materiais como vidro, granito e resíduos de construção e demolição à sua composição. De acordo com Mota (2010, apud Santos, Menegazzo, Oliveira, 2017, p. 4), a resistência à compressão do tijolo ecológico é semelhante à do tijolo convencional. No entanto, é essencial realizar ensaios laboratoriais e determinar o traço adequado para garantir sua eficácia, caso utilizado em escala.

Aplicações de Tijolos Ecológicos em Habitações de Interesse Social

Euphrosino *et al.* (2022) destacam a experiência do uso dos Tijolos Ecológicos em Habitações de Interesse Social, descrevendo-a em como quase em conformidade com as normativas vigentes da NBR. O principal ponto de atenção pelas autoras refere-se às dimensões dos tijolos, que necessitam de um controle mais rigoroso. Em relação à compactação, as famílias devem receber orientações mais precisas para garantir que a quantidade de material utilizado e o processo de compactação do solo com a prensa manual sejam mais eficazes, assegurando assim um desempenho dimensional mais consistente. A resistência à compressão atingiu os valores mínimos exigidos pela norma após 14 dias de maturação.

A substituição do solo por materiais reciclados demonstrou ser uma alternativa altamente satisfatória (Euphrosino *et al.*, 2022). O produto resultante dessa substituição mostrou-se viável para ser utilizado na olaria comunitária, permitindo o reaproveitamento integral das perdas de materiais e componentes durante as etapas de produção, transporte e construção das paredes. Esse procedimento implica uma transformação no processo da olaria, promovendo a produção de um produto com maior sustentabilidade, através da redução de impactos ambientais e otimização dos recursos.

Comparação com Tijolos Convencionais

O mercado de materiais para a construção civil se encontra em constante transformação, impulsionado por inovações tecnológicas e o aprimoramento dos insumos construtivos. Em decorrência disso, os preços dos diversos tipos de tijolos variam conforme suas características, fabricantes e fornecedores (Weber, Campos e Borga, 2017).

A sua implementação eficiente, considerando todas as etapas do projeto, pode proporcionar uma economia considerável, particularmente em obras de pequeno e médio porte. A fabricação in loco do tijolo ecológico, por exemplo, pode reduzir seu custo unitário de R\$ 1,05 para R\$ 0,25, desde que se tenha o equipamento adequado, como moldes e prensas manuais ou hidráulicas. Além disso, o tijolo ecológico, caracterizado por sua composição de solo-cimento, se adapta bem tanto a ambientes urbanos quanto rurais e oferece múltiplas possibilidades de acabamento, o que o torna uma escolha atrativa para arquitetos e construtores. No entanto, sua fabricação exige equipamento específico, e seu processo de produção não necessita de queima de lenha, o que contribui para a redução da emissão de gases poluentes. Ao considerar as normas técnicas da ABNT e o uso de moldes padronizados, o tijolo ecológico se posiciona como uma opção sustentável e economicamente viável, especialmente quando comparado aos tijolos tradicionais ou cerâmicos, mas que, entretanto, pode cobrar um maior investimento inicial, como em moldes (Weber, Campos e Borga, 2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão bibliográfica acerca do tema, este artigo analisou a viabilidade do uso de tijolos ecológicos na construção civil, em especial nas habitações de interesse social. Para tanto, os principais tópicos aprofundados neste estudo foram: Habitações de interesse social, conceito e características dos tijolos ecológicos, aplicações de tijolos ecológicos em habitações de interesse social e comparação com tijolos convencionais.

Diante dos resultados encontrados, infere-se que, mesmo com empecilhos como o custo do maquinário necessário para essa atividade, os tijolos ecológicos demonstram viabilidade em obras devido às suas vantagens financeiras e de sustentabilidade. Assim, implica-se que este estudo pôde expor as qualidades e benefícios desses tijolos em relação aos convencionais.

Apesar disso, vale ressaltar que para uma análise mais completa seria interessante condução de uma aplicação experimental prática acerca da temática abordada. Ainda assim, a revisão bibliográfica foi capaz de gerar realizações sobre o tema.

Por fim, espera-se que este artigo possa auxiliar futuras pesquisas acerca da utilização de tijolos ecológicos na construção civil, promovendo o aprofundamento da temática e incentivando a sustentabilidade no futuro das construções civis.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005**. Institui o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 jun. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111124.htm. Acesso em: 1 mar. 2025.

BRASIL. **Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/auditoria/58-snh-secretaria-nacional/departamentos-snh/1377-sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social>. Acesso em: 1 mar. 2025.

BUONFIGLIO, Leda Velloso. HOUSING OF SOCIAL INTEREST. **Mercator**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 1-16, 15 fev. 2018. Federal University of Ceara. <http://dx.doi.org/10.4215/rm2018.e17004>.

CORDEIRO, Alexander Magno; OLIVEIRA, Glória Maria de; RENTERÍA, Juan Miguel; GUIMARÃES, Carlos Alberto. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 428-431, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69912007000600012>.

IPIRANGA, Ana Silva Rocha; GODOY, Arilda Schmidt; BRUNSTEIN, Janette. Introdução. **Ram. Revista de Administração Mackenzie**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 13-20, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-69712011000300002>.

EUPHROSINO, Camila Augusto; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila; PIMENTEL, Lia Lorena; CAMARINI, Gladis; FONTANINI, Patricia Stella Pucharelli. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-10, jan. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2021-47087>.

LOPES, Alfredo Ricardo Silva. A Primavera Silenciosa que sacudiu as próximas estações. **Esboços - Revista do Programa de Pós-Graduação em História da Ufsc**, [S.L.], v. 18, n. 25, p. 1-4, 23 mar. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7976.2011v18n25p316>.

MARQUES, Frederico Pinto; GARCIA, Simey do Vale; SANTOS, Roseane Martins dos; MAGALHÃES, Rodrigo da Silva; REIS SOBRINHO, Jose Francisco; SOUSA, Aline de; SILVA, Aline Alves Milhomem da. Fabricação do tijolo ecológico com adição de plástico reciclável PET / Manufacture of ecological brick with the addition of recyclable PET plastic.

Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 20204-20226, 22 mar. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n3-293>.

MOTTA, Jéssica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa; GONÇALVES, Gabrielle Cristina; CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso. **Tijolo de solo- cimento: análise das características físicas e econômicas de técnicas construtivas sustentáveis**: Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038/0> . Acesso em: 02 mar. 2025.

ONU - Organização das Nações Unidas / UN - UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2024**. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2024.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.

TEODORO, Chiara Pinheiro; CARRAZEDO, Rogério. Impact of carbonation on reinforced concrete structures, considering the increase of CO₂ due to climate change in Brazil. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 1-18, 2025. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952025000800014>.

SANTANA, Josiane do Espírito Santo; CARVALHO, Ana Cristina Xavier de; FARIA, Rozilaine Aparecida Pelegrine Gomes de. **Tijolo Ecológico Versus Tijolo Comum: Benefícios Ambientais E Economia De Energia Durante O Processo De Queima**: Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/II-005.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2025

SANTORO, Jair Frederico; KRIPKA, Moacir. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 35-49, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000200078>.

SANTOS, J. L.; MENEGAZZO NICODEM, M. F.; OLIVEIRA, D. G. Revisão integrativa: reutilização de resíduos da construção civil na fabricação de concreto e de tijolo ecológico. 2017. **R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira**, Edição Especial SIAUT, E – 7040.

SANTOS, Wagna Piler Carvalho; SUZART, Vivian Patrícia; JUNIOR, Nelicio Ferreira da Silva. **Tendências Tecnológicas Para O Processo De Preparação De Compósito À Base De Solo-Cimento E Fibra De Bananeira Para Fabricação De Tijolos E Tecnologias Correlatas Através Da Pesquisa Em Documentos De Patentes:** Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/11455>. Acesso em: 6 mar. 2025.

UFMG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável:** Disponível em: <https://www.ufmg.br/espacodocohedimento/os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> /. Acesso em: 20 fev. 2025.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago. Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil. **Revista Ignis**, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1178/706>. Acesso em: 1 mar. 2025.

CAPÍTULO 5

A QUÍMICA POR TRÁS DA COMPOSTAGEM UTILIZADA NA AGRICULTURA FAMILIAR

Ana Clara Duarte da Silva Souza
Beatriz Pereira de Oliveira
Leidiane Rodrigues Freitas
Nathalie Lima Diniz
Ryan Pereira Araujo

Resumo: Este artigo apresenta um estudo sobre como a compostagem na agricultura familiar pode contribuir para a melhoria do meio ambiente, sendo uma alternativa sustentável tanto para o manejo de resíduos orgânicos quanto para a produção de adubo natural destinado ao cultivo. A investigação teve como objetivo geral compreender o papel da compostagem na agricultura familiar como instrumento de preservação ambiental. Entre seus objetivos específicos, propõe-se compreender o conceito químico da compostagem e destacar suas contribuições para o desenvolvimento da agricultura de pequeno porte. Com uma abordagem qualitativa, o estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica, sendo realizado um levantamento de fontes científicas, como revistas, dissertações, livros e portais como o Google Acadêmico e o Periódico CAPES. A metodologia envolveu também uma avaliação teórica sobre o processo de decomposição da matéria orgânica, mostrando como ele proporciona nutrientes ao solo e fortalece a produção de alimentos de forma sustentável. A discussão revela que o manejo de resíduos orgânicos pelo próprio agricultor evita o acúmulo de lixo em aterros, a emissão de metano, um gás de alto potencial poluente, e ainda fortalece a agricultura de base familiar, ao proporcionar um adubo de baixo custo e alta eficácia. Dessa forma, a compostagem apresenta-se como uma saída simples, econômica e ambientalmente adequada, sendo capaz de minimizar impactos ao meio ambiente, ao mesmo tempo que fortalece a sustentabilidade da propriedade. A adoção dessa prática revela o valor da agricultura familiar como modelo de produção compartilhada, capaz de atender às necessidades presentes, sem deixar de assegurar recursos para as gerações futuras.

Palavras-chave: Compostagem. Agricultura familiar. Sustentabilidade. Meio ambiente. Adubo orgânico.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento da agricultura se dá a partir da Revolução Neolítica, onde houve uma transformação econômica e cultural, devido à construção de ferramentas, como as enxadas, o aumento da população e outros. Nesse contexto, as comunidades da época tiveram que adaptar o seu modo de vida, consoante ao livro com a autoria de Roudart Mazoyer, a “História das agriculturas no mundo do neolítico à crise contemporânea”:

Entre 10.000 e 5.000 anos antes de nossa Era, algumas dessas sociedades neolíticas tinham, com efeito, começado a semear plantas e manter animais em cativeiro, com vistas a multiplicá-los e utilizar-se de seus produtos. Nessa mesma época, após algum tempo, essas plantas e esses animais especialmente escolhidos e explorados foram domesticados e, dessa forma, essas sociedades de predadores se transformaram por si mesmas, paulatinamente, em sociedades de cultivadores. Desde então, essas sociedades introduziram e desenvolveram espécies domesticadas na maior parte dos ecossistemas do planeta, transformando-os, então, por seu trabalho, em ecossistemas cultivados, artificializados, cada vez mais distintos dos ecossistemas naturais originais (Mazoyer; Roudart, 2008, p.70).

Isso fez com que a agricultura passasse por um processo de transformação que perdura até o período contemporâneo. Segundo a revista do Atlas do Espaço Rural Brasileiro do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (p. 293), “A agricultura familiar é, portanto, um sistema produtivo que articula diversas temporalidades e diversas espacialidades, e permite a reprodução social da família no campo ou na cidade, não somente em termos econômicos, mas também culturais.” Ou seja, a agricultura familiar é uma produção agrícola feita por membros familiares em um determinado espaço de terra, considerado pequenas propriedades, tornando-o extremamente importante, por envolver diversas áreas, como a adaptação da sustentabilidade nas propriedades. Dessa forma, é notável que no Brasil se tem a presença massiva da agricultura familiar, sendo essencial para alimentação dos brasileiros, abastecendo uma grande parte do território.

Além disso, percebe-se que a agricultura familiar está associada à área da química, principalmente em relação ao uso da compostagem, considerada uma prática sustentável, sendo a reciclagem do lixo orgânico, a qual transforma os resíduos em adubo natural, substituindo os fertilizantes químicos. Conforme Iná-

cio e Miller (2009, p.15), “Reciclar nutrientes e matéria orgânica, para os solos agrícolas são benefícios diretos proporcionados pela compostagem de resíduos orgânicos, de qualquer origem, desde que não contenham poluentes que possam contaminar o solo.” Tal substituição corrobora com a melhora do meio ambiente, como citado acima, no aspecto do solo, sendo esta a principal fonte de renda do agricultor.

Ao longo do tempo, observou-se a evolução dos estudos sobre como tirar melhor proveito da terra. Com isso, a exploração agrícola brasileira tem se tornado cada vez mais intensa e o uso de fertilizantes tem aumentado significativamente. Embora possua grandes propagandas oferecendo nutrição às plantas e aumento da produtividade, os adubos industrializados, quando usados exacerbadamente, implicam problemas como a contaminação do solo, ao contribuírem para a sua acidificação, causando a perda de nutrientes naturais e tornando a terra improdutiva e deixando o solo dependente, pois com o solo infértil mais fertilizante é necessário, “Além disso, os fertilizantes químicos – principalmente os fosfatados e nitrogenados – são biocidas, ou seja, destroem a microvida presente no solo” (Civitereza, 2021).

Destaca-se também a contaminação de rios, lagos e lençóis freáticos, pois o fertilizante é levado através do processo de lixiviação, podendo prejudicar também a fauna desses locais. O ar também é prejudicado com o aumento do uso dessa adubagem que pode evaporar, como o óxido nitroso, que prejudica a camada de ozônio, contribuindo com o agravamento do aquecimento global.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Entender como a compostagem na agricultura familiar contribui para a melhora do meio ambiente.

2.2 Objetivos Específicos

Compreender o conceito químico da compostagem;

Explicar as contribuições da compostagem na agricultura familiar.

3. METODOLOGIA

O presente estudo teve como método uma pesquisa bibliográfica qualitativa sobre a química por trás da compostagem usada na agricultura familiar, já que o objetivo é entender como esse processo é feito, sendo esse um estudo teórico aprofundando por meio de pesquisas na Internet, como nas bases de dados do Google Acadêmico e portal de periódicos da CAPES. Foram encontrados artigos científicos, revistas, dissertações e livros. No Google acadêmico foi utilizado na busca as seguintes palavras-chave para encontrar artigos em português compatíveis: compostagem, sustentabilidade, química e agricultura familiar.

Outrossim, possui o caráter explicativo, visando explicar o que é a compostagem, as causas e consequências, quais são as melhorias proporcionadas quando utilizado, comparar os métodos sustentáveis com os que não são, com o intuito de fortalecer a importância desse tema, sendo um processo mais barato e ainda ajudar o ecossistema vigente, observando que o Brasil utiliza uma quantidade nociva de agrotóxicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar o aprofundamento do estudo proposto, é preciso abordar alguns aspectos, primeiramente, deve ser feito uma pesquisa sobre o conceito da compostagem e como a química está envolvida nesse processo, uma vez que auxilia no entendimento completo do tema.

4.1 Conceito da Compostagem

A compostagem envolve diversos métodos que com o seu uso aumenta a produtividade dos alimentos e do ecossistema. De acordo com Inácio e Miller na revista feita pela Embrapa:

A compostagem de resíduos orgânicos gera um benefício como produto final, o composto orgânico para uso agrícola constituindo-se num processo que possibilita o cumprimento dos itens considerados fundamentais no conceito de desenvolvimento sustentável para o eficiente tratamento e disposição de resíduos sólidos: (a) Minimização de impactos ambientais; (b), Minimização de rejeitos; (c) Maximização da reciclagem (Inácio; Miller, 2009, p.15).

Para os referidos autores, o processo de reciclagem de nutrientes é benéfico para o meio rural e urbano, sendo considerado também como uma biotecnologia ambiental. Eles destacam “... (a) redução da poluição de recursos hídricos; (b) aumento da vida útil de aterros sanitários; (c) mitigação de emissões de metano oriundo da disposição de resíduo urbano.” (Inácio; Miller, 2009, p.16).

Ademais, os autores enfatizam que cada local terá um tipo de resíduo a ser utilizado para a compostagem, mas o resultado sempre será a melhora da capacidade reprodutiva do solo. Os autores defendem que isso será possível tendo uma gestão de resíduos, mediante estratégias:

ESTRATÉGIA- Priorização da coleta seletiva da fração reciclável orgânica nos grandes geradores⁴ (restos de comida e das indústrias de alimentos e agroindústrias);

BASE TECNOLÓGICA- Compostagem em Leiras Estáticas com Aeração Passiva ou com Aeração Forçada;

DESCENTRALIZAÇÃO- O tratamento deve ser descentralizado com vários pátios de compostagem para evitar gastos excessivos com o transporte do resíduo.

RECICLAGEM - Proporciona alto índice de reciclagem e consequente o ‘aumento dá vida útil dos aterros;

COMPOSTO- Gera um benefício; o composto orgânico para uso na agricultura e fertilização de parques e jardins municipais. A coleta seletiva da fração orgânica reduz os riscos de contaminação do composto, influenciando na qualidade do produto final.

REDUÇÃO DA POLUIÇÃO - Diminui a quantidade de matéria orgânica que vai para os aterros sanitários reduzindo a geração de chorume ‘(percolado) e o odor desagradável, bem como, a geração de metano, um gás do efeito estufa (Inácio; Miller, 2009. p. 20).

Diante do exposto, os escritores, além de conceituar, explica que a compostagem pode ser feita de materiais orgânicos diversos,

Existem no meio rural várias fontes de geração de resíduos orgânicos, seja dentro da propriedade rural ou fora dela, de origem vegetal ou animal, seja de fonte agrícola, agroindustrial ou municipal. Esta abordagem se compatibiliza com a visão de microbacia hidrográfica com unidade de gestão de recursos hídricos, notadamente microbacias de forte economia agrícola. Gerenciar os resíduos orgânicos de forma adequada traz benefícios relacionados à prevenção da poluição de cursos d’água e solo, diminuição de foco de doenças para as lavouras e produção de adubos orgânicos para uso agrícola. A compostagem se constitui uma técnica importante para tratamento dos resíduos gerados no meio rural, apesar de pouco difundida entre agricultores no Brasil, a não ser entre agricultores orgânicos (Inácio; Miller, 2009, p.23 e 24).

Há um reforço em relação aos produtores rurais orgânicos, uma vez que a maioria usa a compostagem. Diante disso, dizem que, “A difusão de métodos de compostagem de baixo custo e de técnicas de gerenciamento de pátios de compostagem e da coleta de resíduos orgânicos é uma estratégia que pode gerar grande impacto positivo...” (Inácio; Miller, 2009, p.26). Ou seja, por ser mais barato e de reaproveitamento dos restos de alimentos, é viável ser usado por muitos agricultores. Todavia, é preciso que os agricultores tenham noção de como funciona todo o método da compostagem, sejam dos materiais, de máquinas e outros.

Outro ponto a ser discutido é o que pode ou não ser usado na compostagem, como mostrado na Figura 1. Alguns materiais comprometem a degradação da matéria orgânica e prejudicam o desenvolvimento do adubo.

Figura 1-O que deve colocar ou não em sua composteira



Fonte: Morada da Floresta (2024).

O processo de compostagem pode ser feito de diversas formas, por exemplo, com ou sem minhocas. De acordo com Daia e Ventorim (2014) no folder da Emater-DF com apoio da Embrapa, da Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Rural e GDF, os autores escrevem como pode ser feita a composteira:

O monte do composto é feita em camadas. A primeira camada é feita com o material pobre em nitrogênio (palhas, cascas, restos de capim, frutas, hortaliças) e é a camada mais grossa (20 cm). A segunda é uma camada mais fina (5 cm), de esterco ou folhas verdes, que é um material rico em nitrogênio. Em seguida, molha-se o monte com água, sem deixar escorrer. Depois é só colocar outra camada de palhas e outra de esterco, alternando o material até a altura desejada, que não deve passar de 1,5 metros, sempre molhando o monte. A última camada, que é a cobertura, deve ser feita também com folhas ou capim seco. E por fim, é preciso molhar novamente com mangueira ou regador, sem encharcar. Quando o processo de decomposição do material começa, a temperatura dentro da pilha de composto aumenta.

Portanto, ao preparar o composto dessa maneira, proporciona-se um ambiente favorável para a decomposição da matéria orgânica, transformando resíduos em um adubo rico em nutrientes, que fortalece o solo e as plantas. Dessa forma, a compostagem não só evita o acúmulo de lixo orgânico, como também proporciona uma alternativa sustentável, econômica e benéfica tanto para o agricultor quanto para o meio ambiente.

4.2 A Química do Solo

Segundo Leite e Araujo (2007, p.7) na Revista da Embrapa na “Ecologia microbiana do solo”, o conceito entendido por solo é:

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre e representa um balanço entre as frações líquida, gasosa e sólida. A fração líquida é composta por água e materiais dissolvidos, a fração gasosa, por gases atmosféricos em diferentes proporções e a fração sólida, por minerais, raízes, macro e microrganismos metabolicamente ativos ou inativos e matéria orgânica em vários estádios de decomposição (apud Moreira; Siqueira, 2006).

Ou seja, percebe-se que o solo é composto por partes diferentes e com nutrientes essenciais para a sua sobrevivência, e o uso feito por produtos químicos podem alterar totalmente os fatores abióticos, sendo esses “...a temperatura, o

pH, a salinidade, as fontes de energia e substratos orgânicos, os nutrientes e os elementos tóxicos.” (Leite; Araujo, 2007, p. 8).

Conforme dito por Guerra (2015, p. 1) no comunicado técnico N°1 “Fertilidade do solo”: “Os nutrientes são elementos essenciais químicos ao desenvolvimento das plantas. Carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) são elementos essenciais para as plantas, constituindo 90 a 96% dos tecidos vegetais.” Além disso, o autor separa os nutrientes mediante os critérios

Para a fertilidade do solo os nutrientes são classificados como:

- a)Macronutrientes primários: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).
- b)Macronutrientes secundários: cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).
- c)Micronutrientes: boro (B), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (Leite; Araujo, 2007, p. 2).

Os macronutrientes primários são os mais importantes para as plantas, conseguindo assim, fertilizar o solo eficientemente devido à raiz. Dessa troca entre a raiz da planta e do solo, há o seguinte processo feito pelos cátions,

Os cátions, também se movimentam da solução do solo para a superfície das partículas de argila e húmus: a isto chamamos de troca de cátions. Os principais cátions trocáveis são: o hidrogênio (H^+), cálcio (Ca^{++}), o magnésio (Mg^{++}), o potássio (K^+), o sódio (Na^+) e o amônio (NH_4^+). A planta precisa de energia; e ela usa esta energia para a absorção dos nutrientes. Esta energia é derivada do estoque de açúcares e carboidratos, os quais a produzem quando discriminados pelas plantas. É o processo de respiração (Leite; Araujo, 2007, p.2)

Outrossim, Leite e Araujo afirmam que as condições dos fatores externos afetam o solo, e ainda existe o processo das plantas e solo realizado pelos íons,

As superfícies das raízes também são cobertas por secreções ácidas, formadas pelos íons H^+ , OH^- , e HCO_3^- . A planta absorve os nutrientes pelo processo de troca de seus íons com outros íons da superfície das partículas do solo, ou com os da solução do solo. Os íons K^+ e NH_4^+ são rapidamente absorvidos; os íons Ca^{++} e Mg^{++} são absorvidos muito lentamente. (Leite; Araujo, 2007, p.2).

Assim, nota-se que a química está totalmente relacionada com a compostagem e o solo, sendo as reações químicas, os elementos químicos presentes no líquido do chorume e outros temas.

4.3 Química e Compostagem

A química é uma matéria que abrange inúmeros temas, dentre eles, a compostagem, especialmente quando relacionada com o solo da agricultura. O processo também contribui para a redução do aquecimento global. Só em 2015, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, foram geradas cerca de 32 milhões de toneladas de resíduos orgânicos no Brasil, equivalente a 88 mil toneladas de lixo diário. Este material quando entra em decomposição, seja nos lixões ou aterros sanitários, gera o gás metano, um dos principais causadores do efeito estufa.

Dessa maneira, observa-se os resultados de produzir uma composteira doméstica utilizada na agricultura familiar pode ser uma ótima opção para quem quer dar um melhor fim para o lixo orgânico, contribuir para o meio ambiente e gastar menos com a compra de fertilizantes.

A compostagem é um dos métodos de tratamento de resíduos orgânicos mais recomendados no Brasil, principalmente pelos seus inúmeros benefícios ao meio ambiente, ao solo e à agricultura. Entretanto, apesar de suas vantagens, a taxa de adesão ainda é muito baixa. Segundo Moraes et al (2022), “estima que de 100.000 toneladas de matéria orgânica produzidas, 98% são descartadas no solo ou em aterros sanitários e apenas 2% são efetivamente tratados.” Isso revela um descompasso entre o potencial da compostagem como alternativa sustentável e o seu pouco uso na realidade, sendo preciso, portanto, implementar estratégias para incentivar a adoção dessa prática.

É importante, nesse contexto, estimular uma mudança tanto na produção quanto na distribuição e no consumo, tentando minimizar a geração de resíduos na origem e, quando ele for gerado, dar-lhe um destino mais nobre e ambientalmente correto. Além disso, programas e ações de educação ambiental, compartilhados de forma permanente e junto a toda a população, representam uma ferramenta relevante para conscientizar as comunidades sobre a importância de reciclar a matéria orgânica e de adotar métodos de manejo de resíduos que fortaleçam a sustentabilidade. Como destaca o Brasil (2022, p. 16), o envolvimento da população, associado ao conhecimento compartilhado, é a chave para o sucesso de estratégias de tratamento de resíduos.

Desta forma, a compostagem apresenta-se como uma das principais alternativas tanto para minimizar o acúmulo de resíduos quanto para proporcionar ao solo um adubo natural, rico em nutrientes, que fortalece o desenvolvimento das plantas. Dessa maneira, ao dar um destino sustentável ao lixo orgânico, fortalece-se a agricultura, evita-se o desperdício de recursos e ainda se proporciona uma contribuição relevante para a preservação do meio ambiente e para o futuro das próximas gerações.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAIA, Diândria; VENTORIM, Rafael. **EMATER-DF**. Disponível em: <https://biblioteca.emater.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/161/1/Compostagem%20Final.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

GUERRA, Wellington Eduardo Xavier. GPAGRO. **Fertilidade do solo**. Unoeste. Agosto de 2015. Disponível em: <https://sites.unoeste.br/gpagro/wp-content/uploads/2015/07/Comunicado-T%C3%83%C2%A9cnico-01-GPAGRO-UNOESTE.pdf>. Acesso em: 21 Jan. 2025.

IBGE. **Atlas do espaço rural brasileiro**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/11_00_Texto.pdf Acesso em: 01 fev. 2025.

INÁCIO, Caio de Teves; MILLER, Paul Richard Monsem. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. 1º Edição. Rio de Janeiro. Editora Embrapa solos, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/527689851.pdf>. Acesso em: 15 Jan. 2025.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho; ARAUJO, Ademir Sergio Ferreira. **Ecologia Microbiana do solo**. Terezina, PI. Editora Embrapa Meio Norte, 2007. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/ECOLOGIA%20MICROBIANA%20DO%20SOLO.pdf>. Acesso em: 20 Jan. 2025.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo. Editora Unesp, 2010. Disponível em: https://docs.fct.unesp.br/docentes/geo/bernardo/BIBLIOGRAFIA%20DISCIPLINAS%20POS-GRADUACAO/HISTORIA%20DA%20AGRICULTURA/Historia_das_agriculturas.pdf Acesso em: 16 Jan. 2025.

UNIVASF. **O que é compostagem e como fazê-la em casa**. 2018. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/o-que-e-compostagem-e-como-faze-la-em-casa#:~:text=A%20compostagem%2C%20conhecida%20como%20o,o%20uso%20de%20produtos%20químicos>. Acesso em: 01 fev. 2025.

CAPÍTULO 6

BIODIGESTORES E QUÍMICA: SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Artur Gonçalves Araújo
Karen Souza da Silva
Sára Alves de Matos Rodrigues

Resumo: Os biodigestores anaeróbios são sistemas projetados para promover a decomposição da matéria orgânica em um ambiente sem oxigênio, resultando na produção de biogás e biofertilizante. Diante do crescente desafio da escassez de recursos naturais e do aumento dos custos energéticos e hídricos, esses sistemas surgem como uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, reduzindo impactos ambientais e gerando benefícios econômicos. Além da produção de energia renovável, os biodigestores possibilitam a reutilização da água tratada, promovendo um ciclo sustentável e eficiente para a agricultura e sistemas residenciais. O processo de digestão anaeróbia ocorre em etapas bioquímicas que enquanto o biofertilizante resultante contribui para a recuperação da fertilidade do solo, $(CO)_2$ convertem compostos orgânicos em metano (CH_4) e dióxido de carbono $(CO)_2$, solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos sintéticos. Este estudo analisa os principais processos químicos envolvidos na biodigestão, abordando sua eficiência energética, aplicações ambientais e estratégias para otimizar sua adoção em diferentes contextos.

Palavras-chave: Biodigestor. Processo Anaeróbio. Química. Sustentabilidade. Biogás. Biofertilizante.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alternativas energéticas sustentáveis e o desafio do tratamento adequado de resíduos orgânicos têm incentivado o desenvolvimento e a aplicação de biodigestores. Esses sistemas promovem a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, resultando na geração de biogás e biofertilizantes, produtos que possuem grande relevância para a sustentabilidade ambiental e a

economia circular (Bassin, 2024). Além de contribuir para a redução de resíduos descartados de maneira inadequada, os biodigestores possibilitam a produção de energia renovável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e mitigando impactos ambientais (Zenatti, 2024).

A relevância dessa tecnologia pode ser observada em sua ampla aplicação global. No Brasil, propriedades rurais utilizam biodigestores para o reaproveitamento de dejetos de suínos e bovinos, reduzindo custos com eletricidade e fertilizantes químicos. Em países como Índia e China, essa tecnologia é adotada em larga escala, integrando-se tanto a sistemas urbanos quanto rurais, com impacto direto na redução de emissões de gases de efeito estufa e no uso eficiente de resíduos orgânicos (Machado, 2023).

A química desempenha um papel essencial no funcionamento desses sistemas, pois a conversão da matéria orgânica em biogás ocorre por meio de reações bioquímicas complexas. A digestão anaeróbia é composta por quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo esta última responsável pela formação do metano (CH_4), principal componente do biogás. A compreensão dessas reações permite otimizar a eficiência dos biodigestores, aumentar a produção de biogás e melhorar a qualidade do biofertilizante gerado, favorecendo o uso agrícola sustentável (Jucá Maciel, 2003).

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo explorar a relação entre biodigestores e química, abordando os principais processos químicos envolvidos na digestão anaeróbia, os fatores que influenciam a produção de biogás e biofertilizante e as aplicações dessa tecnologia em diferentes setores. Além disso, busca-se analisar como melhorias na eficiência desses sistemas podem torná-los ainda mais acessíveis e viáveis economicamente, contribuindo para um modelo sustentável de gestão de resíduos orgânicos.

2. OBJETIVOS

Reunir e discutir os processos químicos envolvidos no funcionamento de biodigestores, analisando sua importância na produção de biogás e biofertilizantes, bem como seus impactos ambientais e econômicos.

2.1 Objetivos Específicos

- Investigar os processos químicos relacionados aos biodigestores e suas aplicações.
- Avaliar como a otimização desses sistemas pode ampliar sua viabilidade econômica e sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

Este estudo se caracteriza como uma revisão narrativa da literatura, cujo objetivo é reunir e discutir os processos químicos envolvidos no funcionamento de biodigestores, analisando sua importância na produção de biogás e biofertilizantes, bem como seus impactos ambientais e econômicos. Para isso, foram consultadas publicações científicas, livros técnicos e documentos institucionais.

A seleção dos materiais de referência foi realizada por meio de uma busca em bases de dados acadêmicas, incluindo Scielo e Google Acadêmico. Além disso, foram incorporadas informações obtidas na palestra ministrada por Bruno Meirelles Passos, que apresentou referências fundamentais para a compreensão do tema, tais como os trabalhos de Bassin (2024), Machado (2023), Jucá Maciel (2023), Farret (1999) e Zenatti (2024).

Para garantir a relevância das informações utilizadas, foram aplicados os seguintes descritores na busca por materiais: *Biodigestores*; *Processo anaeróbio*; *Biogás*; *Química da biodigestão*; *Biofertilizante*; *Sustentabilidade*.

Foram incluídas no estudo apenas publicações que atendessem aos seguintes critérios:

- a) Atualidade e relevância** – Preferência por estudos dos últimos 10 anos, exceto materiais considerados referências clássicas na área.
- b) Rigor metodológico** – Trabalhos com fundamentação científica e descrição detalhada dos processos químicos envolvidos.
- c) Relação direta com o tema** – Estudos que abordam a interação entre química e biodigestão, eficiência do biogás e impactos ambientais da tecnologia.

Os conteúdos selecionados foram organizados de forma estruturada e comparativa, agrupando as informações em categorias essenciais para a compreensão da relação entre química e biodigestores. Para isso, foram estabelecidos os seguintes eixos temáticos:

- d) O funcionamento dos biodigestores e seus diferentes modelos;
- e) Os processos químicos envolvidos na digestão anaeróbia;
- f) A composição e eficiência do biogás e do biofertilizante;
- g) Métodos de purificação e armazenamento do biogás;
- h) Impactos ambientais e energéticos da adoção dos biodigestores.

A análise dos dados coletados foi realizada a partir da comparação entre diferentes autores, buscando identificar convergências e lacunas na literatura. Dessa forma, o estudo permitiu uma abordagem crítica sobre o tema, destacando desafios e avanços na utilização de biodigestores como solução sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BIODIGESTORES E SEUS TIPOS

Os biodigestores são sistemas projetados para a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, permitindo a conversão de resíduos em biogás e biofertilizante. Esses sistemas podem ser utilizados em diferentes contextos, desde pequenas propriedades rurais até grandes indústrias, desempenhando um papel fundamental na redução de impactos ambientais e na geração de energia renovável (Zenatti, 2024).

Os biodigestores podem ser classificados com base no seu tipo de fluxo hidráulico:

1. Fluxo hidráulico descontínuo: ocorre o carregamento completo da biomassa, seguida da digestão sem reposição contínua.

2. Fluxo hidráulico contínuo: há um suprimento constante de substrato, permitindo a saída gradual do material tratado.

Além disso, há diferentes modelos de biodigestores, sendo os mais comuns:

3. Indiano (cúpula fixa): feito de alvenaria, tem um reservatório fixo de biogás.

4. Chinês: semelhante ao indiano, mas estruturado para maior durabilidade.

5. Tubular: feito de material plástico flexível, adequado para sistemas de pequeno porte.

A escolha do modelo depende da quantidade de matéria-prima disponível, do investimento inicial e da infraestrutura disponível para instalação (Jucá Maciel, 2003).

4.2 Funcionamento Mecânico do Biodigestor Anaeróbio

O biodigestor anaeróbio é composto por um tanque hermético onde a matéria orgânica – como restos de alimentos, esterco animal e resíduos agrícolas – é inserida através de um sistema de alimentação. Esse tanque é projetado para impedir a entrada de oxigênio, criando um ambiente completamente anaeróbico.

O sistema de biodigestão funciona da seguinte forma:

3. Entrada da Matéria Orgânica: A matéria orgânica é adicionada ao biodigestor por meio de uma abertura específica, podendo ser bombeada ou introduzida manualmente.

4. Mistura e Homogeneização: Em alguns modelos de biodigestores, há mecanismos de agitação que garantem a mistura homogênea dos resíduos dentro do tanque, otimizando a decomposição.

5. Selagem e Ambiente Controlado: O biodigestor é totalmente vedado para impedir a entrada de ar e manter condições ideais de pressão e temperatura, que influenciam na eficiência da decomposição.

6. Produção e Acúmulo de Biogás: Durante a decomposição, os gases gerados – predominantemente metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) – se acumulam na parte superior do biodigestor e podem ser canalizados para armazenamento e uso.

7. Remoção do Biofertilizante: O resíduo líquido resultante da digestão é conduzido para um compartimento de saída, podendo ser coletado periodicamente para aplicação na agricultura.

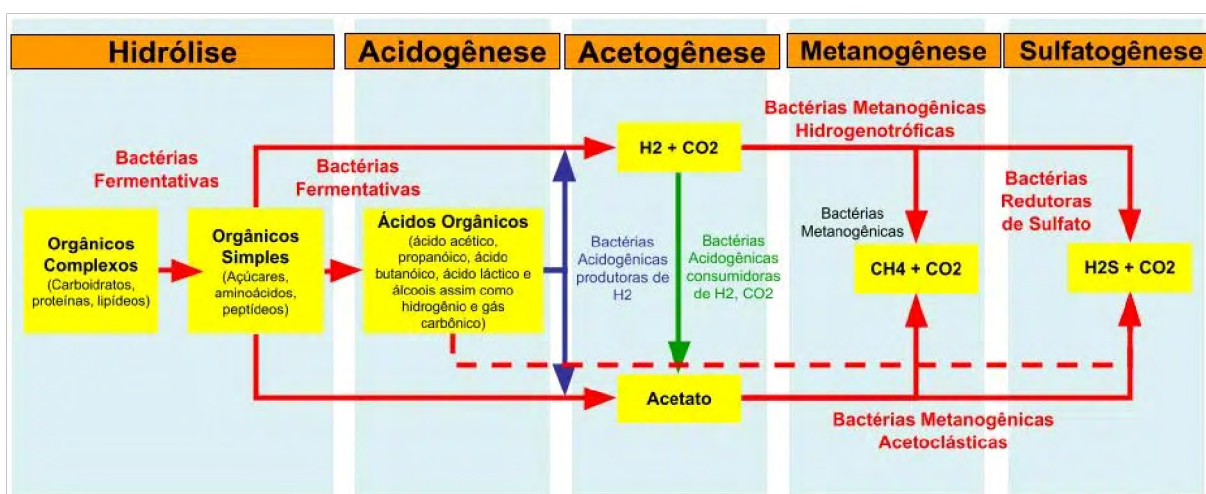
8. Saída Controlada do Biogás: O biogás produzido pode ser canalizado diretamente para queima em fogões, caldeiras ou sistemas de geração de energia elétrica.

4.3 O Processo Anaeróbico e as Reações Químicas

O funcionamento dos biodigestores depende do processo de digestão anaeróbia, que ocorre por meio de diferentes etapas bioquímicas. Segundo Machado (2023), essa conversão ocorre em cinco fases principais:

- 1. Hidrólise:** quebra das macromoléculas orgânicas (carboidratos, lipídios e proteínas) em compostos mais simples.
- 2. Acidogênese:** transformação dos produtos da hidrólise em ácidos orgânicos, como ácido acético e ácido propiônico.
- 3. Acetogênese:** conversão dos ácidos orgânicos em acetato (CH_3COO^-) hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2).
- 4. Metanogênese:** formação de metano (CH_4) e CO_2 por microrganismos metanogênicos.
- 5. Sulfatogênese:** produção de H_2S na presença de sulfato, podendo interferir na qualidade do biogás.

Figura 1 – Fases da Biodigestão Anaeróbia



Fonte: Machado, 2023.

A equação geral da conversão da glicose em metano no biodigestor pode ser representada por $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{CH}_4$.

Essa reação evidencia o papel das bactérias metanogênicas, responsáveis por converter os substratos em biogás de alto valor energético (Bassin, 2024). O controle de pH, temperatura e razão C/N é essencial para maximizar a produção de metano e minimizar a formação de compostos indesejáveis, como o sulfeto de hidrogênio (Zenatti, 2024).

4.4 Composição e Propriedades do Biogás

O biogás gerado nos biodigestores apresenta uma composição variável, dependendo do tipo de substrato utilizado e das condições operacionais. Segundo Jucá Maciel (2003), os principais componentes do biogás são:

Tabela 1-Principais Componentes do Biogás

Gás	Concentração típica	Poder Calorífico (kJ/m³)	Propriedades
CH4(Metano)	45 – 60%	35.600	Inflamável, incolor, inodoro.
CO2 (Dióxido de Carbono)	35 – 50%	—	Inodoro, asfixiante.
H2S (Sulfeto de Hidrogênio)	0 – 70 ppm	—	Corrosivo, tóxico.

Fonte: Jucá Maciel, 2023

O poder calorífico do biogás varia entre 21 e 23,5 MJ/m³, sendo comparável ao gás natural (Farret, 1999). Além disso, 1 m³ de biogás equivale a 1,5 m³ de gás natural, 0,98 L de gasolina e 2,21 kWh de eletricidade.

A presença de H2S e CO2 pode reduzir a qualidade do biogás, tornando necessário o uso de processos de purificação antes da aplicação do gás como fonte de energia (Machado, 2023).

4.5 Purificação e Armazenamento do Biogás

Para garantir a eficiência do biogás, é necessário remover impurezas como H2S, CO2 e umidade. Segundo Machado (2023), os principais métodos de purificação incluem:

- **Filtragem biológica:** uso de microrganismos para decomposição do H2S.
- **Absorção química:** remoção de CO2 com soluções alcalinas.
- **Membranas filtrantes:** separação seletiva dos gases.

Além disso, o biogás pode ser armazenado de diferentes formas, conforme sua pressão (Zenatti, 2024):

Tabela 2 – Armazenamento do Biogás

Pressão	Sistema de Armazenamento	Material
Baixa (13,8 – 41,4 kPa)	Gasômetro selado com água	Aço, PEAD
Média (105 – 197 kPa)	Tanques de GLP	Aço
Alta (20.106 kPa)	GNV (Gás Natural Veicular)	Aço

Fonte: Zenatti, 2024 .

A correta purificação e armazenamento garantem maior eficiência energética e ampliam as aplicações do biogás na geração de energia elétrica e térmica.

4.6 Eficiência Energética e Aplicações Ambientais

Os biodigestores não apenas produzem energia renovável, mas também reduzem emissões de gases de efeito estufa, pois evitam a liberação descontrolada de metano e diminuem a necessidade do uso de fertilizantes químicos.

A utilização do biofertilizante gerado no biodigestor apresenta impactos positivos no solo. Como salientado por de Paula, Barros, Maciel, Nascimento e Otenio (2020):

A disposição adequada do biofertilizante permite o aumento da biodiversidade do solo, contribuindo para o crescimento das plantas e aumento da produtividade. Segundo Silva et al. (2012), a aplicação de biofertilizante na lavoura é recomendada para reduzir a poluição ambiental, além de melhorar os atributos físico-químicos do solo, reduzindo a necessidade de aplicação de fertilizantes sintéticos. A adubação química é uma das atividades que mais contribuem para emissões de GEE, acidificação e eutrofização pela agricultura (Bacenetti et al., 2016).

Assim, além de gerar energia renovável, os biodigestores promovem a sustentabilidade na agricultura, reduzindo a dependência de insumos químicos e mitigando impactos ambientais (Zenatti, 2024).

4.7 Viabilidade Econômica dos Biodigestores

Embora a implementação de biodigestores exija um investimento inicial, diversos estudos apontam que o retorno financeiro é positivo a longo prazo. Segundo Bassin (2024), a redução de custos com energia elétrica e fertilizantes compensa o investimento inicial em menos de cinco anos em propriedades rurais. Além disso, políticas públicas e incentivos fiscais podem reduzir ainda mais esse tempo de retorno, tornando a tecnologia mais acessível para pequenos e médios produtores.

No Brasil, uma das iniciativas mais bem-sucedidas no uso de biodigestores é o **Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB)**, que incentiva a adoção dessa tecnologia em pequenas e médias propriedades rurais. Segundo Zenatti (2024), estados como Paraná e Santa Catarina têm apresentado crescimento na adoção de biodigestores, especialmente no setor agropecuário, onde o biogás é utilizado para geração de eletricidade e o biofertilizante é aproveitado nas lavouras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biodigestores representam uma solução eficaz e sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos, promovendo a geração de biogás e biofertilizantes. Este estudo permitiu analisar os principais processos químicos envolvidos na digestão anaeróbia, demonstrando a importância do controle de variáveis como pH, temperatura e razão C/N para a otimização da produção de metano. Além disso, evidenciou-se a necessidade de processos adequados de purificação do biogás para garantir maior eficiência energética e reduzir impactos ambientais.

A implementação de biodigestores não apenas reduz a pegada ambiental, mas também proporciona autonomia energética e segurança econômica para pequenos produtores e comunidades rurais. A possibilidade de reutilização de resíduos orgânicos para a geração de energia e biofertilizantes confere maior independência dos insumos convencionais, fomentando práticas agrícolas mais sustentáveis e acessíveis.

Diante das pesquisas analisadas, observa-se que os biodigestores representam uma tecnologia com alto potencial de contribuição para a sustentabilidade

ambiental e energética. No entanto, para que sua adoção se amplie, é essencial a implementação de incentivos econômicos e políticas públicas que tornem a tecnologia mais acessível. O avanço das pesquisas e a maior conscientização sobre os benefícios dessa tecnologia são fundamentais para impulsionar sua disseminação.

Desse modo, os biodigestores se consolidam como uma solução inovadora e eficiente, promovendo economia circular, reaproveitamento de resíduos e mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Assim, os biodigestores representam um passo significativo rumo à sustentabilidade, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a construção de um futuro mais equilibrado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal de Uberlândia.

BACENETTI, J. *et al.* Efeitos da adubação química na emissão de GEE e na acidificação do solo agrícola. Pesquisa. **Hortic. Bras.** 30 (4) • Dez 2012 2016.

BASSIN, J. C. Tratamento de resíduos e processos anaeróbios: princípios e aplicações. 2024.

BARROS, Inácio de; MACIEL, Alyne Martins; NASCIMENTO, Andressa de Mattos; PAULA, Vanessa Romário de; OTENIO, Marcelo Henrique. Uso de biofertilizante como agente promotor da bioeconomia na agropecuária. In: **Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, 2020.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica: fundamentos e aplicações**. Santa Maria: Editora UFSM, 1999.

FEIDEN, Armin. Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbico com separação de fases em escala piloto. **Tese de Doutorado**, UNESP. 2001.

JUCÁ MACIEL, C. Estudos sobre a emissão de gases em aterros sanitários e digestão anaeróbia. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco. 2023.

MACHADO, Gleysson B. Biodigestão Anaeróbia-As 4 fases. Portal do Biogás, 2023. Disponível em: <<https://portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/>>. Acesso em: 01 de março de 2025.

SILVA, F. *et al.* Aplicação de biofertilizante na lavoura e a redução da poluição ambiental. 2012.

SUÇUARANA, Monik Da Silveira. Biodigestores. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/energia/biodigestores/>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2025.

ZENATTI, P. **Obtenção e aproveitamento do biogás na geração de energia sustentável.** 2024. Disponível em: <https://palotina.ufpr.br/bioenergia/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/AULA-BIOG%C3%81S-BIOENERGIA1.pdf>. Acesso em 14 jun. 2025.

CAPÍTULO 7

BIOFERTILIZANTES ORGÂNICOS

Jamile Nascimento do Carmo
Livia Tolentino de Carvalho Ferreira
Mayana Fontes Avelar
Raniele de Souza Rodrigues

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar o uso dos biofertilizantes e seus benefícios na agricultura. Os biofertilizantes são produtos naturais que contêm microrganismos benéficos, tais como bactérias, fungos e algas, que promovem o crescimento das plantas ao melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo. Os biofertilizantes são uma alternativa mais ecológica e sustentável aos fertilizantes químicos, que ao seu uso desenfreado podem ocasionar sérios problemas, como degradação do solo e contaminação da água. Além disso, os biofertilizantes podem melhorar a estrutura do solo, aumentar a atividade biológica, promover a fixação de nitrogênio e ajudar a combater patógenos de forma biológica. É importante salientar que cada tipo de solo possui uma fertilidade natural específica e, portanto, proporciona crescimento de diversas maneiras dos cultivos. O presente estudo visa realizar uma revisão de literatura sobre a utilização dos biofertilizantes na agricultura, com base nas pesquisas realizadas. Por fim, ao final desse trabalho, será apresentado como material, um produto cultivado pelas autoras para exemplificar o biofertilizante orgânico no uso da agricultura.

Palavras-chave: Compostagem. Agricultura sustentável. Fertilizantes químicos. Resíduos orgânicos.

1. INTRODUÇÃO

O descarte de lixo orgânico de forma inadequada apresenta impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Quando destinado ao aterro sanitário, ele passa pelo processo de decomposição anaeróbica, liberando gases de efeito estufa, como o metano, que acentuam o aquecimento global, além de produzir chorume, um líquido poluente que contamina o solo e os lençóis freáticos. Ainda, o acúmulo de resíduos orgânicos proporciona a proliferação de agentes patogênicos e vetores de doenças, ameaçando a saúde pública.

Com o crescimento populacional e o modelo de agricultura vigente, a quantidade de resíduos gerada só faz aumentar, sendo preciso encontrar alternativas para minimizar o desperdício e dar um destino sustentável a esses materiais.

A compostagem e a fermentação de resíduos orgânicos representam métodos eficientes para reciclar nutrientes presentes no lixo, transformando-o em biofertilizante, um insumo capaz de atender às necessidades das plantas, aumentando a produção de alimentos de forma econômica e sustentável.

Este trabalho propõe o aproveitamento de cascas de ovos, cascas de banana e borra de café para a produção de um biofertilizante orgânico, visando ao manejo da agricultura de forma sustentável, ao mesmo tempo que fortalece comunidades agrícolas ao proporcionar uma alternativa de baixo custo e de fácil execução.

1.2 Objetivo Geral

Investigar o processo de produção de biofertilizantes a partir de resíduos orgânicos, visando à sua aplicação para o desenvolvimento das plantas e à sustentabilidade da agricultura.

1.3 Objetivos Específicos

Produzir um biofertilizante de baixo custo, destinado ao uso na agricultura como alternativa ao uso de adubos químicos.

Avaliar o manejo de resíduos orgânicos como forma de minimizar impactos ao meio ambiente e apoiar comunidades agrícolas.

Reduzir a quantidade de resíduos orgânicos descartados, promovendo a reciclagem de materiais que seriam destinados ao lixo.

2. METODOLOGIA

Esta revisão de literatura foi realizada por meio de uma busca sistemática em bases de dados digitais, incluindo Google Acadêmico, Scielo e artigos científicos. Os termos de busca utilizados foram: “biofertilizantes”, “agricultura”, “compostagem”, “resíduos orgânicos” e “sustentabilidade”. Os estudos foram

selecionados com base em critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão foram: publicações nos últimos 10 anos, idioma português ou espanhol, tema relacionado a biofertilizantes na agricultura e metodologia de pesquisa relevante. Os critérios de exclusão foram: publicações não científicas, estudos com metodologia fraca, estudos que não abordem o tema e estudos com dados incompletos. A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, utilizando técnicas de análise de conteúdo. A qualidade dos estudos foi avaliada com base em critérios de validade e confiabilidade. Ainda, como parte da metodologia, os participantes desenvolveram um exemplar de biofertilizante, utilizando materiais e técnicas específicas, com objetivo de propor reciclagem de resíduos orgânicos.

2.1 Produção de Biofertilizante

A proposta de produzir um biofertilizante com lixo orgânico comum em escola e em residências, foi elaborada pelas discentes do Curso de Licenciatura Interdisciplinar em Ciências da Natureza e suas Tecnologias na Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), cujo o objetivo é propor, de forma eficiente, a reciclagem desses resíduos. Os materiais orgânicos utilizados para a produção do biofertilizante foram: Cascas de ovos, cascas de banana e borra de café (Quadro 1).

Quadro 1-Materiais para o Biofertilizante

Quantidade	Material
1 litro	Água
1 xícara	Borra de café
8	Cascas de ovos
5	Cascas de banana
1	Garrafa PET de 2,5
1	Funil
1	Liquidificador
1	Peneira
1 litro	Água

Fonte: Produzido pelos autores, 2024

As cascas de ovos foram higienizadas e colocadas em um recipiente aberto para secar no sol, após a secagem, as cascas foram colocadas em um liquidificador e trituradas. A borra de café, sem adição de açúcar, foi retirada do filtro e colocada em um recipiente para secar. As cascas de banana foram picadas e separadas numa vasilha. Em um liquidificador foi colocado 1 litro de água, e adicionado os outros materiais orgânicos que já estavam separados, e batendo bem até todos os componentes estarem triturados.

Logo após todo o líquido será passado para a garrafa, com o auxílio de um funil, é necessário que a capacidade da garrafa seja maior que o volume do líquido, porque irá passar pelo processo de fermentação, devendo haver espaço para formação do gás. É preciso deixá-lo em um local fresco sem sol por 4 dias. Após esse período, o conteúdo da garrafa será coado e diluído em um litro de água, e em seguida estará pronto para ser utilizado. O biofertilizante orgânico será propício para ser usado em hortas, jardins e plantações, podendo ser regado no solo das plantas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Compostagem

Atualmente, no Brasil, é produzida uma enorme quantidade de lixo orgânico, cerca de 37 milhões de toneladas, sendo que apenas 1% é reaproveitado, de acordo com os dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Todo esse resíduo tem potencial econômico para ser transformado em adubo, gás combustível e até mesmo energia. No entanto, o lixo orgânico é descartado nos aterros sanitários sem nenhum tipo de tratamento, e a decomposição desse resíduo gera gás metano, que é prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana.

Como foi citado, o lixo orgânico pode ser utilizado como adubo, ou mais especificamente, pode ser transformado em biofertilizantes, que contém nutrientes e microrganismos que melhoram a saúde das plantas. Ele é feito a partir de resíduos orgânicos, como esterco, restos de frutas, verduras, soro de leite, cascas de ovos, etc. Após passar por um processo de fermentação com água, o biofertilizante pode ser utilizado na agricultura (Medeiros e Lopes, 2006).

A compostagem, que é bastante utilizada na agricultura, é realizada por meio da utilização de materiais ricos em carbono e pobres em nitrogênio, como bagaço de cana, serragem ou palhas de gramíneas, misturados com materiais ricos em nitrogênio, como esterco bovino, torta de mamona ou folhas leguminosas. A visão é obter uma mistura com teor médio de nitrogênio (Assis, 2023).

As matérias-primas podem ser misturadas, umedecidas e amontoadas sem camadas, e o período de compostagem é bastante variável, geralmente durando entre 60 a 120 dias. O produto final é rico em nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre e outros.

Além disso, o composto também contém hormônios, substâncias que ajudam no desenvolvimento e resistência das plantas. Álcool e fenol, substâncias que ajudam as plantas a desenvolver suas células. Microorganismos benéficos, seres que ajudam no processo de defesa das plantas e na disponibilidade de nutrientes.

A compostagem é uma boa alternativa que contribui diretamente para a redução do impacto ambiental. Ao optar por essa destinação, o resíduo orgânico deixa de ser considerado lixo e passa a ser um ótimo agente para a nutrição das plantas. Nesse processo, a transformação das características da matéria destinada aos aterros em um produto rico em nutrientes melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e conseqüentemente aumenta a produtividade onde é aplicado.

3.2 Biofertilizantes

Os biofertilizantes são uma boa alternativa comparada aos fertilizantes químicos, que são substâncias que fornecem nutrientes às plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). Esses fertilizantes são os mais utilizados na agricultura moderna, mas seu uso pode trazer conseqüências, pois envolve a adição de metais pesados contidos nesses insumos como impurezas, provenientes das rochas, da corrosão de equipamentos e de reagentes usados na sua manufatura. O biofertilizante é usado para suprir as necessidades nutricionais do solo, por possuir uma grande de matéria orgânica e sua produção de baixo custo, não causa degradação e nem acidez do solo (Fernandes, 2023). Produzi-

do através de resíduos orgânicos, esses fertilizantes orgânicos passam por um processo chamado de fermentação, que de acordo com a EMBRAPA (2023), podem ser feitos de forma anaeróbica e aeróbica são ricos em microorganismos fornecendo nutrientes essenciais para a planta e para o solo. Quando se tem um solo equilibrado favorece na nutrição vegetal, ajudando a prevenir doenças e pragas.

O biofertilizante é uma alternativa natural que não é agressiva como os fertilizantes químicos, e é econômica, sustentável e fácil de fazer (Assis, 2023). E com o aumento da diversidade de microorganismos, beneficiando um desenvolvimento agrícola sustentável, pelo baixo valor de produção e por ter compostos ricos em microorganismos eficientes. A composição química do biofertilizante varia conforme o método de preparo, o tempo de decomposição, a população microbiológica, temperatura e pH do composto, bem como o material que o origina. Uma das principais características do biofertilizante é a presença de microorganismos, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e liberação de metabólitos, enzimas, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres, ácidos e antibióticos (Medeiros; Lopes, 2006), conferindo melhor qualidade à calda orgânica.

3.3 Biofertilizante Orgânico

Na produção do biofertilizante orgânico foi utilizado os seguintes resíduos: as cascas de ovos, cascas de banana e borra de café. Nas cascas de ovos podemos encontrar a presença dos compostos CaCO_3 e $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. O carbonato de cálcio ajuda na correção do pH do solo e o fosfato de cálcio é um dos macronutrientes responsáveis pelo desenvolvimento da planta (Rodrigues, 2017). Já as cascas das bananas possuem alto teor de potássio, além de manganês e outros minerais como sódio, cálcio e ferro. Mais de 90% de uma casca é formada por matéria orgânica nutritiva, composto por lipídios, proteínas, fibras e carboidratos, elementos essenciais para as plantas (Assis, 2023). Quando a borra do café é integrada a outros resíduos orgânicos forma um substrato ou composto que pode, potencialmente, substituir aditivos químicos usados na agricultura. Isso porque se trata de um resíduo rico em matéria orgânica e macronutrientes como N, P₂₀₅ e K₂₀, o que a torna valorosa no âmbito agrônomo e ambiental (Lima, 2022).

A produção de biofertilizante orgânico é uma alternativa sustentável, ajudando a reduzir o lixo orgânico, utilizando como material para sua produção, com baixo custo de produção.

Dentro da agricultura familiar, é uma alternativa na qual traz benefícios, evitando a perda da produção e aumentando a rentabilidade, de modo com que os mesmos, produzam seu biofertilizante.

Entretanto, esse trabalho tem como objetivo demonstrar maneiras de elaborar um biofertilizante caseiro, com materiais que poderiam ser jogados no lixo, no qual tem serventia para ser reutilizado. Com isso, conclui-se que os biofertilizantes, são recursos eficazes, promovem a sustentabilidade e o baixo custo de fabricação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os biofertilizantes orgânicos representam uma alternativa sustentável e ecologicamente correta para a agricultura, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos e minimizando seus impactos negativos no meio ambiente. Sua aplicação melhora a fertilidade do solo, promove a fixação de nutrientes essenciais e fortalece a resistência das plantas contra pragas e doenças de forma natural.

Além disso, o uso de biofertilizantes favorece a agricultura sustentável, ao estimular a biodiversidade do solo e reduzir a dependência de insumos sintéticos, promovendo um sistema produtivo mais equilibrado e saudável. Conforme demonstrado na revisão de literatura, diferentes estudos evidenciam que esses insumos naturais são eficientes na melhoria da produtividade agrícola sem comprometer a qualidade ambiental.

Por fim, a aplicação prática apresentada neste estudo reforça a viabilidade do uso dos biofertilizantes na produção agrícola, destacando seus benefícios tanto para os agricultores quanto para o meio ambiente. Diante disso, torna-se essencial a ampliação de pesquisas e o incentivo ao uso de biofertilizantes como estratégia fundamental para uma agricultura mais sustentável e resiliente.

6. REFERÊNCIAS

ASSIS, Helena de. SOARES, Kézia. NOUGUEIRA, Marcia. CLETO, Mayara. MELO, Thamiris. Biofertilizante-rico em cálcio, nitrogênio, potássio e fósforo, 2023. **Trabalho de conclusão de curso** (Curso Técnico em Química) - Escola Técnica Estadual ETEC de Cidade Tiradentes (Cidade Tiradentes-São Paulo), São Paulo, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/15157>. Acessado em 20 fev. 2025.

COSTA, M. M. M. N.; BARROS, M. A. L.; FREIRE, R. M. M. **Biofertilizantes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 39 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 292), 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/267264/1/BIOFERTILIZANTES.pdf>. Acessado em 02 Mar. 2025.

FERNANDES, Ana Caroline da Silva et al. Comparação do desenvolvimento das plantas através do uso de biofertilizantes oriundos da compostagem de resíduos orgânicos. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Curso Técnico em Meio Ambiente) - ETEC de Cubatão, Cubatão-SP, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/19550>. Acessado em 30 jan.2025.

GRAGEDA-CABRERA, Oscar Arath e outros. **Impacto dos biofertilizantes na agricultura**. *Rev. México. Ciência Agríc*, Texcoco, v. 3, n. 6, pág. 1261-1274, dezembro. 2012. Disponível em http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&nrm=iso. Acessado em 07 fev. 2025.

LIMA, Gabriella de Souza *et al.* Aproveitamento da borra de café na produção de mudas de alface. **Ciências Rurais em Foco**. Volume 7, p. 27, 2022. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/Ciencias_Rurais/volume7/Ciencias_Rurais_vol7.pdf#page=27 Acessado em: 06 mar. 2025.

MEDEIROS, Marcos Barros de; DA SILVA LOPES, Juliano. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. *Bahia Agrícola*. Salvador, v. 7, 2006. Disponível em: http://www.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/comunicacao05_v7n3.pdf. Acessado em 30 jan. 2025.\ Q

PEREIRA MARROCOS, SAULO DE TARCIO; NOVO JUNIOR, JOSÉ; COSTA GRANGEIRO, LEILSON; DE QUEIROZ AMBROSIO, MÁRCIA MICHELLE; ALVES DA CUNHA, ANA PAULA. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE BIOFERTILIZANTES EM DIFERENTES TEMPOS DE DECOMPOSIÇÃO *Revista Caatinga*, vol. 25, núm. 4, outubro-diciembre, 2012, pp. 34-43 Universidade Federal Rural do Semi-Árido Mossoró, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237125883005>. Acessado em: 06 mar. 2025.

RODRIGUES, Aleff S.; ÁVILA, Simone G. de. Caracterização físico-química da casca de ovo de galinha e utilização como fonte para produção compostos de cálcio. **Revista virtual de química**, v. 9, n. 4, p. 596-607, 2017. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v9n2a10.pdf> . Acessado em 26 fev. 2025

CAPÍTULO 8

O IMPACTO DOS AGROTÓXICOS NO MEIO AMBIENTE E A IMPORTÂNCIA DA CONSCIENTIZAÇÃO PARA PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Ana Júlia Oliveira Souza
Graziele da Cunha Lacerda
Jorge Rafael Oliveira Rocchigiani
Marcelly Ribeiro Kern
Moabe Sales dos Santos
Pedro Henrique Nascimento de Avelar

Resumo: O uso excessivo de agrotóxicos na agricultura tem resultado na contaminação do solo e da água, comprometendo a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos. Este estudo, baseado em uma revisão narrativa estruturada, analisou os mecanismos de dispersão dos pesticidas, seus impactos ambientais e estratégias de mitigação. Foram consultadas publicações científicas em bases de dados reconhecidas, priorizando estudos que abordam a lixiviação, o escoamento superficial e os efeitos dos resíduos químicos nos ecossistemas. Os resultados indicam que práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas e o uso de bioinsumos, podem reduzir a dependência de pesticidas sintéticos, minimizando a degradação ambiental. Além disso, políticas públicas e programas de educação ambiental são fundamentais para conscientizar produtores e incentivar a adoção de alternativas ecológicas. Conclui-se que a implementação de estratégias sustentáveis pode contribuir para a preservação dos recursos naturais, exigindo monitoramento contínuo e apoio governamental para ampliar sua viabilidade.

Palavras-Chaves: Agrotóxicos. Contaminação ambiental. Manejo sustentável. Lixiviação. Escoamento superficial.

1. INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos na agricultura tornou-se uma prática comum para controlar pragas e doenças, garantindo produtividade e reduzindo perdas agrícolas. Associado a técnicas como a irrigação, esse modelo produtivo possibilita

colheitas mais eficientes e o cultivo em diferentes períodos do ano. No entanto, o uso intensivo desses produtos tem gerado impactos ambientais, especialmente na qualidade do solo e da água. A expansão das áreas irrigadas exige estudos sobre alterações físicas, químicas e biológicas no ambiente, pois fertilizantes e defensivos químicos podem comprometer os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos (Oliveira *et al.*, 2017). Além disso, a ocupação do solo por atividades agrícolas afeta diretamente a preservação dos corpos d'água e a vida das populações que dependem desses recursos, especialmente em áreas rurais (MORAIS *et al.*, 2023). O uso indiscriminado desses compostos também representa riscos à biodiversidade e à saúde humana, já que resíduos tóxicos são frequentemente detectados em mananciais utilizados para abastecimento e irrigação (Morais *et al.*, 2023). Esses impactos demonstram a necessidade de compreender a relação entre o uso excessivo de agrotóxicos e a degradação dos recursos naturais, além de buscar alternativas para reduzir esses danos e promover práticas agrícolas sustentáveis.

A aplicação contínua de agrotóxicos tem causado impactos ambientais, afetando a qualidade do solo e da água. A intensificação dessa prática na agricultura tem levado à contaminação dos recursos hídricos por resíduos químicos, exigindo monitoramento contínuo para evitar riscos à segurança hídrica das populações (Portugal; da Costa Silva, 2020; Ismael; Rocha, 2019). Esses compostos podem ser transportados pelo ambiente por meio da lixiviação e do escoamento superficial, processos que deslocam substâncias químicas do solo para cursos d'água e aquíferos subterrâneos (Silva; Schimidt; Santos, 2021).

Esse fenômeno se intensifica em áreas de monocultura, onde a ausência de cobertura vegetal facilita a mobilização dos contaminantes, ampliando os danos aos ecossistemas aquáticos (Ferreira *et al.*, 2016). A presença dessas substâncias nos corpos d'água pode reduzir populações de espécies aquáticas e comprometer cadeias alimentares, provocando desequilíbrios ecológicos (Morais *et al.*, 2023). Além disso, a contaminação do solo altera sua estrutura e fertilidade, impactando a fauna e a flora locais e dificultando a regeneração natural (Oliveira *et al.*, 2017). Diante desses problemas, é fundamental avaliar a dispersão desses resíduos e seus efeitos sobre os ecossistemas, reforçando a importância de práticas agrícolas que reduzam a degradação ambiental.

O uso contínuo de agrotóxicos tem afetado a biodiversidade do solo, comprometendo sua fertilidade e os processos ecológicos essenciais. A degradação biológica dos solos agrícolas ocorre devido à redução da atividade microbiana, impactando a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Castañeda, 2017). Além disso, a aplicação frequente de pesticidas altera a composição e o funcionamento das comunidades microbianas, prejudicando a manutenção da estrutura do solo e sua capacidade de regeneração (Vilches; Gil Pérez, 2011). Nos ecossistemas aquáticos, resíduos químicos provenientes da agricultura têm provocado intoxicações e distúrbios reprodutivos em organismos expostos, afetando cadeias alimentares e o equilíbrio dos ecossistemas (Moraes *et al.*, 2023). O acúmulo de pesticidas nos corpos d'água pode gerar desequilíbrios ecológicos, reduzindo a biodiversidade e afetando populações aquáticas (Silva; Schmidt; Santos, 2021). A contaminação do solo e da água também tem sido associada à perda de espécies vegetais e animais, comprometendo processos essenciais para a manutenção da biodiversidade (Metzger *et al.*, 2019). Entre os impactos dessa degradação, destaca-se a redução da população de polinizadores, o que prejudica a regeneração da vegetação nativa e a produtividade agrícola a longo prazo (Riera; Pereira, 2013). Para reduzir esses danos, práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas e o uso de bioinsumos, surgem como alternativas para preservar os ecossistemas e minimizar a contaminação ambiental (Ferreira *et al.*, 2016). Modelos de agricultura ecológica têm demonstrado eficiência na conservação dos recursos naturais, permitindo a produção de alimentos de maneira menos impactante ao meio ambiente (Oliveira *et al.*, 2017).

A adoção de alternativas sustentáveis tem sido uma estratégia para reduzir os impactos dos agrotóxicos no meio ambiente. O manejo integrado de pragas combina controle biológico, rotação de culturas e uso racional de pesticidas, contribuindo para a diminuição da dependência de agroquímicos (Riera; Pereira, 2013). Outra abordagem eficaz é o uso de defensivos biológicos, como extratos vegetais e microrganismos benéficos, que auxiliam no controle de pragas sem comprometer a qualidade do solo e da água (Castañeda, 2017). Além dessas práticas, políticas ambientais vêm sendo implementadas para regular o uso desses produtos e minimizar seus efeitos negativos.

Em diversos países, legislações mais rígidas foram estabelecidas para controlar a aplicação de agrotóxicos, embora ainda existam desafios na fiscalização e no cumprimento dessas normas (Saldívar, 2013). No Brasil, medidas como a exigência de Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais buscam equilibrar a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais (Metzger *et al.*, 2019). Além dessas regulamentações, a transição para um modelo produtivo sustentável pode reduzir a necessidade de insumos químicos e favorecer a preservação ambiental (Ferreira *et al.*, 2016).

A agricultura ecológica, fundamentada no uso racional dos recursos naturais, surge como alternativa para minimizar a contaminação por agrotóxicos e garantir a segurança alimentar (Oliveira *et al.*, 2017). No entanto, a conscientização da sociedade sobre os impactos desses produtos é essencial para a adoção de práticas mais responsáveis. O acesso à informação pode incentivar produtores e consumidores a tomarem decisões mais sustentáveis, favorecendo um modelo agrícola com menor impacto ambiental (Portugal; Silva, 2020). Campanhas educativas e incentivos à agricultura sustentável também são ferramentas importantes para a proteção da biodiversidade e a redução da poluição dos recursos hídricos (Silva; Schimidt; Santos, 2021).

A conscientização da sociedade e dos agricultores sobre os impactos ambientais dos agrotóxicos tem um papel central na adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. O conhecimento sobre os riscos associados ao uso desses produtos influencia diretamente as decisões dos produtores e pode incentivar a busca por alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente (Morais *et al.*, 2023). Quando informados sobre os efeitos da contaminação do solo e da água, os agricultores tendem a adotar estratégias mais seguras, reduzindo a dependência de defensivos químicos (Portugal; Silva, 2020). A educação ambiental desempenha um papel fundamental nesse processo, promovendo o uso racional dos recursos naturais e incentivando práticas agrícolas menos impactantes (Vilches; Gil Pérez, 2011). Programas educativos voltados para produtores e comunidades rurais contribuem para a transição para modelos produtivos mais equilibrados, favorecendo o uso de alternativas ecológicas no controle de pragas e doenças (Castañeda, 2017).

A pesquisa científica também auxilia nesse contexto, ao analisar a relação entre o uso de agrotóxicos e a degradação ambiental, fornecendo subsídios para

políticas públicas e estratégias de mitigação (Oliveira *et al.*, 2017). Compreender os impactos desses produtos no solo e na água é essencial para embasar ações que reduzam os danos ambientais e incentivem práticas agrícolas mais sustentáveis (silva; schmidt; santos, 2021). Dessa forma, este estudo busca ampliar o entendimento sobre essa problemática e apresentar alternativas que contribuam para a preservação dos recursos naturais e a sustentabilidade na agricultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio de uma revisão narrativa estruturada, com o objetivo de analisar a relação entre o uso excessivo de agrotóxicos e a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Para isso, foram selecionadas publicações científicas que abordam os impactos ambientais desses compostos, os processos de dispersão química e física no meio ambiente, os efeitos sobre a biodiversidade e as estratégias de mitigação dos danos.

A busca pelos materiais foi realizada em quatro bases de dados reconhecidas: CAPES, Scielo, ScienceDirect (Elsevier) e Google Acadêmico (Google Scholar). Para garantir a precisão dos resultados, foram utilizados operadores booleanos e palavras-chave relacionadas ao tema, conforme a seguinte string de pesquisa: (“agrotóxicos” OR “pesticidas”) AND (“contaminação do solo” OR “poluição da água” OR “recursos hídricos”).

Os critérios para a seleção das fontes incluíram um recorte temporal de 15 anos, priorizando estudos recentes, mas considerando referências mais antigas quando relevantes para a fundamentação teórica. Apenas publicações acadêmicas revisadas por pares, teses, dissertações e livros de instituições reconhecidas foram incluídas, excluindo-se fontes não científicas, como reportagens, blogs e artigos de opinião. Foram analisadas publicações em português, inglês e espanhol, permitindo uma abordagem mais ampla da literatura disponível. A seleção dos estudos foi direcionada para aqueles que abordam os impactos ambientais dos agrotóxicos, os processos de contaminação do solo e da água, os efeitos na biodiversidade e as práticas sustentáveis.

Após a coleta dos materiais, os estudos foram organizados em categorias temáticas, garantindo coerência com os objetivos do trabalho. As publicações

foram classificadas conforme os seguintes temas: mecanismos de contaminação do solo e da água, com foco nos processos de lixiviação e escoamento superficial; impactos ambientais dos agrotóxicos, abordando efeitos na fertilidade do solo, nos recursos hídricos e na biodiversidade; consequências para a biodiversidade e a saúde humana, analisando a relação entre a exposição a esses compostos e a perda de espécies vegetais e animais, além dos riscos para a saúde pública; estratégias de mitigação e práticas sustentáveis, destacando alternativas para reduzir os impactos dos agrotóxicos, como manejo integrado de pragas e bioinsumos; e estudos de caso sobre contaminação ambiental, que evidenciam regiões afetadas pela dispersão de resíduos químicos, apresentando suas causas e possíveis soluções.

A análise das informações foi conduzida a partir da comparação entre diferentes estudos, buscando identificar padrões nos resultados e possíveis divergências entre os autores. Essa abordagem permitiu avaliar as principais evidências científicas sobre a relação entre os agrotóxicos e a degradação ambiental, estruturando as informações de forma alinhada aos objetivos do trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos impactos dos agrotóxicos no meio ambiente evidencia a influência desses compostos na contaminação do solo e da água, assim como a necessidade de medidas para reduzir seus efeitos adversos. O estudo se baseia em pesquisas que abordam os processos de dispersão dos resíduos químicos, as consequências para os recursos hídricos e as estratégias de mitigação adotadas em diferentes contextos. Além disso, são apresentados estudos de caso que demonstram a variabilidade dos impactos ambientais conforme as características geográficas e as práticas agrícolas da região.

Diante desse cenário, a adoção de práticas sustentáveis e a conscientização sobre os riscos do uso intensivo de defensivos agrícolas se mostram fundamentais para minimizar os danos ambientais e garantir a preservação dos recursos naturais. As seções a seguir detalham os principais mecanismos de contaminação, os impactos observados e as iniciativas voltadas para a redução da dependência de agrotóxicos na agricultura.

3.1 Processos de Contaminação do Solo e da Água por Agrotóxicos

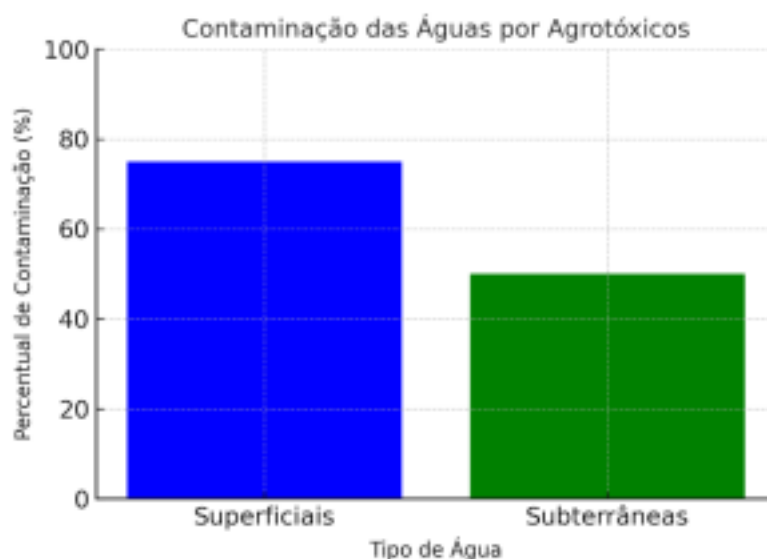
A dispersão de agrotóxicos no meio ambiente ocorre por processos físicos e químicos que alteram a qualidade do solo e da água. Dois dos principais mecanismos que favorecem essa dispersão são a lixiviação e o escoamento superficial, que transportam resíduos para diferentes compartimentos ambientais. Esses processos variam conforme as características do solo, o regime de chuvas, as propriedades químicas dos compostos utilizados e a presença de vegetação, que pode atuar como barreira para conter a propagação dos contaminantes.

3.1.1 Lixiviação e o Transporte de Resíduos Químicos

A lixiviação ocorre quando substâncias químicas aplicadas no solo se dissolvem na água da chuva ou da irrigação, infiltrando-se até camadas profundas e podendo atingir aquíferos subterrâneos. Em áreas de cultivo intensivo, como as de cana-de-açúcar, a ausência de cobertura vegetal natural facilita esse deslocamento, tornando a contaminação mais frequente (Ismael; Rocha, 2019). A presença de resíduos de agrotóxicos em águas subterrâneas compromete a qualidade dos mananciais e representa um risco para a biodiversidade e o abastecimento humano.

Mesmo quando as recomendações técnicas de aplicação são seguidas, a lixiviação pode ocorrer devido a fatores como a textura do solo e a composição química dos defensivos agrícolas. Estudos mostram que resíduos desses compostos são detectados em águas subterrâneas, indicando que a infiltração acontece mesmo sob condições controladas (Silva; Schimidt; Santos, 2021). Em áreas de monocultura, a ausência de rotação de culturas e a aplicação contínua de pesticidas favorecem a percolação dos contaminantes, agravando o problema (Ferreira *et al.*, 2016).

O movimento da água dentro dos aquíferos também pode contribuir para a dispersão dos resíduos de agrotóxicos. Em algumas regiões, a contaminação não ocorre apenas por infiltração direta, mas pela redistribuição da água subterrânea ao longo do ciclo hidrológico, aumentando o alcance dos poluentes e exigindo monitoramento constante (Jofre-Meléndez; Cervantes-Pérez; Barradas, 2015).

Figura 1 – Contaminação das águas superficiais e subterrâneas por agrotóxicos

Fonte: Adaptado de Ismael e Rocha (2019)

Dessa forma, os agentes poluentes presentes nela — como os resíduos de agrotóxicos — também se deslocam junto com o fluxo da água, ampliando o raio de contaminação para outras fontes, como nascentes, poços e até mesmo comunidades que usam esses recursos para abastecimento. Isso evidencia a importância de um monitoramento constante, tanto da água quanto do solo, para detectar a presença de agentes tóxicos e minimizar o impacto ambiental, evitando a contaminação de comunidades, da agricultura e de habitats que dependem da pureza da água subterrânea (Jofre-Meléndez; Cervantes-Pérez; Barradas, 2015).

3.1.2 Escoamento Superficial e a Dispersão dos Contaminantes

O escoamento superficial transporta partículas de agrotóxicos aplicados no solo para corpos d'água, especialmente em áreas de declive, solos compactados ou regiões com pouca vegetação. Em comunidades rurais de Goiás, a ausência de cobertura ciliar tem favorecido o transporte de contaminantes para cursos d'água, reduzindo sua qualidade e aumentando os riscos à saúde humana (Morais *et al.*, 2023).

O aumento do uso de agrotóxicos no Brasil tem intensificado esse impacto ambiental. Em regiões com solos de baixa infiltração e altos índices de precipitação, o transporte de resíduos químicos para os corpos d'água ocorre

de forma acelerada (Portugal; Silva, 2020). A presença desses compostos nos ecossistemas aquáticos compromete as cadeias alimentares e reduz a biodiversidade. A regulamentação ambiental enfrenta desafios na contenção desse tipo de contaminação. Embora as diretrizes busquem limitar os impactos do escoamento superficial, sua implementação e fiscalização ainda são problemáticas, principalmente em regiões economicamente dependentes do agronegócio (Saldívar, 2013).

Algumas estratégias têm demonstrado eficácia na redução desse impacto. Estudos na bacia do Médio São Francisco indicam que áreas próximas a perímetros irrigados apresentaram menor degradação da qualidade da água do que o esperado, sugerindo que a adoção de práticas agrícolas eficientes pode reduzir a dispersão de contaminantes (Oliveira *et al.*, 2017). Esses dados reforçam a necessidade de investir em técnicas que diminuam os impactos ambientais dos agrotóxicos, equilibrando a produção agrícola com a conservação dos recursos hídricos.

3.2 Consequências para os Recursos Hídricos

A contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos ocorre tanto pela lixiviação para os lençóis freáticos quanto pelo escoamento superficial para rios e lagos. Esses processos comprometem a qualidade da água, afetando ecossistemas aquáticos e o abastecimento humano. O aumento do uso de defensivos agrícolas em áreas de monocultura, aliado à ausência de práticas adequadas de manejo, amplia os riscos de poluição dos corpos d'água, tornando necessário um monitoramento mais rigoroso.

3.2.1 Contaminação de Rios, Lagos e Lençóis Freáticos

A dispersão de resíduos de agrotóxicos em cursos d'água tem sido amplamente documentada. Na região de Santa Rita/PB, Ismael e Rocha (2019) identificaram a presença de compostos químicos em águas subterrâneas, evidenciando a vulnerabilidade dos aquíferos em áreas de cultivo intensivo. A infiltração desses compostos é facilitada pela ausência de barreiras naturais, como vegetação ripária, que poderia reduzir a penetração dos contaminantes no solo.

Além da contaminação subterrânea, resíduos químicos também comprometem a qualidade das águas superficiais. Morais *et al.* (2023) observaram que, em comunidades rurais de Goiás, a concentração de poluentes nos rios aumenta durante a estação seca, quando a menor vazão reduz a capacidade de diluição dos resíduos agrícolas. Esse fenômeno afeta diretamente a biodiversidade aquática, prejudicando organismos que dependem da qualidade da água para sobreviver.

Estudos apontam que a presença de resíduos de agrotóxicos em fontes hídricas do Brasil é um problema persistente. Segundo Silva, Schmidt e Santos (2021), a ausência de fiscalização adequada impede uma avaliação precisa dos impactos desses compostos a longo prazo, comprometendo a segurança hídrica de populações que dependem desses mananciais.

Em um contexto internacional, pesquisas realizadas no México indicam que a degradação ambiental em microbacias tem afetado diretamente a qualidade da água disponível para consumo humano. Jofre-Meléndez, Cervantes-Pérez e Barradas (2015) destacam que, mesmo em áreas protegidas, a movimentação do solo e as chuvas intensas podem favorecer a dispersão de contaminantes, exigindo políticas de controle mais eficazes.

Por outro lado, Oliveira *et al.* (2017) verificaram que, na região do Médio São Francisco, a qualidade da água apresentou menor degradação do que o esperado, mesmo em áreas de intensa atividade agrícola. Os autores sugerem que o uso de tecnologias de irrigação mais eficientes pode reduzir a dispersão de contaminantes, minimizando os impactos ambientais sobre os recursos hídricos.

3.2.2 Riscos à Qualidade da Água para Consumo Humano e Irrigação

A presença de resíduos de agrotóxicos nos recursos hídricos representa riscos diretos à qualidade da água utilizada para consumo humano e irrigação. O aumento dos registros de contaminação em mananciais expõe a população a substâncias potencialmente tóxicas, podendo comprometer a saúde pública. Portugal e Da Costa Silva (2020) apontam que, apesar da existência de normas regulatórias, a legislação nem sempre garante a segurança da água utilizada para abastecimento, especialmente em regiões de cultivo intensivo.

O uso prioritário da água pelo agronegócio também tem gerado conflitos no acesso ao recurso. Ferreira *et al.* (2016) argumentam que a falta de uma ges-

tão eficiente agrava os impactos ambientais, dificultando o fornecimento de água potável para comunidades que dependem de rios e lençóis freáticos. A poluição desses mananciais compromete a qualidade da água disponível, exigindo tratamentos mais complexos para torná-la adequada ao consumo.

Na irrigação, a contaminação da água por resíduos químicos pode comprometer a produtividade agrícola. Saldívar (2013) discute os desafios na aplicação de diretrizes ambientais voltadas ao controle da poluição hídrica causada por defensivos agrícolas. O autor destaca que a presença desses compostos nos cursos d'água pode alterar as propriedades químicas da água utilizada na irrigação, afetando a qualidade dos cultivos e a estrutura do solo.

A dependência de sistemas de irrigação em regiões áridas e semiáridas também intensifica os riscos de contaminação. Segundo Riera e Pereira (2013), a alta demanda por água nessas áreas pode levar à utilização de fontes comprometidas pela presença de resíduos de agrotóxicos, resultando em um ciclo contínuo de poluição. Esse cenário evidencia a necessidade de estratégias que protejam os mananciais e evitem a disseminação dos contaminantes nos sistemas agrícolas.

A busca por alternativas sustentáveis pode mitigar os impactos do uso intensivo de agrotóxicos sobre os recursos hídricos. Castañeda (2017) sugere que a transição para modelos de produção agrícola ecológica pode reduzir a dependência de fontes hídricas contaminadas e melhorar a segurança da água para diferentes usos. A implementação dessas práticas, aliada a um monitoramento mais rigoroso dos mananciais, pode contribuir para minimizar os riscos da contaminação e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos a longo prazo.

3.3 Estudos de Caso sobre Contaminação Ambiental

A contaminação ambiental por agrotóxicos ocorre de maneira variável em diferentes regiões, influenciada por fatores como tipo de solo, regime de chuvas, intensidade da atividade agrícola e existência de políticas de controle ambiental. Estudos de caso permitem compreender como a lixiviação e o escoamento superficial afetam a qualidade da água e quais estratégias têm sido adotadas para minimizar os impactos.

3.3.1 Regiões Afetadas pela Lixiviação e Escoamento de Agrotóxicos

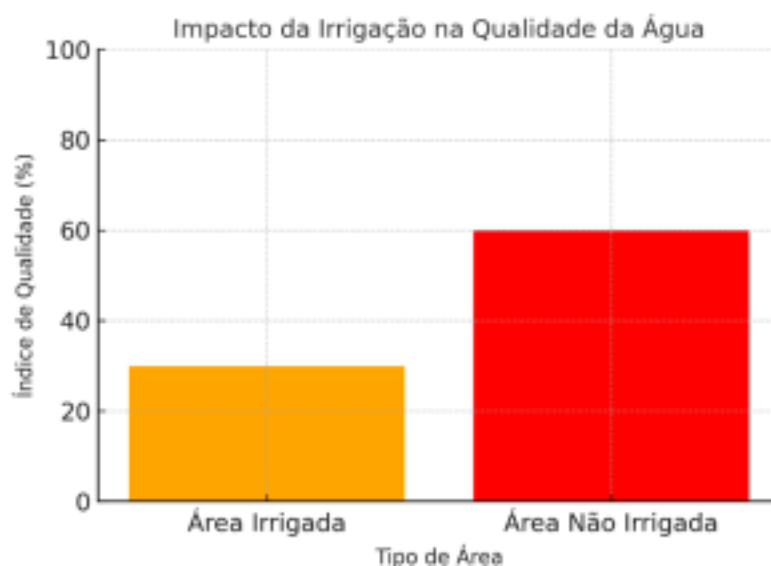
A dispersão de resíduos de agrotóxicos nos recursos hídricos têm sido amplamente documentada em diversas áreas agrícolas. Na região de Santa Rita/PB, Ismael e Rocha (2019) identificaram a presença de resíduos químicos nos aquíferos locais, destacando que a alta permeabilidade do solo favorece a lixiviação dos compostos. Esse cenário representa um risco tanto para a biodiversidade quanto para o abastecimento de água da população.

Na região do Médio São Francisco, Oliveira et al. (2017) analisaram a qualidade das águas superficiais após a implantação de perímetros irrigados voltados para a fruticultura. Apesar do uso intensivo de defensivos agrícolas, os impactos sobre os cursos d'água foram considerados baixos, um resultado atribuído ao uso de sistemas de irrigação mais eficientes e ao manejo adequado do solo, que minimizem a dispersão dos contaminantes.

Em Goiás, Moraes *et al.* (2023) verificaram que a qualidade da água superficial em comunidades rurais sofre influência direta do uso e ocupação do solo. Durante a estação seca, a redução da vazão dos rios compromete a diluição dos resíduos agrícolas, aumentando a concentração de contaminantes. Isso demonstra a necessidade de estratégias para minimizar a dispersão de agrotóxicos, sobretudo em regiões onde a água disponível é um recurso limitado.

Fora do Brasil, estudos realizados no México também indicam a vulnerabilidade dos recursos hídricos à contaminação por pesticidas. Jofre-Meléndez, Cervantes-Pérez e Barradas (2015) analisaram a microbacia do Rio Pixquiac e verificaram que a aplicação indiscriminada de pesticidas compromete a qualidade da água utilizada pela população local. O estudo sugere que, mesmo em áreas protegidas, há risco de contaminação devido a processos naturais, como chuvas intensas e movimentação do solo.

Portugal e Da Costa Silva (2020) discutem o aumento do uso de agrotóxicos no Brasil e suas consequências para os recursos hídricos. Os autores ressaltam que a expansão do agronegócio sem um monitoramento ambiental adequado tem agravado os impactos negativos sobre a qualidade da água, tornando essencial o fortalecimento das políticas de fiscalização e controle.

Figura 2 – Comparação do impacto da irrigação na qualidade da água

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2017)

Essa realidade acarreta uma série de impactos negativos, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana, uma vez que a contaminação da água afeta comunidades que dependem desses recursos para o consumo, a agricultura de subsistência e outras atividades. Diante desse cenário, os autores enfatizam a necessidade de fortalecer as políticas de fiscalização, controle e manejo de agrotóxicos, a fim de minimizar a contaminação, garantir a sustentabilidade da produção e assegurar a qualidade da água para as gerações presentes e futuras.

3.3.2 Medidas Adotadas e Resultados Observados

Diante dos impactos ambientais causados pela dispersão de agrotóxicos, diferentes estratégias têm sido implementadas para mitigar a contaminação dos recursos hídricos. Ferreira et al. (2016) analisaram iniciativas voltadas para a gestão e conservação da água em áreas agrícolas e destacaram que a adoção de práticas conservacionistas pode reduzir significativamente a poluição dos mananciais. Entre as medidas mais eficazes, os autores mencionam o controle rigoroso da aplicação de defensivos agrícolas e o incentivo ao uso de tecnologias menos agressivas ao meio ambiente.

No Brasil, a manutenção das Reservas Legais tem sido uma das principais estratégias para minimizar a contaminação da água por resíduos químicos. Se-

gundo Metzger et al. (2019), essas áreas desempenham um papel essencial na filtragem de contaminantes antes que atinjam corpos hídricos. Os autores defendem que a conservação das matas ciliares pode ser um método eficiente para reduzir os impactos da agricultura sobre os ecossistemas aquáticos, protegendo tanto a biodiversidade quanto a qualidade da água.

Em nível internacional, algumas políticas ambientais têm buscado estabelecer diretrizes mais rígidas para o controle da poluição da água por agrotóxicos. Saldívar (2013) analisou a aplicação da Diretiva Marco da Água na Europa e apontou desafios na implementação de políticas eficazes de controle da poluição hídrica. O autor argumenta que, embora avanços tenham sido feitos na governança dos recursos hídricos, ainda há dificuldades na fiscalização e no cumprimento das normas ambientais.

Além das regulamentações governamentais, a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis, tem sido apontada como uma solução viável para reduzir os impactos da contaminação. Castañeda (2017) analisou o crescimento da produção agrícola ecológica na Colômbia e observou que a redução do uso de pesticidas sintéticos pode minimizar a contaminação da água e do solo. O estudo sugere que a demanda crescente por alimentos orgânicos, tem impulsionado práticas mais sustentáveis, promovendo benefícios ambientais e econômicos.

Outro aspecto relevante para a mitigação dos impactos da contaminação hídrica está relacionado à adaptação dos sistemas agrícolas ao contexto climático. Riera e Pereira (2013) analisaram a irrigação em áreas de risco climático elevado e identificaram que o uso de técnicas de manejo mais eficientes pode minimizar a contaminação dos recursos hídricos. Os autores destacam que, em regiões com alta demanda hídrica, a implementação de estratégias de conservação da água é essencial para garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

Os estudos analisados demonstram que, embora a contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos seja um problema persistente, a adoção de práticas conservacionistas, políticas regulatórias mais eficazes e alternativas sustentáveis na agricultura pode minimizar seus impactos. A implementação dessas estratégias, aliada ao monitoramento contínuo dos mananciais, é fundamental para garantir a preservação da qualidade da água e a segurança ambiental a longo prazo.

3.4 Estratégias de Mitigação da Contaminação do Solo e da Água

A mitigação dos impactos ambientais causados pela contaminação do solo e da água por agrotóxicos envolve a adoção de estratégias que reduzem a dispersão dessas substâncias e promovem a recuperação de áreas afetadas. Medidas como a manutenção de barreiras vegetais para contenção dos resíduos e o uso de técnicas de biorremediação têm sido aplicadas para minimizar os efeitos adversos desses produtos nos ecossistemas.

3.4.1 Barreiras Vegetais e Contenção da Dispersão dos Resíduos

A presença de barreiras vegetais tem sido considerada uma alternativa eficaz para reduzir o transporte de resíduos químicos para corpos d'água e minimizar os impactos dos agrotóxicos sobre os recursos naturais. Metzger et al. (2019) destacam que a preservação das Reservas Legais desempenha um papel fundamental na proteção das águas superficiais e subterrâneas, funcionando como um filtro natural que reduz a chegada de contaminantes aos rios e lençóis freáticos. Segundo os autores, a vegetação ripária auxilia na retenção de sedimentos e compostos químicos, evitando sua dispersão para o ambiente aquático.

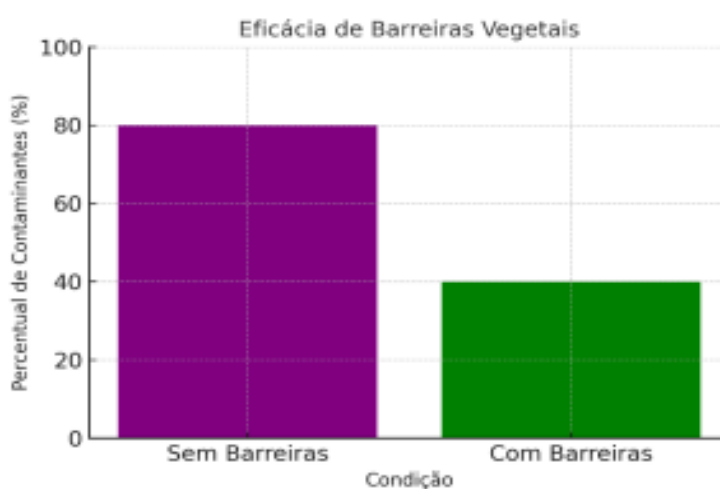
Estudos realizados na região do Médio São Francisco reforçam a importância da vegetação ciliar na contenção de poluentes. Oliveira *et al.* (2017) avaliaram a qualidade da água superficial na região e constataram que, em áreas onde a vegetação foi mantida, os impactos da irrigação sobre os cursos d'água foram reduzidos. No entanto, os autores alertam que a conversão de áreas naturais em lavouras sem a devida preservação dessas barreiras compromete a capacidade de filtragem do ecossistema, favorecendo a contaminação hídrica.

Além da proteção proporcionada pela vegetação nativa, estratégias de governança ambiental têm sido implementadas para limitar a dispersão dos resíduos agrícolas. Saldívar (2013) discute a criação de zonas tampão em diversos países europeus como parte da Diretiva Marco da Água. Segundo o autor, essas áreas de proteção com vegetação são eficazes na contenção da poluição difusa causada pelo escoamento superficial, mas sua adoção enfrenta desafios relacionados

a interesses econômicos que favorecem a expansão agrícola em detrimento da conservação ambiental.

Medidas semelhantes têm sido adotadas na América Latina para reduzir a contaminação da água por resíduos químicos. Castañeda (2017) analisou o avanço da agricultura ecológica na Colômbia e observou que o uso de barreiras vegetais tem sido incorporado a sistemas produtivos sustentáveis. Além de reter contaminantes, essas barreiras contribuem para a conservação da biodiversidade e promovem benefícios para a qualidade do solo.

Figura 3 – Eficácia de Barreiras Vegetais na Redução da Contaminação Hídrica



Fonte: Adaptado de Metzger *et al.* (2019).

3.4.2 Métodos de Recuperação e Biorremediação de Solos Contaminados

A recuperação de solos afetados pela contaminação de agrotóxicos tem sido um desafio para a gestão ambiental, exigindo estratégias que favoreçam a remoção ou a degradação desses compostos. Técnicas de biorremediação vêm sendo aplicadas para restaurar a fertilidade dos solos e minimizar os impactos da contaminação química.

A fitorremediação tem sido uma das abordagens mais estudadas para a recuperação de solos degradados. Ismael e Rocha (2019) analisaram sua aplicação em áreas sucroalcooleiras e observaram que determinadas espécies vegetais possuem a capacidade de absorver e degradar resíduos de pesticidas, favorecendo a descontaminação do solo. Essa técnica se baseia no uso de plantas que acumulam e degradam compostos tóxicos, tornando o ambiente mais estável para futuras atividades agrícolas.

Além do uso de plantas, microrganismos têm sido utilizados para acelerar a decomposição de substâncias químicas no solo. Silva, Schimidt e Santos (2021) destacam que algumas bactérias e fungos possuem a capacidade de degradar resíduos de agrotóxicos, reduzindo sua persistência no ambiente. A introdução desses microrganismos pode ser uma alternativa eficiente para restaurar a fertilidade do solo e diminuir a necessidade de processos químicos de descontaminação.

Práticas agrícolas sustentáveis também contribuem para a recuperação de solos degradados. Riera e Pereira (2013) analisaram a adaptação da agricultura irrigada na Argentina e verificaram que a rotação de culturas e a diversificação agrícola auxiliam na regeneração do solo. A diversificação favorece a manutenção da microbiota do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e promovendo a recuperação gradual da área afetada.

Outra abordagem para a recuperação do solo envolve o uso de compostos orgânicos e biofertilizantes. Jofre Meléndez, Cervantes-Pérez e Barradas (2015) estudaram a aplicação desses insumos na microbacia do Rio Pixquiac, no México, e verificaram que sua utilização reduziu a toxicidade dos agrotóxicos acumulados no solo, promovendo sua restauração. Segundo os autores, a aplicação dessas técnicas deve ser acompanhada por um monitoramento contínuo da qualidade do solo e da água para garantir a eficácia das medidas adotadas.

Além das estratégias técnicas de recuperação, medidas regulatórias são fundamentais para evitar a necessidade de descontaminação de áreas agrícolas. Portugal e Da Costa Silva (2020) argumentam que a mitigação dos impactos dos agrotóxicos deve incluir restrições mais rigorosas ao uso dessas substâncias, reduzindo sua aplicação indiscriminada e prevenindo a degradação ambiental. Os autores defendem que políticas públicas mais restritivas podem diminuir a contaminação química e minimizar os custos associados à recuperação dos solos e dos recursos hídricos.

A implementação de estratégias de mitigação baseadas na conservação de vegetação nativa e no uso de técnicas de biorremediação demonstra que é possível reduzir os impactos dos agrotóxicos sobre o meio ambiente. No entanto, a eficácia dessas abordagens depende de sua integração a políticas de governança ambiental e de um monitoramento contínuo para avaliar a qualidade do solo e da água ao longo do tempo.

3.5 Práticas Agrícolas Sustentáveis para Redução do uso de Agrotóxicos

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, tem sido promovida como uma alternativa para reduzir os impactos ambientais do uso de agrotóxicos, principalmente em relação à contaminação do solo e da água. Métodos como o Manejo Integrado de Pragas (MIP) e o uso de bioinsumos vêm sendo estudados como estratégias para diminuir a dependência de defensivos químicos, conciliando produtividade agrícola e preservação dos ecossistemas.

3.5.1 Manejo Integrado de Pragas e Controle Biológico

O manejo integrado de pragas combina diferentes estratégias para reduzir a necessidade de agrotóxicos, equilibrando produção agrícola e preservação ambiental. Portugal e Da Costa Silva (2020) destacam que essa abordagem contribui para minimizar os impactos dos pesticidas nos ecossistemas ao incentivar técnicas preventivas, como a rotação de culturas e o uso de agentes biológicos para controle de pragas.

A disseminação de conhecimento técnico tem sido um desafio para a implementação do MIP. Vilches e Gil Pérez (2011) apontam que a falta de capacitação entre pequenos e médios agricultores dificulta a substituição dos agrotóxicos convencionais por métodos alternativos. Segundo os autores, programas de incentivo e assistência técnica poderiam viabilizar a adoção dessas práticas, tornando-as mais acessíveis e eficazes.

O controle biológico, integrado ao MIP, tem demonstrado eficiência na substituição de pesticidas sintéticos. Castañeda (2017) analisou experiências com agricultura ecológica na Colômbia e verificou que a introdução de predadores naturais e microrganismos na regulação de pragas reduziu a necessidade de defensivos químicos. Além dos benefícios ambientais, essa abordagem reduziu custos operacionais para os produtores, tornando-se economicamente viável.

Entretanto, a adoção do MIP enfrenta desafios estruturais. Ferreira *et al.* (2016) apontam que a resistência à substituição dos métodos convencionais ainda é um obstáculo, principalmente em áreas de grande produção, voltadas ao agro-

negócio. Os autores ressaltam que a ampliação dessas práticas exige incentivos governamentais e políticas públicas voltadas à capacitação dos produtores e ao desenvolvimento de tecnologias agroecológicas.

A relação entre o MIP e a conservação dos recursos hídricos também tem sido objeto de estudo. Oliveira *et al.* (2017) analisaram o impacto da aplicação excessiva de pesticidas na região do Médio São Francisco e concluíram que a substituição parcial dos agrotóxicos por estratégias como controle biológico e diversificação de culturas poderia reduzir a contaminação da água e melhorar a segurança ambiental.

3.5.2 Uso de Bioinsumos e Insumos Alternativos menos Impactantes

O uso de bioinsumos tem sido promovido como alternativa para reduzir os impactos ambientais da agricultura convencional. Esses produtos incluem biofertilizantes, biopesticidas e microrganismos benéficos, que auxiliam no controle de pragas e na melhoria da qualidade do solo. Ismael e Rocha (2019) destacam que bioinsumos podem substituir defensivos sintéticos sem comprometer a produtividade agrícola. Segundo os autores, extratos vegetais e agentes microbiológicos têm apresentado eficiência no controle de pragas e doenças.

A substituição gradual dos pesticidas convencionais por alternativas biológicas, tem sido sugerida como estratégia para reduzir a persistência dos agroquímicos no ambiente. Silva, Schmidt e Santos (2021) observam que a contaminação da água potável e dos cursos d'água reforça a necessidade de soluções menos tóxicas e de rápida degradação. O uso de bioinsumos surge como ferramenta para minimizar os impactos ambientais da agricultura intensiva.

A regulamentação do uso de defensivos químicos também influencia a adoção de insumos alternativos. Saldívar (2013) analisou a implementação da Diretiva Marco da Água na Europa e verificou que diversos países vêm restringindo o uso de pesticidas sintéticos e incentivando produtos biológicos. Apesar dos desafios regulatórios, essa transição tem sido considerada essencial para reduzir a poluição química dos mananciais hídricos.

Além dos impactos ambientais, a substituição de fertilizantes sintéticos por adubos orgânicos pode beneficiar a estrutura do solo. Riera e Pereira (2013) ana-

lisaram a agricultura irrigada na Argentina e verificaram que práticas como compostagem e uso de resíduos agroindustriais resultaram em melhorias na qualidade do solo e redução dos riscos de contaminação da água subterrânea.

Outro aspecto relevante é a viabilidade econômica dos bioinsumos. Jofre-Meléndez, Cervantes-Pérez e Barradas (2015) analisaram a adoção desses produtos em regiões agrícolas do México e identificaram que a redução dos custos com defensivos químicos favoreceu pequenos produtores. O estudo sugere que alternativas biológicas podem reduzir a dependência de pesticidas sintéticos sem comprometer a rentabilidade das lavouras.

Por fim, Morais *et al.* (2023) avaliaram a qualidade da água em comunidades rurais de Goiás e observaram que práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de bioinsumos e a redução da aplicação de agroquímicos, resultaram em uma menor carga de poluentes nos corpos d'água. Os autores defendem que a combinação de políticas ambientais e incentivo à pesquisa pode consolidar alternativas viáveis ao modelo de produção baseado no uso intensivo de pesticidas.

A adoção de práticas sustentáveis na agricultura, como o manejo integrado de pragas e o uso de bioinsumos, demonstra que é possível reduzir a dependência de agrotóxicos e seus impactos ambientais. Entretanto, a ampliação dessas iniciativas depende de políticas públicas voltadas à capacitação dos agricultores e à regulamentação do uso de insumos menos impactantes, garantindo uma transição eficiente para um modelo de produção mais equilibrado.

3.6 O Papel da Conscientização na Redução dos Impactos dos Agrotóxicos

A conscientização sobre os impactos ambientais dos agrotóxicos desempenha um papel essencial na adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. A educação ambiental e a capacitação dos produtores são estratégias para a mudança de comportamento e a transição para modelos de produção menos dependentes de defensivos químicos. Além disso, políticas públicas e incentivos governamentais podem estimular a implementação de alternativas ao uso intensivo de pesticidas, favorecendo a conservação dos recursos naturais.

3.6.1 Educação Ambiental e Capacitação de Produtores Rurais

A educação ambiental tem sido apontada como um fator relevante para reduzir os impactos dos agrotóxicos. Vilches e Gil Pérez (2011) ressaltam que a disseminação de informações sobre os riscos desses produtos e a apresentação de alternativas sustentáveis são fundamentais para transformar a prática agrícola. Segundo os autores, programas educacionais devem integrar conhecimentos científicos e métodos pedagógicos que sensibilizem tanto os produtores quanto a sociedade para os efeitos da contaminação química no meio ambiente.

A capacitação dos agricultores também é um elemento-chave para a redução do uso de defensivos químicos. Castañeda (2017) analisou programas de treinamento na Colômbia e observou que a falta de acesso à informação técnica dificulta a adoção de práticas menos impactantes. O estudo demonstrou que, em regiões onde foram implementados cursos sobre manejo sustentável, houve redução no uso de agroquímicos e melhora na qualidade do solo.

No Brasil, Portugal e Da Costa Silva (2020) destacam que o aumento do uso de agrotóxicos está relacionado à falta de conhecimento técnico sobre alternativas viáveis. Os autores defendem que a ampliação da assistência técnica no campo e a criação de programas educativos voltados para a sustentabilidade poderiam contribuir para reduzir os impactos ambientais desses produtos.

Além da capacitação, a percepção dos agricultores sobre a conservação dos recursos naturais também influencia sua disposição para adotar práticas mais seguras. Moraes *et al.* (2023) investigaram comunidades rurais em Goiás e constataram que produtores que receberam treinamento sobre o uso consciente de insumos agrícolas demonstraram maior preocupação com a preservação dos corpos d'água. O estudo sugere que a disseminação de informações sobre práticas sustentáveis deve ser incentivada como estratégia para reduzir a poluição por resíduos de pesticidas.

Apesar da importância da educação ambiental, a resistência à mudança ainda é um obstáculo à implementação de práticas mais sustentáveis. Ferreira *et al.* (2016) observam que a adesão de grandes propriedades rurais ao uso excessivo de defensivos químicos é impulsionada pela influência das indústrias agroquímicas e pela falta de incentivos para alternativas menos impactantes.

Segundo os autores, para que a educação ambiental seja efetiva, deve estar associada a políticas públicas que tornem a adoção de práticas sustentáveis economicamente viáveis.

3.6.2 Políticas Públicas e Incentivos para Práticas Sustentáveis

A criação e a aplicação de políticas públicas são fundamentais para regulamentar o uso de agrotóxicos e incentivar modelos produtivos menos agressivos ao meio ambiente. Saldívar (2013) analisou a governança dos recursos hídricos na Europa e destacou que a Diretiva Marco da Água tem sido um dos principais instrumentos para controlar a contaminação por produtos químicos agrícolas. Embora essa legislação tenha imposto restrições ao uso de pesticidas, sua eficácia depende de mecanismos rigorosos de fiscalização e do comprometimento dos produtores em adotar práticas sustentáveis.

No Brasil, medidas voltadas à proteção ambiental também desempenham um papel na contenção dos impactos da atividade agrícola. Metzger *et al.* (2019) ressaltam a importância da manutenção das Reservas Legais como barreiras naturais para evitar a dispersão de agrotóxicos. Segundo os autores, a preservação dessas áreas contribui para reduzir a contaminação do solo e da água, mas o cumprimento da legislação ambiental ainda enfrenta desafios, principalmente em razão da flexibilização de normas em algumas regiões do país.

A ausência de fiscalização e monitoramento adequado também compromete a efetividade das políticas ambientais. Ismael e Rocha (2019) analisaram a contaminação de águas subterrâneas e superficiais em áreas agrícolas e verificaram que o uso indiscriminado de pesticidas tem sido agravado pela falta de políticas eficazes de controle. Os autores sugerem que incentivos financeiros para práticas agroecológicas poderiam estimular a substituição gradual dos agroquímicos por alternativas mais seguras.

Silva, Schmidt e Santos (2021) apontam que a presença de resíduos de agrotóxicos em águas potáveis e superficiais reforça a necessidade de uma regulamentação mais rigorosa. Os autores defendem que, além do fortalecimento da fiscalização, é necessário promover programas de incentivo à agroecologia para mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional.

A relação entre políticas públicas e a gestão dos recursos hídricos também foi abordada por Oliveira *et al.* (2017), que analisaram a qualidade da água no Médio São Francisco após a implantação de perímetros irrigados. Os resultados indicam que a ausência de regulamentação específica para o uso de defensivos agrícolas nessas áreas tem contribuído para a degradação dos cursos d'água. Os autores sugerem que a adoção de políticas voltadas para a proteção dos mananciais hídricos e o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis são essenciais para minimizar os danos ambientais.

Em um contexto internacional, a adaptação da agricultura às mudanças climáticas, tem sido impulsionada por políticas públicas que incentivam práticas sustentáveis. Riera e Pereira (2013) analisaram a agricultura irrigada na Argentina e concluíram que a implementação de subsídios para a transição agroecológica não apenas contribui para a conservação ambiental, mas também melhora a viabilidade econômica dos produtores.

Outra iniciativa que pode ser explorada é a captação artificial de água da névoa para o abastecimento de comunidades rurais, como sugerido por Jofre-Meléndez, Cervantes-Pérez e Barradas (2015). No entanto, os autores alertam que essa alternativa deve ser acompanhada de monitoramento contínuo da qualidade da água, garantindo que esteja dentro dos padrões adequados para consumo.

A combinação de políticas públicas, incentivos financeiros e programas de educação ambiental pode fortalecer a transição para um modelo agrícola mais sustentável. A implementação dessas estratégias depende de esforços conjuntos entre governos, setor produtivo e sociedade civil, garantindo que a preservação dos recursos naturais esteja alinhada à segurança alimentar e ao desenvolvimento econômico.

4. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a relação entre o uso excessivo de agrotóxicos e a contaminação do solo e dos recursos hídricos, evidenciando os processos químicos e físicos envolvidos, os impactos ambientais e as estratégias de mitigação existentes. A partir de uma revisão bibliográfica abrangente, foi possível constatar que a lixiviação e o escoamento superficial são os principais

mecanismos de dispersão de contaminantes no meio ambiente, afetando tanto a biodiversidade quanto a qualidade da água para consumo humano e irrigação.

Os resultados indicam que a adoção de práticas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas e o uso de bioinsumos, contribui para reduzir a dependência de pesticidas sintéticos, minimizando os danos ao ecossistema. Além disso, a conscientização e a capacitação dos produtores rurais desempenham um papel essencial na implementação de alternativas menos impactantes. As políticas públicas também se mostram fundamentais para a regulamentação do uso de defensivos químicos e o incentivo à transição agroecológica.

Dentre as contribuições deste estudo, destaca-se a sistematização das informações sobre os impactos ambientais dos agrotóxicos e as estratégias de mitigação, permitindo um melhor entendimento dos desafios e soluções relacionadas ao tema. Os achados reforçam a necessidade de um maior monitoramento da qualidade da água e do solo, bem como a importância de iniciativas voltadas à educação ambiental e ao suporte técnico aos agricultores.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas. A dependência de fontes secundárias pode ter restringido a abrangência dos dados analisados, uma vez que não foram realizadas investigações de campo para mensuração direta da contaminação ambiental. Além disso, a diversidade das metodologias empregadas nos estudos revisados pode ter gerado diferenças nos resultados reportados, o que destaca a necessidade de mais pesquisas experimentais padronizadas.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de análises empíricas que avaliem a eficácia de práticas sustentáveis em diferentes contextos geográficos e climáticos. Ademais, seria relevante aprofundar investigações sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde humana, com foco na exposição crônica a resíduos desses compostos na água e nos alimentos. Por fim, recomenda-se a elaboração de estudos sobre a viabilidade econômica da substituição gradual dos pesticidas convencionais por bioinsumos, considerando os desafios e benefícios dessa transição para a produção agrícola.

5. REFERÊNCIAS

- Castañeda, J. S. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. **Suma de negocios**, 8(18), 156-163.
- Ferreira, M. J. M., Viana, M. M., Pontes, A. G. V., Rigotto, R. M., & Gadelha, D. (2016). Gestão e uso dos recursos hídricos ea expansão do agronegócio: água para quê e para quem?. **Ciência & Saúde Coletiva**, 21(3), 743-752.
- Ismael, L. L., & Rocha, E. M. R. (2019). Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 24, 4665-4676.
- Jofre-Meléndez, R., Cervantes-Pérez, J., & Barradas, V. L. (2015). Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México: Resultados preliminares. **TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas**, 18(2), 122-130.
- Metzger, J. P., Bustamante, M. M., Ferreira, J., Fernandes, G. W., Librán-Embid, F., Pillar, V. D., ... & Overbeck, G. E. (2019). Por que o Brasil precisa de suas Reservas Legais. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 17(3), 104-116.
- Morais, L. S. D., Chagas, I. C. G. D. C., Silva, D. P. D., & Scalize, P. S. (2023). Qualidade da água superficial em comunidades rurais do estado de Goiás durante a estação seca e sua relação com o uso e a ocupação do solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 28, e20220215.
- Oliveira, S. C., Amaral, R. C., Almeida, K. C. D. B., & Pinto, C. C. (2017). Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 22, 711-721.
- Portugal, T. R., & da Costa Silva, L. M. (2020). Análise do aumento dos registros de agrotóxicos e afins e as consequências para os recursos hídricos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 3(3), 1183-1196.
- Riera, C., & Pereira, S. G. (2013). Entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riego como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. **Investigaciones geográficas**, (82), 52-65.
- Saldívar, A. (2013). Gobernanza multidimensional del agua: la Directiva Marco del Agua europea. Dificultades de su aplicación. **Economía informa**, (381), 74-90.

Silva, L. D. B., Schimidt, F., & Santos, A. M. D. (2021). Ciência ambiental: reflexões sobre o monitoramento de resíduos de agrotóxicos em águas potável, superficial e subterrânea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 26, 193-200.

Vilches, A., & Gil Pérez, D. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. **Educación química**, 22(2), 90-102.

CAPÍTULO 9

PASSADO, PRESENTE E FUTURO DA QUÍMICA NOS OCEANOS: UM OLHAR PARA OS CORAIS

Ana Cristina Pinheiro de Souza
Brenda Luise Costa do Carmo
Davi Santos Porto
Izabela Cristina Silva Costa
Pedro Henrique Cosmi Lima

Resumo: O presente artigo discute a relevância dos recifes de coral como ecossistemas essenciais para a biodiversidade marinha e os impactos das mudanças ambientais sobre sua sobrevivência. Os corais, responsáveis pela formação de recifes através da calcificação, enfrentam ameaças significativas, como o aumento da temperatura dos oceanos, a acidificação das águas e a poluição. As mudanças climáticas e seus impactos negativos no meio ambiente exigem cada vez mais ações para a conservação dos ecossistemas essenciais para a vida. Portanto, compreende-se que nada pode ser feito sem uma educação ambiental intensiva que alcance a todos os âmbitos escolares e em diferentes setores da sociedade civil e academia.

Palavras-chave: Corais. Educação Ambiental. Biodiversidade.

1. INTRODUÇÃO

Os recifes de corais são ecossistemas marinhos de extrema importância, desempenhando um papel crucial tanto para a humanidade quanto para a biodiversidade dos oceanos. Apesar de cobrirem menos de 1% do fundo do oceano, os corais abrigam aproximadamente 25% de todas as espécies marinhas, sendo considerados um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta (Hughes *et al.*, 2017). Sua estrutura é formada por meio de um processo biológico conhecido como calcificação, que envolve a deposição de carbonato de cálcio (CaCO_3) para a construção de seus esqueletos. Esse processo, no entanto, é altamente sensível as mudanças nas condições ambientais, tornando os corais particularmente vulneráveis às alterações climáticas globais (Kleypas *et al.*, 2006).

A história evolutiva dos corais nos traz dados valiosos sobre sua capacidade de adaptação e sobrevivência. Durante a era Paleozoica, os corais enfrentaram quatro das cinco maiores extinções em massa do planeta, incluindo a extinção do final do período Permiano, que eliminou cerca de 96% das espécies marinhas (Briggs; Crowther, 2003; Oliveira, 2015). Ao longo de sua evolução, os corais desenvolveram estratégias notáveis, como a formação de colônias e a simbiose com zooxantelas (microalgas), que lhes permitiram prosperar em diversos ambientes marinhos (Dove *et al.*, 2020).

Além de sua relevância ecológica, os corais fornecem benefícios diretos e indiretos para a humanidade. Eles atuam como barreiras naturais, protegendo as costas contra a erosão e eventos climáticos extremos, como tempestades e tsunamis (Beck *et al.*, 2018). Também são fundamentais para a segurança alimentar de milhões de pessoas, especialmente em comunidades costeiras, ao sustentar uma grande diversidade de peixes e outros recursos marinhos (Costanza *et al.*, 2014). Economicamente, os recifes de coral impulsionam o turismo e atividades recreativas, além de serem fontes promissoras para descobertas médicas, com organismos associados aos corais sendo estudados para o desenvolvimento de novos fármacos (Costanza *et al.*, 2014; Gerwick *et al.*, 2015).

No contexto ecossistêmico, os corais desempenham funções vitais, como fornecer habitat e proteção para inúmeras espécies, promover a ciclagem de nutrientes e contribuir para o sequestro de carbono. No entanto, esses ecossistemas enfrentam ameaças crescentes, incluindo o aumento da temperatura dos oceanos, a poluição, a pesca predatória e a acidificação dos oceanos, que comprometem sua capacidade de sobrevivência e resiliência (Hughes *et al.*, 2017; Kleypas *et al.*, 2006).

Nesse aspecto, a educação ambiental serve como uma das principais ferramentas para a conservação dos corais. Programas e movimentos educacionais voltados para comunidades locais, escolas e turistas podem aumentar a conscientização sobre a importância desses ecossistemas e os impactos das atividades humanas. Com todo o seu potencial de impacto em ação, o presente artigo propõe a utilização de maquetes e outros artifícios educativos, destacando a região do Banco de Abrolhos como referência. O Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, um santuário de biodiversidade no Atlântico Sul, abriga espécies únicas, como o coral-cérebro (*Mussismilia braziliensis*), desempenhando papéis ecológicos e

econômicos vitais, como proteção costeira e suporte ao turismo e pesca (ICM-Bio, 2023).

Estratégias como programas escolares, campanhas públicas, turismo sustentável e ciência cidadã podem fortalecer a conexão entre comunidades locais, visitantes e o meio ambiente, enquanto parcerias com instituições de pesquisa e ONGs ampliam o impacto das ações (Leão *et al.*, 2019). Ao destacar a biodiversidade única de Abrolhos e os desafios enfrentados pelos corais, como as mudanças climáticas e poluição, a educação ambiental pode inspirar mudanças comportamentais e contribuir para a preservação desse ecossistema, reforçando a ideia de que ações locais têm impactos globais na saúde dos oceanos (UNESCO, 2021).

A educação ambiental não apenas informa, mas também engaja e sensibiliza indivíduos e comunidades em práticas sustentáveis, como a redução do uso de plásticos, o apoio a políticas de conservação e a participação em iniciativas de restauração de recifes (Cigliano *et al.*, 2015), permitindo que pessoas de diferentes regiões compreendam a importância dos corais e se sintam motivadas a agir em sua defesa.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da química oceânica nos recifes de coral ao longo do tempo, identificando os impactos ambientais e propondo estratégias de conservação e mitigação para garantir a preservação desses ecossistemas.

2.2 Objetivos Específicos

Apresentar a evolução dos corais e sua relação com as mudanças na química dos oceanos ao longo da história.

Identificar os principais fatores antrópicos que afetam a saúde dos recifes de coral, como a degradação da qualidade da água, alteração química dos oceanos e aquecimento global.

Avaliar as consequências da degradação dos corais para a biodiversidade marinha e para comunidades humanas que dependem desses ecossistemas.

Explorar o papel da Educação Ambiental na conscientização sobre a importância dos corais e na promoção de práticas sustentáveis.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos da química, biologia, ecologia e políticas públicas, com o objetivo de compreender os impactos da química oceânica nos ecossistemas coralíneos e propor estratégias de conservação. A metodologia foi estruturada em cinco etapas principais: revisão da literatura, análise histórica, análise atual, análise futura e discussão dos resultados e elaboração de soluções.

Na primeira etapa, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com foco em artigos científicos publicados nos últimos 10 anos, que abordassem a química dos oceanos e seus impactos nos recifes de coral. Foram consultadas bases de dados como SciELO, Web of Science e PubMed, utilizando descritores como: “acidificação dos oceanos”, “branqueamento de corais” e “conservação de recifes”. A seleção dos estudos foi baseada em critérios de relevância, atualidade e impacto científico.

A análise histórica foi conduzida por meio de revisão de fontes primárias e secundárias, incluindo artigos científicos, livros, relatórios técnicos e documentos históricos. Essa etapa buscou identificar os principais eventos e descobertas que influenciaram a compreensão da química oceânica e seus efeitos sobre os corais, como o aumento das emissões de CO₂ e o surgimento de estudos sobre o branqueamento coralíneo (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2017).

Para a análise atual, foram coletados dados e informações de fontes confiáveis, como relatórios de organizações internacionais (ex.: IPCC, UNESCO) e agências governamentais (ICMBio). Essa etapa visou mapear os principais desafios contemporâneos, como a acidificação dos oceanos, a poluição por plásticos e as mudanças climáticas, bem como as oportunidades emergentes para a conservação dos corais (Leão *et al.*, 2019).

A análise futura foi realizada por meio de técnicas de previsão e modelagem, como análise de tendências e construção de cenários. Utilizaram-se modelos climáticos e projeções científicas para identificar os possíveis impactos da química oceânica nos recifes de coral nas próximas décadas, considerando diferentes níveis de emissões de gases de efeito estufa e políticas de mitigação (IPCC, 2021).

Por fim, a elaboração de soluções foi conduzida com base em uma abordagem interdisciplinar, integrando conhecimentos da química, biologia, ecologia e políticas públicas. A Educação Ambiental (EA) foi eleita como ferramenta central, devido ao seu potencial de promover o engajamento da população e ampliar a disseminação de informações críticas sobre a conservação dos corais. Para enriquecer as ações de EA, propôs-se a utilização de maquetes que representem os chapeirões do Arquipélago de Abrolhos, além da exibição de espécimes de corais endêmicos da região, como o coral-cérebro (*Mussismilia braziliensis*). Esses recursos visam criar um contato mais próximo entre o público e os ecossistemas marinhos, sensibilizando-os para a importância da conservação (Cigliano *et al.*, 2015).

Através de ações educativas, busca-se atuar como um agente de transformação, convertendo o conhecimento científico em práticas sustentáveis e, consequentemente, contribuindo para a preservação desses ecossistemas vitais. A metodologia adotada visa não apenas gerar conhecimento, mas também promover mudanças comportamentais e políticas que assegurem a proteção dos recifes de coral para as gerações futuras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Passado

4.1.1 Origem dos Corais

Há 500 milhões de anos, os oceanos da Terra eram bem diferentes daqueles que a humanidade conhece hoje. Com temperaturas mais elevadas e oceanos de pH ácido, é difícil imaginar como poderia surgir vida em tais condições. pH, o potencial hidrogênio, se trata de uma escala que visa medir a concentração de íons H^+ de uma solução, revelando seu grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade. Um pH ácido, como encontrado nas águas pré-históricas, que chegava a medir 5, de acordo a estudos publicados na revista Nature Geoscience por Meng Guo e Jun Korenaga. Este artigo revela como o pH é um aspecto fundamental na regulação de diversos sistemas terrestres e ao longo da evolução biológica e das Geociências. Um pH baixo desta forma se torna um lugar

inóspito para a proliferação da vida pela dificuldade na formação de moléculas essenciais, porém alguns seres foram capazes de progredir, como é o caso dos corais, que surgiram a milhões de anos (Ferreira; Maida, 2006).

O registro mais antigo a respeito do aparecimento dos corais data-se há 450 milhões de anos, no período Ovárdaciano, conhecido pela presença predominante de seres invertebrados. Pertencentes ao filo Cnidária, compartilham uma ancestralidade comum com as águas-vivas e anêmonas-do-mar. Os primeiros corais eram corais solitários, entretanto com o tempo evoluíram para formas coloniais, capazes de construir recifes através da secreção, uma espécie de precipitação, de esqueleto de carbonato de cálcio (Kellner, 2007). A evolução desse grupo está interligada a vários eventos climáticos e geológicos, como a formação de mares tropicais. É importante destacar que sua origem foi crucial para o desenvolvimento de complexos recifes atualmente existentes.

Durante o período Paleozoico, os corais Rugosos e Tabulados dominavam os mares, posteriormente foram substituídos pelos corais modernos, os denominados Escleractíneos. Os corais rugosos, também chamados de tetracorais, são um grupo extinto de corais que floresceram principalmente durante o período Paleozoico, especialmente no Ordoviciano (Ferreira; Maida, 2006). Caracterizavam-se por possuírem uma estrutura esquelética composta por carbonato de cálcio, a mesma encontrada nos corais existentes hoje, mas se diferenciavam em termos de simetria e estrutura interna. A sua estrutura interna geralmente era cônica ou cilíndrica, com uma única cavidade central ou coralino, rodeada por septos.

Os septos são estruturas internas presentes nos corais que desempenham um papel importante na organização e sustentação do esqueleto carbonático desses organismos. Eles são divisões ou paredes que se projetam para o interior da cavidade central do coral (chamada de cálice), onde o pólip (a parte viva do coral) reside (Bacelar, 1977).

Desta forma, entende-se a importância dos septos, porém, isso difere da mesma espécie que surgiu anos após, durante o Paleozoico e Mesozoico, os corais tabulados. Esse segundo grupo de corais apresentavam um sistema de tabulações horizontais internas em suas estruturas, o que proporcionava um suporte adicional e característico e suas colônias são formadas por pequenos pólipos, or-

ganismos pequenos e delicados que vivem em colônias. Ao contrário dos outros grupos de corais, os tabulados não possuíam septos e sua composição costumava ser de calcita, diferenciando dos outros grupos que são formados por carbonato de cálcio (Bacelar, 1997).

Ao comparar os corais antigos com o grupo contemporâneo, ficam evidentes algumas diferenças que certas vezes os fazem parecer diferentes espécies, os corais Escleractíneos possuem uma simetria radial, com esqueletos de carbonato de cálcio, assim como os rugosos, mais complexos que os permitiram se adaptar aos oceanos atuais.

4.1.2 Formação dos Recifes Antigos

O carbonato de cálcio desempenha um papel fundamental na construção dos esqueletos dos corais, sendo essencial para a formação e manutenção dessas estruturas. Esses animais, especialmente os Escleractínios, produzem seus esqueletos através de um processo biológico conhecido como biomineralização. Esse processo ocorre quando os pólipos dos corais, organismos pequenos e delicados que vivem em colônias, absorvem íons de cálcio e carbonato da água do mar (Amaral *et al.* 2007, p. 75).

No interior dos tecidos dos pólipos, esses íons se combinam para formar cristais de carbonato de cálcio, que são então depositados na base do coral, criando uma estrutura rígida e resistente. Essa estrutura não apenas oferece suporte físico para os corais, mas também protege os pólipos contra predadores e condições ambientais adversas, como ondas fortes e correntes marinhas.

O carbonato de cálcio é crucial para a formação dos recifes de coral, que são verdadeiros “hotspots” de biodiversidade marinha (Robert, 2002). Esses recifes servem como habitat para uma infinidade de espécies, desde peixes coloridos até moluscos e crustáceos, desempenhando um papel vital na saúde dos oceanos. Entretanto, a produção de carbonato de cálcio pelos corais é altamente sensível às mudanças na química da água do mar. Fenômenos como a acidificação dos oceanos, causada pelo aumento do dióxido de carbono na atmosfera, podem reduzir a disponibilidade de íons de carbonato, dificultando a biomineralização e enfraquecendo os esqueletos dos corais (Tashetto, 2005).

4.1.3 Interações dos Corais com outros Organismos

As zooxantelas são microalgas fotossintetizantes que vivem dentro dos tecidos dos corais, em uma relação simbiótica conhecida como mutualismo, onde ambas as partes se beneficiam. Essas microalgas realizam a fotossíntese, utilizando a luz solar, o dióxido de carbono e nutrientes fornecidos pelos corais para produzir energia na forma de açúcares. Grande parte dessa energia é transferida para os corais, servindo como uma fonte vital de nutrientes que ajuda no crescimento e na manutenção dos pólipos. Em troca, os corais oferecem as zooxantelas um ambiente seguro e estável, além de compostos nitrogenados e fosfatados que as microalgas precisam para sobreviver (Cortés *et al.*, 1984).

Essa espécie de algas é responsável pelas cores vibrantes dos corais, visto que os pigmentos fotossintéticos das microalgas dão aos corais suas tonalidades características. Entretanto, essa parceria mutual está sob ameaça. Devido principalmente às mudanças ambientais, os corais expulsam as zooxantelas quando estão estressados. Esse fenômeno, conhecido como branqueamento de corais, têm recebido grande destaque nos últimos anos. Esse comportamento deixa os corais pálidos e enfraquecidos. Sem as zooxantelas, os corais perdem sua principal fonte de energia e ficam vulneráveis a doenças e à morte (Cortés *et al.*, 1984).

4.2 Presente

4.2.1 Impacto das Atividades Humanas nos Oceanos: Consequências para a Química dos Oceanos e a Saúde dos Corais

Os oceanos são fundamentais para a vida na Terra, fornecendo oxigênio, alimento e habitats para inúmeras espécies. No entanto, as atividades humanas têm alterado sua composição química e afetado a saúde dos corais. “A poluição nos oceanos é um problema grave que afeta a biodiversidade marinha e a saúde humana” (Fontes *et al.*, 2016, p. 123).

A liberação de substâncias químicas, como óleos, metais pesados e produtos químicos industriais, pode afetar a composição química dos oceanos e prejudicar a vida marinha (Schettini *et al.*, 2017, p. 456). Segundo estudos recentes, a

poluição por óleo e produtos químicos é uma das principais ameaças aos ecossistemas marinhos brasileiros (Fontes *et al.*, 2016).

Além disso, a poluição por plásticos é um problema crescente, com milhões de toneladas de plásticos sendo descartados nos oceanos todos os anos. Essa exposição pode causar obstrução dos poros dos corais, impedindo a absorção de nutrientes. A acidificação dos oceanos, resultado da absorção de CO₂ atmosférico, reduz a disponibilidade de carbonato de cálcio, essencial para a formação dos esqueletos de coral. Esse fenômeno compromete a resistência e o crescimento dos recifes.

O aumento da temperatura oceânica, impulsionada pelo aquecimento global, afeta a distribuição e a abundância de espécies, conforme destacado por Gouvêa *et al.* (2018). Além do mais, é uma das principais causas do branqueamento dos corais. A exploração da diversidade química dos corais para o desenvolvimento de novos fármacos e produtos biotecnológicos é uma área promissora de pesquisa que pode contribuir para o desenvolvimento de novas terapias e produtos, como observado por Fontes *et al.* (2019). Existem várias soluções para reduzir o impacto das atividades humanas nos oceanos e nos corais. Algumas dessas soluções incluem:

- Reduzir a poluição por reduzir a liberação de substâncias químicas e plásticos nos oceanos.
- Reduzir a acidificação dos oceanos por reduzir a queima de combustíveis fósseis e aumentar a absorção de CO₂ pelos oceanos.
- Reduzir o aumento da temperatura por reduzir a queima de combustíveis fósseis e aumentar a eficiência energética.
- Proteger os habitats dos corais e promover a restauração dos corais danificados.

4.2.2 Explorando a Diversidade Química dos Corais para o Desenvolvimento de Novos Fármacos e Produtos Biotecnológicos

Os corais são organismos marinhos que produzem uma grande variedade de compostos químicos, conhecidos como metabólitos secundários, que desempenham funções importantes para a sobrevivência e o sucesso desses organismos.

A diversidade química dos corais é uma fonte rica de compostos bioativos com potencial para o desenvolvimento de novos fármacos e produtos biotecnológicos. Os corais produzem uma variedade de compostos bioativos, incluindo alcaloides, terpenos, poliquetas e glicolipídios. Esses compostos têm propriedades farmacológicas, como anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas, que podem ser exploradas para o desenvolvimento de novos fármacos.

A diversidade química dos corais pode ser explorada para o desenvolvimento de novos fármacos: a análise química dos corais pode levar à descoberta de compostos bioativos com propriedades farmacológicas; esses compostos podem ser usados como modelos para fármacos sintéticos; e também otimizados para melhorar sua eficácia e reduzir efeitos colaterais. Além do desenvolvimento de novos fármacos, a diversidade química dos corais pode ser explorada para a criação de produtos biotecnológicos, como: cosméticos, com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias; alimentos funcionais, com benefícios à saúde; e produtos farmacêuticos, como suplementos nutricionais.

A diversidade química dos corais é uma fonte rica de compostos bioativos com grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos fármacos e biotecnológicos. A utilização dessa diversidade pode levar a criação de novas terapias e produtos que melhorem a saúde e o bem-estar humano.

4.3 Futuro

O futuro dos corais nos oceanos é uma questão que envolve diversos fatores, incluindo mudanças climáticas, poluição e conservação.

4.3.1 Ações Futuras para Proteção dos Corais nos Oceanos

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2022), várias ações estão sendo adotadas para a proteção dos corais. Isso abrange o estabelecimento de zonas marinhas protegidas, onde atividades como a pesca são limitadas para facilitar a recuperação dos ecossistemas, além de iniciativas de restauração que cultivam corais em laboratórios e os recolocam em recifes danificados. O estudo sobre corais está progredindo rapidamente, com pesquisadores investigando espécies que demonstram maior resiliência ao au-

mento da temperatura e a acidificação, com o objetivo de descobrir como esses corais podem ser aplicados na restauração. Inovações como a edição genética estão sendo consideradas para criar variedades mais adaptadas dentre outras como:

-Cultivo de corais em viveiros: De acordo com a obra “Guia do Naturalista do Litoral do Sul da Bahia” de Thaís Hokoç M. De Melo e Débora de Oliveira Pires de 2022, este método envolve o cultivo de corais em ambientes controlados (estruturas artificiais) até que eles sejam fortes o suficiente para viverem em recifes danificados. Isso inclui a coleta de fragmentos de corais que são colocados em viveiros no fundo do mar.

-Projeto de proteção da biodiversidade marinha e costeira: Se propõe a garantir um planejamento ambiental territorial coerente, de forma que a gestão integrada da zona marinha e costeira contribua para a proteção e o uso sustentável da sua biodiversidade. As ações do Instituto Terramar ajudam na proteção e no uso sustentável da biodiversidade de duas áreas da costa brasileira, situadas entre o Espírito Santo, Sul da Bahia, Alagoas e Pernambuco, com espaços definidos para turismo, pesca e conservação.

-Combate ao lixo marinho: Uma ação aprovada por 193 países durante a Assembleia Ambiental das Nações Unidas, realizada em dezembro de 2024 no Quênia, está entre as prioridades brasileiras. Nesse sentido, o governo federal pretende criar o “Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar”, propondo a eliminação dos microplásticos dos oceanos e adotando ações capazes de prevenir e reduzir a poluição marinha até 2025.

-Conservação dos recifes: De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), ocorrerá iniciativas capazes de colaborar na conservação destes. O “Projeto Áreas Marinhas e Costeiras Protegidas” foi criado e implementado para promover a conservação da biodiversidade marinha e costeira. Entre as Unidades de Conservação (UCs) federais já apoiadas pelo projeto estão a: Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais (PE); Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha; Reserva Biológica do Atol das Rocas (RN); Parque Nacional da Lagoa do Peixe (RS); a Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (SC); Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (BA); Reserva Extrativista de Canavieiras (BA); e Reserva Extrativista Marinha do Corumbau (BA).

4.3.2 Identificação e Monitoramento de Fontes de Poluição que Afetam os Corais

Como menciona o World Wide Fund For Nature (WWF Brasil, 2018), a identificação e monitoramento de fontes de poluição que afetam os corais são fundamentais para proteger esses ecossistemas frágeis. Para isso, é importante realizar estudos de base; onde se coleta dados sobre a qualidade da água, incluindo parâmetros como temperatura; PH; níveis de nutrientes como nitrogênio e fósforo; e a presença de contaminantes químicos. Além disso, é necessário criar mapas detalhados dos recifes de corais, identificando áreas saudáveis e degradadas.

Outra etapa importante é a identificação das fontes potenciais de poluição. Isso envolve analisar os poluentes e identificar as principais fontes, como esgoto doméstico, escoamento superficial, descargas industriais e resíduos plásticos. A presença excessiva de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, provenientes de esgoto, fertilizantes e poluição agrícola, pode levar ao crescimento descontrolado de algas. Essas algas competem com os corais por luz e espaço, impedindo seu desenvolvimento e prejudicando a fotossíntese das zooxantelas. Também é importante monitorar as atividades humanas próximas aos recifes, como turismo, pesca e desenvolvimento costeiro, que podem contribuir para a poluição.

O monitoramento contínuo é crucial nesse processo. Para isso, podem ser instaladas estações de monitoramento em pontos estratégicos para coletar dados em tempo real sobre a qualidade da água e os níveis de poluentes. O uso de sensores subaquáticos e tecnologias como drones pode facilitar a monitoração da saúde dos corais e a detecção de mudanças na qualidade da água.

O envolvimento da comunidade é outra estratégia importante. Criar programas que incentivem a participação das comunidades locais na coleta de dados sobre a qualidade da água e na identificação de fontes de poluição pode ser muito eficaz. Oferecer treinamento para pescadores, mergulhadores e outros membros da comunidade sobre como monitorar a saúde dos recifes e relatar problemas também é uma boa prática.

De acordo com a ONU (2025), as parcerias com instituições científicas são fundamentais para o sucesso dessas iniciativas. Trabalhar com universidades possibilita realizar pesquisas científicas sobre a poluição dos corais e desenvolver

métodos eficazes de monitoramento. Programas de cidadania científica podem envolver cidadãos em projetos científicos para coletar dados sobre a qualidade da água e a saúde dos corais.

A análise dos dados coletados deve ser feita por meio de estudos longitudinais para identificar tendências na qualidade da água e correlacioná-las com eventos específicos, como chuvas intensas ou descargas industriais. A utilização de modelos matemáticos pode ajudar a prever o impacto da poluição nos recifes e auxiliar na formulação de políticas.

4.3.3 O Futuro dos Recifes de Coral no Brasil

De acordo com o MMA, os recifes de coral se distribuem por aproximadamente 3 mil km de costa, do Maranhão ao Sul da Bahia, representando as únicas formações recifais do Atlântico Sul. Nessa área existem UCs federais, estaduais e municipais que protegem uma parcela significativa desses ambientes. Apesar de toda sua importância, os ambientes recifais em todo o mundo, vêm sofrendo um rápido processo de degradação através das atividades humanas. A degradação dos recifes de coral está intimamente ligada às atividades humanas e econômicas.

O branqueamento de 1998, um dos anos mais quentes da história, danificou imensas áreas de coral em todo o mundo, aumentando seriamente a quantidade de recifes danificados. Poluição de nutrientes e sedimentos, mineração de areia e rocha e o uso de explosivos e cianeto (ou outras substâncias tóxicas) na pesca, também estressam os recifes mundiais. Considerando a importância desses ambientes é que a Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos dos Animais (SBIO) do MMA começou a trabalhar no sentido de estabelecer uma Rede de Proteção nos Recifes de Coral.

A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), assumiu compromissos voltados para a conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios oriundos da biodiversidade. No que se refere a conservação da biodiversidade marinha, o Brasil criou 18 UCs para proteger recifes de coral, sendo 6 unidades federais, 8 estaduais e 4 municipais. Além disso, o Plano Estratégico de Biodiversidade 2011-2020, aprovado na COP 10 da CDB, tem como missão tomar medidas eficazes e urgentes para deter a perda da biodiversidade, a fim de garantir que, até o

ano de 2020, os ecossistemas sejam resilientes e continuem a fornecer os serviços essenciais, garantindo, assim, a variedade de vida no planeta e contribuindo para o bem-estar humano e a erradicação da pobreza.

A meta 10 indica que até o ano de 2015, às múltiplas pressões antropogênicas sobre os recifes de coral e demais ecossistemas vulneráveis impactados pela mudança do clima ou pela acidificação dos oceanos terão sido minimizadas, para que sua integridade e funcionamento sejam mantidos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados coletados utilizando a metodologia, dividida em cinco etapas principais (revisão da literatura, análise histórica, análise atual, análise futura e discussão dos resultados), proporcionou uma visão holística do tema, desde os eventos históricos que moldaram a relação entre a química oceânica e os corais até os desafios e oportunidades futuras.

Na análise histórica, pode-se observar que os corais têm enfrentado mudanças significativas na química dos oceanos ao longo de milhões de anos, sobrevivendo a eventos extremos, como extinções em massa. No entanto, a velocidade e a magnitude das alterações atuais, impulsionadas pelas atividades antrópicas, representam uma ameaça preocupante e gradativa. A análise do presente, revelou que os principais desafios incluem a acidificação dos oceanos, o aumento da temperatura da água e a poluição química, que comprometem a calcificação dos corais e sua resiliência ecológica. Por outro lado, oportunidades emergem com o avanço de tecnologias de monitoramento e restauração, além de políticas públicas voltadas para a conservação marinha.

A análise futura, baseada em técnicas de previsão e modelagem, apontou para cenários preocupantes caso as emissões de CO₂ e a poluição não sejam drasticamente mitigadas, de maneira que sem intervenções urgentes, os recifes de corais podem sofrer declínios catastróficos até o final do século, com impactos irreversíveis para a biodiversidade marinha e para as comunidades humanas que dependem desses ecossistemas. Diante desses desafios, o uso da EA como uma ferramenta central para a conservação dos corais torna-se imprescindível. Por meio de ações educativas, é possível promover o engajamento da população,

ampliar a conscientização sobre a importância dos corais e transformar o conhecimento em práticas sustentáveis.

Em resumo, pode-se dizer que os resultados reforçam a necessidade de uma abordagem interdisciplinar e integrada, utilizando dos esforços conjuntos, da população, profissionais das diversas áreas de ciências ambientais e engenharias para enfrentar os desafios atuais e futuros relacionados à química dos oceanos e à conservação dos corais. A combinação de futuros avanços científicos, políticas públicas eficazes e ações educativas representa um caminho promissor para garantir a sobrevivência desses ecossistemas vitais e dos serviços que eles proporcionam à humanidade e ao planeta.

A EA surge como uma ferramenta indispensável para sensibilizar e atingir diferentes públicos na luta pela proteção dos corais e dos oceanos. Não é de cunho popular, porém a ONU instaurou a década dos oceanos, de 2021 a 2030, mas pouco se fala a respeito devido à defasagem que se tem na aplicação da EA no Brasil. Essa abordagem pode ser realizada com programas educativos que envolvam comunidades costeiras, estudantes, turistas e moradores locais, não necessariamente aqueles que vivem somente em cidades de costa, mas vizinhos das redondezas, sobre a importância desses ecossistemas e as consequências de sua degradação. Atividades como a criação de maquetes, palestras, visitas monitoradas às áreas recifais e iniciativas de ciência cidadã promovem a conexão entre as pessoas e o ambiente marinho, despertando um senso de responsabilidade coletiva.

Nesse intuito, a aplicação do tema na educação escolar, principalmente nas séries infantis, contribuem para uma formação mais consciente de futuras gerações que estejam engajadas em defender os oceanos e serão esses novos seres que irão disseminar a importância de tais ecossistemas para a sociedade. É preciso que haja uma parceria entre escolas, universidades públicas, ONGs e órgãos governamentais para garantir que essas informações sejam acessíveis, claras e de qualidade.

Em um de seus filmes, Yves Cousteau, oficial da marinha, oceanógrafo e documentarista, traz diversas reflexões, e uma a qual pode-se citar que pode ser aplicada como um mantra para a EA é: “As pessoas amam apenas o que sabemos, é assim que somos ingênuos”. Essa frase ressalta como a sensibilização é chave para a salvar os oceanos como são conhecidos hoje e a tentativa de reverter e evitar mais catástrofes causadas por nós seres humanos.

6. REFERÊNCIAS

- AMARAL, Fernanda Duarte *et al.* Corais e hidróides calcários do Parque Estadual Marinho do Manuel Luiz (Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil). **Biota Neotropica**, v. 7, p. 73-81, 2007.
- BACELAR, Alberto. **Aquários marinhos de recifes de corais**. NBL Editora, 1997.
- BECK, M. W. *et al.* The Effectiveness of Coral Reefs for Coastal Hazard Risk Reduction and Adaptation. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI: 10.1038/s41467-018-04568-z. Acesso em: 25 de fev de 2025.
- BRIGGS, D. E. G.; CROWTHER, P. R. **Palaeobiology II**. Oxford: Blackwell Science, 2003.
- BOSTRÖM-EINARSSON, L. *et al.* Active Restoration Enhances Recovery of Coral Reefs. **Science Advances**, v. 6, n. 23, p. eaay3808, 2020. DOI: 10.1126/sciadv.aay3808. Acesso em: 18 de fev de 2025.
- CIGLIANO, J. A. *et al.* The Role of Environmental Education in Coral Reef Conservation. **Marine Policy**, v. 52, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1016/j.marpol.2014.12.005. Acesso em: 25 de fev de 2025.
- CORTÉS, Jorge *et al.* Pérdida de zooxantelas y muerte de corales y otros organismos arrecifales en el Caribe y Pacífico de Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 32, n. 2, p. 227–231-227–231, 1984.
- DOVE, S. G. *et al.* Coral Calcification in a Changing World: The Role of Ocean Acidification. **Global Change Biology**, v. 26, n. 1, p. 1-15, 2020. DOI: 10.1111/gcb.14990. Acesso em: 02 de mar de 2025.
- FERREIRA, Beatrice Padovani; MAIDA, Mauro. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. 2006.
- Fontes, M. L., Oliveira, M. C., & Gouvêa, L. F. M. (2016). Impacto da poluição nos oceanos. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 64(2), 123-135.
- GERWICK, W. H. *et al.* Marine Natural Products from Coral Reef Ecosystems: A Source of Novel Drugs. **Journal of Natural Products**, v. 78, n. 3, p. 534-551, 2015. DOI: 10.1021/np500536j. Acesso em: 28 de fevereiro de 2025
- Gouvêa, L. F. M., Oliveira, M. C., & Fontes, M. L. (2018). Aumento da temperatura nos oceanos: impactos nos ecossistemas marinhos. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 66(1), 789-801.

Gouvêa, L. F. M., Oliveira, M. C., & Fontes, M. L. (2018). Diversidade química dos corais: uma fonte rica de compostos bioativos. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 28(3), 1234-1245.

HUGHES, T. P. et al. Coral reefs in the Anthropocene: Persistence or the end of the line? **Nature**, v. 546, n. 7656, p. 82-90, 2017. DOI: 10.1038/nature22901. Acesso em: 04 de março de 2025.

ICMBIO. **Parque Nacional Marinho dos Abrolhos**. Acesso em: 15 de fev 2025

KLEYPAS, J. A. et al. Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers. **Oceanography**, v. 19, n. 2, p. 30-41, 2006. DOI: 10.5670/oceanog.2006.30.

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Recifes de coral e mudanças climáticas: o caso de Abrolhos. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 67, n. 2, p. 123-135, 2019.

OLIVEIRA, P. E. Extinções em massa e a história da vida na Terra. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 18, n. 1, p. 3-12, 2015.

ROBERTS, Callum M. et al. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. **Science**, v. 295, n. 5558, p. 1280-1284, 2002.

Schettini, C. A. F., Oliveira, M. C., & Gouvêa, L. F. M. (2017). Acidificação dos oceanos: consequências para os ecossistemas marinhos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 45, 456-467.

TASCHETTO, A.; WAINER, Ilana. A influência dos gases estufa no oceano atlântico sul: variabilidade interanual. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p. 105-120, 2005.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Coral Reefs and Climate Change: Impacts and Solutions**. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/coral-reefs-and-climate-change>. Acesso em: 25 de fev de 2025.

UNESCO. Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Conservação dos Oceanos. **Relatório Global**, 2021.

CAPÍTULO 10

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: UM EXPERIMENTO SIMPLES

Giovana Santos Thomy
Pedro Henrique Santos da Silva

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biogás a partir da decomposição de resíduos orgânicos em um biodigestor improvisado feito com uma garrafa PET. Para isso, restos de alimentos foram colocados dentro da garrafa com água e deixados em fermentação por 15 dias. Durante esse período, observou-se o acúmulo de gases no recipiente, indicando a produção de biogás. Embora o volume de gás gerado tenha sido pequeno, o experimento demonstrou, de forma prática, que a decomposição anaeróbica pode gerar combustível renovável. O estudo reforça a importância do reaproveitamento de resíduos orgânicos e da conscientização sobre fontes alternativas de energia.

Palavras-chave: Biogás. Resíduos orgânicos. Biodigestão anaeróbica. Sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

A decomposição de matéria orgânica em ambientes sem oxigênio pode gerar biogás, um combustível renovável composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Esse processo ocorre naturalmente em aterros sanitários e pode ser reproduzido em pequena escala com biodigestores caseiros (Souza *et al.*, 2021).

O objetivo deste experimento foi testar, de maneira simples, a possibilidade de produção de biogás utilizando apenas uma garrafa PET e restos de alimentos. A ideia é demonstrar que a fermentação anaeróbica pode ser uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos orgânicos e a geração de energia.

2. METODOLOGIA

O experimento foi realizado utilizando materiais simples e acessíveis:

- 1 garrafa PET de 2 litros
- Restos de alimentos (cascas de frutas e legumes)
- Água

Os restos de alimentos foram colocados dentro da garrafa PET com um pouco de água e, em seguida, a garrafa foi fechada hermeticamente. O recipiente foi deixado em temperatura ambiente por 15 dias. Durante esse período, foi observada a formação de gases dentro da garrafa, sugerindo a produção de biogás.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos primeiros dias, não houve mudanças visíveis. A partir do quinto dia, foi possível notar um leve inchaço na garrafa, indicando o acúmulo de gases. Isso sugere que a decomposição anaeróbica estava ocorrendo e que parte do gás produzido era metano (Oliveira & Santos, 2020).

Diferentes fatores podem influenciar a eficiência desse processo, como o tipo de resíduo utilizado e a temperatura ambiente. Estudos mostram que materiais ricos em matéria orgânica, como esterco bovino, produzem maior volume de biogás em comparação com restos de alimentos (Ferreira *et al.*, 2018).

Embora o volume de biogás gerado tenha sido pequeno, o experimento demonstrou, de forma prática, que a biodigestão anaeróbica pode ser observada mesmo em condições simples, sem equipamentos avançados.

4. CONCLUSÃO

O experimento mostrou que é possível produzir biogás a partir da decomposição de resíduos orgânicos em um sistema simples, utilizando apenas uma garrafa PET. Embora a quantidade de gás gerada tenha sido pequena, o teste foi útil para demonstrar o conceito básico da biodigestão anaeróbica e sua relação com a produção de energia renovável.

Esse tipo de experiência pode ser utilizado em sala de aula para conscientizar estudantes sobre o reaproveitamento de resíduos e a importância de fontes alternativas de energia.

Para estudos futuros, seria interessante testar diferentes tipos de resíduos e comparar a produção de biogás em diferentes condições de temperatura.

5. REFERÊNCIAS

FERREIRA, M. A.; SANTOS, L. R.; BARBOSA, J. M. **Estudo da produção de biogás a partir de diferentes substratos orgânicos. Engenharia Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 2, p. 120-135, 2018.

OLIVEIRA, T. R.; SANTOS, D. P. **Biodigestores e a redução de resíduos orgânicos urbanos. Ciência e Sustentabilidade**, v. 15, n. 4, p. 87-99, 2020.

SOUZA, V. C.; NASCIMENTO, J. P.; ALMEIDA, B. T. **Fontes alternativas de energia e o potencial do biogás. Revista de Energias Renováveis**, v. 9, n. 1, p. 33-48, 2021.

CAPÍTULO 11

QUÍMICA DO CAFÉ: PRODUÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR NO CÓRREGO PALMEIRA EM ITAMARAJU/BA

Izaque Souza Conceição
Gabriel Costa Santana

Resumo: Este artigo se inicia apresentando um pouco sobre a história do café no Brasil e no estado da Bahia, destacando alguns fatores relacionados a produção dessa cultura na região do extremo sul da Bahia e sua importância socioeconômica nesses contextos. Aborda-se também neste estudo a composição química do café, a química presente na sua produção e os benefícios e efeitos colaterais do consumo excessivo. Além disso, com o objetivo de destacar a produção realizada a partir da agricultura familiar, é ressaltado o seu funcionamento e suas principais características. Em seguida, tem-se uma entrevista realizada a partir de um questionário aberto com uma família habitante de uma zona rural da cidade de Itamaraju/BA, localizada na Fazenda Pirajá no Córrego Palmeira. A partir das pesquisas e da entrevista que foram feitas, pode-se observar as dificuldades enfrentadas pelos agricultores familiares, mas também o quanto são importantes e o como a cultura do café, em específico, tem um papel fundamental tanto em aspectos econômicos, como sociais.

Palavras-chave: Café. Agricultura Familiar. Química do café. Extremo Sul da Bahia.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca pela produção de diversas culturas, dentre elas o café, sendo o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor, segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária. O café, que é a segunda bebida mais consumida no mundo, atrás apenas da água, está a muito tempo presente na história do Brasil, tendo chegado ao país no ano de 1727 e até hoje continua a movimentar a economia global e também a economia brasileira.

Ainda de acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária, a maior parte da produção de café no país é concentrada no tipo arábica, representando cerca de 70% da produção nacional, enquanto o café conilon representa aproximadamente 30% da produção. Se tratando de toda a produção de café, a Bahia encontra-se entre os 5 maiores no ranking nacional. Já em relação ao café conilon é o terceiro maior produtor do Brasil, sendo mais de 60% dessa produção concentrada na região do Extremo Sul do estado.

Nesse contexto, temos o agronegócio, caracterizado por operações em larga escala, com uma estrutura mais corporativa, profissionalizada e foco na exportação, e a agricultura familiar, composta por pequenas e médias propriedades (geridas principalmente por membros da mesma família) com foco na produção de alimentos básicos para o mercado interno e práticas tradicionais e sustentáveis, ambos extremamente importantes, mas com características distintas.

O objetivo do presente estudo é abordar o funcionamento da produção de café com foco na agricultura familiar, evidenciando a produção e comercialização dessa cultura no Córrego Palmeira na cidade de Itamaraju/BA, onde foi realizada uma entrevista com uma família da localidade a partir de um questionário aberto. Além disso, será explorado como a química está presente desde a produção do café até a sua utilização no cotidiano.

PRODUÇÃO DE CAFÉ NO EXTREMO SUL DA BAHIA

Inicialmente, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica, no intuito de compreender a importância da cultura do café no extremo sul da Bahia, analisando informações acerca das principais cidades produtoras na região e a expectativa para o ano vigente (2025).

Em 2019, Prado e Itamaraju consolidam-se como os municípios que apresentam maior área plantada de café, seguidos pelos municípios de Eunápolis, Porto Seguro, Itabela e Teixeira de Freitas, totalizando os seis principais municípios produtores de café na RESB [Região Econômica Extremo Sul da Bahia]. (Almeida, Regiane *et al.*, 2023, p. 8)

Ainda de acordo com Almeida *et al.* (2023), com base em dados fornecidos pelo IBGE em 2018 sobre o PIB a preços correntes dos municípios produtores

de café da Região Extremo Sul da Bahia entre 1999-2018, o café apresentou uma contribuição maior para o PIB em cinco municípios da região: Eunápolis, Itabela, Porto Seguro, Itamaraju e Prado, indicando a grande relevância da cafeicultura para a economia local e a especialização da cafeicultura nos municípios produtores.

A produção de café na Bahia para a safra de 2025 está estimada em 3,4 milhões de sacas, representando um crescimento significativo de 11,3% em relação à safra anterior, de acordo com o último levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), (Bahia, 2025).

O aumento mencionado é um reflexo das condições climáticas favoráveis e a adoção de tecnologias avançadas de manejo e irrigação, que se comparado a safra de 2024, marcada por desafios climáticos como estiagens e altas temperaturas, apresenta uma recuperação notável.

QUÍMICA DO CAFÉ

O café contém uma riquíssima variedade de elementos químicos (conjunto de átomos que possuem a mesma quantidade de prótons em seu núcleo atômico), onde algumas das principais características são o raio atômico, a energia de ionização, afinidade eletrônica, eletronegatividade, densidade e os pontos de fusão e de ebulição.

A seguir, podemos observar os compostos químicos presentes no café:

- Cafeína - $C_8H_{10}N_4O_2$;
- Minerais- ferro, manganês, zinco, cálcio;
- Vitaminas do complexo B - como nicotinamida, ácido ascórbico, tiamina, riboflavina e caroteno;
- Aminoácidos - alanina, lisina e glicina.

O principal fator para o desenvolvimento de grãos de qualidade na produção de café é a qualidade do adubo. Por isso, na produção agrícola é muito importante o uso de fertilizantes químicos que agem como suplemento nas plantas para que ela produzam seus frutos.

Os principais fertilizantes químicos são:

- Nitrogênio = N
- Fosfato = P_2O_5
- Óxido de Potássio = K_2O

Tabela 1-Recomendações de adubação para cafeeiro em formação, em função da idade da planta e da análise do solo

Idade	N	P resina, mg dm ⁻³			K ⁺ trocável, mmol _c dm ⁻³		
		<16	16-40	>40	<1,6	1,6-3,0	>3,0
Anos	Kg ha ⁻¹ de N	--- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ ---			--- kg ha ⁻¹ de K ₂ O ---		
0-1	90	30	20	0	30	20	0
1-2	140	60	40	20	90	60	30
2-3	160	90	60	40	120	90	60

Fonte: Quaggio et al. (2022).

Segundo Applegate (1999), a cafeína, embora não apresente qualquer valor nutricional, tem sido considerada um ergogênico natural por estar presente em vários produtos alimentícios comerciais e que são consumidos diariamente.

Tabela 2-Quantidade de cafeína no café

Cafeína em Alimentos e Bebidas

Café (xícara de 150 ml)	Cafeína (mg)	Produtos com Chá	Cafeína (mg)
De máquina	110-150	Chá instantâneo	12-28
De coador	64-124	(xícara de 150 ml)	
Instantâneo	40-108	Chá gelado	22-36
Descafeinado instantâneo	2-5	(xícara de 350 ml)	
Descafeinado	2		

Fonte: adaptado de Slavin & Joensen. Caffeine and sport performance. The Physician and SportsMedicine, 13:191-193, 1995.

Em sua utilização doméstica o café chega até as casas na maioria das vezes em forma sólida passando por uma transformação química física transformando-se em um café saboroso, já que a mudança de sabor é uma das características nesse processo, além da mudança também em seu aroma. A temperatura ideal da água para fazer café deve ser entre 90°C e 96°C.

É interessante comentar que ela é componente de diversos medicamentos

de depressão e ansiedade. Porém é necessário estar ciente que existem alguns efeitos colaterais associados a consumo elevado, como sensação de ansiedade e alterações no sono (UFABC).

AGRICULTURA FAMILIAR NA BAHIA

A agricultura familiar é um modelo de produção agrícola administrado por famílias em pequenas propriedades rurais, representando uma das principais formas de produção de alimentos no mundo, sendo essencial para a segurança alimentar e o fortalecimento das comunidades rurais. Entre suas características, destacam-se a predominância de trabalho familiar, a produção voltada para o mercado interno, a diversificação da produção e a interação entre gestão e trabalho, além da contribuição para a sustentabilidade ambiental e para a redução da desigualdade.

Em material educativo e informativo acerca do retrato da Agricultura Familiar da Bahia a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017 do IBGE, Fortini, Sette, Santos elucidam sobre a definição de agricultura familiar:

Em setembro de 2019, no Plenário da Câmara, ocorreu a celebração dos 13 anos da Lei da Agricultura Familiar (Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006). Em seu artigo 3º, é apresentada a definição legal em que considera como agricultor familiar e/ou empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos requisitos: Utilizar, no mínimo, metade da força total de trabalho utilizada no processo produtivo de geração de renda que provenha de membros da família; Deter, a qualquer título, área de até quatro módulos fiscais; Ser a gestão do estabelecimento ou do empreendimento estritamente familiar; Auferir, no mínimo, metade da renda familiar de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento (Fortini, Sette, Santos, 2021, p. 11).

Segundo os dados do Censo Agropecuário de 2017, 77,8% dos estabelecimentos rurais da Bahia são de agricultores familiares, ocupando 32,2% da área total explorada pela atividade agropecuária no estado (Fortini, Sette, Santos, 2021). Ainda com base nesses dados, a Bahia é o estado da região Nordeste com o maior número de estabelecimentos da agricultura familiar e também do país.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No intuito de compreender, na prática, os principais desafios enfrentados pelos agricultores familiares, o funcionamento da sua produção e comercialização, entre outras questões envolvidas, foi realizada uma entrevista com uma família (casal) que está inserida nesse contexto. Os entrevistados são moradores de uma zona rural da cidade de Itamaraju/Ba, a Fazenda Pirajá, localizada no Córrego Palmeira, os quais trabalham com diversas culturas, como: café, pimenta do reino e pimenta-de-cheiro.

Entre as produções mencionadas foi selecionado um foco para a entrevista, a cultura do café. Com essa finalidade, foi-se pensado diversos aspectos englobados na sua produção, como:

- principais desafios enfrentados pelos agricultores familiares locais;
- práticas sustentáveis e preservação do meio ambiente;
- papel da agricultura familiar na geração de emprego e renda na localidade;
- principais diferenças observadas entre a produção do café da agricultura familiar e a do agronegócio;
- influência do clima local;
- qualidade do produto;
- processo de adubação;
- papel das cooperativas;
- colheita;
- comercialização;
- variação dos preços; e
- vantagens do café produzido pela agricultura familiar.

Foram formuladas algumas perguntas acerca de tais aspectos, onde obteve-se as seguintes respostas:

- Quais são os principais desafios enfrentados pelos agricultores familiares da comunidade?

“A qualidade do café, que precisa ser boa; a mão de obra é cara; mercado, pois fica variando o preço do insumos; os perigos na lavoura, pois tem várias doenças; e também as questões climáticas.”

- Sobre práticas sustentáveis, de que maneira a agricultura familiar da comunidade ajuda na preservação do meio ambiente?

“Pode ajudar através de práticas sustentáveis, como a própria palha do café, que quando pilado ajuda na fertilização do solo e conserva o ambiente úmido e também através de técnicas como irrigação por gotejamento”, evitando o desperdício de água.

- Qual é o papel da agricultura familiar na geração de emprego e renda na localidade?

“Fortalece a economia local com geração de emprego e renda. Isso cria uma forma de emprego para aqueles que vivem lá e reduz a pobreza e a desigualdade, porque eles se engajam em atividades agrícolas na comunidade.”

- Quais as principais diferenças que você observa na produção do café da agricultura familiar em relação ao agronegócio (de grandes empresas)?

“A agricultura familiar é voltada para o consumo interno, enquanto o agronegócio é só visando a exportação dos grãos para outros países.”

- O clima local tem contribuído para a sua produção de café?

“Tem anos que sim, outros nem tanto, pois em 2024 o sol foi uma das causas de não ter uma produção tão boa, já em 2025 o clima foi bem melhor, pois choveu bem e teve uma boa safra.”

- Quais as formas que utiliza para melhorar a qualidade do café produzido?

“A forma é estar bem maduro [para colher], pois ele fica com aspecto amarelado e rende mais.”

- Como é feita a adubação do seu café?

“É feita 3 vezes ao ano com adubo normal e uso também de fubá, que ajuda para uma folhagem boa.”

- Qual é o papel das cooperativas de café no apoio aos pequenos produtores?

“Não ajuda muito, pois a única coisa que faz é fornecer armazém para colocar o café já que nós não temos onde armazenar o café.”

- Como é realizada a colheita?

“A colheita é feita manualmente usando a lona de linhagem estendida em baixo do pé de café.”

- Como é feita a comercialização (venda) do que café que produz?

“A venda é feita em sacos de 60 kg, com o café já seco e pilado. Tem a variação de preço, em que às vezes está com um preço melhor, às vezes com

um preço ruim e a comercialização é dentro da própria cidade de Itamaraju mesmo e inserida no comércio local.”

- Como lida com a variação dos preços para comercializar o café da sua produção?

“É um pouco complicado, pois dependemos do valor do dólar. Quando ele está em alta o preço do café fica bom, aí temos que lidar com esses valores e na baixa guardar o café e só vender se tiver muita necessidade.”

- Quais as vantagens de comprar café produzido pela agricultura familiar?

“A qualidade do café, pois tentamos fazer o melhor, sem contar que ele é 100% puro, não tem mistura.”

A Figura 1 mostra um compilado de imagens da produção de café na Fazenda Pirajá.

Figura 1-Compilado de imagens da produção de café na Fazenda Pirajá



Fonte: Imagem do autor (2024).

Em suma, os resultados da entrevista evidenciam a importância da agricultura familiar na produção de café, mostrando como o trabalho no campo, apesar de marcado por desafios, fortalece a economia local, valoriza o cultivo sustentável e proporciona um produto de qualidade, fruto do manejo cuidadoso e da tradição compartilhada pelas comunidades envolvidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se a importância da cultura do café no Brasil e no mundo, tanto se tratando de aspectos econômicos como de aspectos sociais. Quando olhamos de forma mais específica para o estado da Bahia e a região do extremo sul do mesmo não é diferente. Podemos notar como a produção do café pode sofrer diversas influências, como as relacionadas ao clima, a forma com que os agricultores lidam com a produção em relação ao manejo, o preço que interfere bastante na comercialização, entre outros.

É de suma importância a valorização da agricultura familiar local, onde entende-se que o terreno em que vem sendo cultivado é “fértil”, não só de nutrientes mas também de vantagens socioeconômicas e práticas sustentáveis, favorecendo até mesmo a geração de empregos em comunidades mais carentes e ajudando a diminuir a desigualdade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEITE, Paulo et al. Experiências de extensão rural através de vistas de campo, voltadas ao manejo agroecológico do café conilon (*Coffea canephora*), no extremo sul da Bahia. **Cadernos de Agroecologia**, vol 10, Nº 3, 2015. Disponível em: <https://www.aba-agroecologia.org.br/revista/cad/article/view/17866/13613>. Acesso em: 05 mar. 2025.

AQUINO, Damille; CHAVES, Quétine; PINA, Welber. Entomofauna edáfica em dois sistemas de cultivos de café conilon no extremo sul da Bahia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p.25703-25711, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9735/8173>. Acesso em: 05 mar. 2025.

BRASIL. Brasil é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>. Acesso em: 06 mar. 2025.

BRASIL. Conheça os principais tipos de grãos de café cultivados no Brasil. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-os-principais-tipos-de-graos-de-cafe-cultivado-no-brasil#:~:text=O%20caf%C3%A9%20conilon%20representa%20aproximadamente,as%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20mundiais%20de%20caf%C3%A9>. Acesso em: 06 mar. 2025.

ALMEIDA, Regiane et al. Cana-de-Açúcar e Café na Região Extremo Sul da Bahia, Brasil: Uma Análise Espaço-Temporal e dos Fatores Socioeconômicos. **Sociedade e natureza**, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/LD6jtGS7N79bVyTKXHx7Bjz/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 06 mar. 2025.

Bahia deve registrar crescimento de 11,3% na produção de café em 2025. In: **BAHIA**. ba.gov.br, 2023. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/noticias/369989/bahia-deve-registrar-crescimento-de-113-na-producao-de-cafe-em-2025>. Acesso em: 06 mar. 2025.

FORTINI, Rosimere; SETTE, Ana Beatriz; DOS SANTOS, Elizângela. Um novo retrato da Agricultura Familiar do estado da Bahia. **IPPDS/UFV**, 2021. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/bitstream/123456789/53/1/cartilha%20eletr%C3%B4nica.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2025.

ALTIMARI, L. R. et al. Cafeína: ergogênico nutricional no esporte. **Revista Ciência e Movimento**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-adubo-para-cafe-recem-plantado/>. Acesso em: 7 mar. 2025.

TELES DE SOUZA. Adubo para café recém-plantado e em produção: o que muda? **Revista Agro Advance**, Campinas, 2024.

Vai um cafezinho? Programa de Pós-Graduação em Química, **Universidade Federal do ABC**, c2025. Disponível em: <https://ppgquimica.propg.ufabc.edu.br/pt/vai-um-cafezinho/>. Acesso em: 7 mar. 2025.

CAPÍTULO 12

REUTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE COZINHA: PRODUÇÃO DE SABÃO COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AO DESCARTE DE TRIGLICERÍDEOS

Davi Francisco Dias
Itauan Ferreira da Silva
Matheus Pinheiro Silva Louzada
Michell Santos Vidal de Araújo

Resumo: A crescente preocupação com a preservação ambiental tem incentivado a busca por alternativas sustentáveis para o descarte de resíduos. O óleo de cozinha saturado, quando descartado de maneira inadequada, causa impactos ambientais significativos, como a contaminação de corpos hídricos e o comprometimento da qualidade do solo. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo apresentar a produção de sabão como uma alternativa viável e sustentável para o reaproveitamento desse resíduo. O processo de fabricação foi realizado a partir da coleta, filtragem e reutilização de óleo de soja saturado, combinado com hidróxido de sódio (NaOH). A metodologia seguiu protocolos de segurança, utilizando Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e respeitando as proporções adequadas para garantir a eficácia da reação de saponificação. O produto final apresentou textura homogênea, boa capacidade de limpeza e espuma, demonstrando a viabilidade da reutilização do óleo para a fabricação de sabão.

Palavras-chave: Sabão Ecológico. Saponificação. Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores impasses da sociedade contemporânea está na falta de eficiência no descarte correto de resíduos variados. Pela ausência de medidas públicas ou pela falta de instrução da população, é comum observar materiais e produtos que poderiam ser reinseridos no ciclo de produção sendo descartados incorretamente em áreas urbanas. Dentre os diversos resíduos, o óleo de cozinha se destaca. Em uma análise realizada em 2012, foi revelado que das 7.162 toneladas de óleo de cozinha produzidas no Brasil, apenas 2,5% foram reprocessadas e

reinseridas no processo produtivo, enquanto o restante foi destinado aos esgotos, à aterros sanitários e corpos hídricos (NOVAES et al, 2014), causando desequilíbrio ambiental em cada um desses ambientes.

Por não se dissolver em corpos hídricos, apenas um litro de óleo pode contaminar cerca de 25 mil litros de água. Além disso, o óleo descartado incorretamente reduz a taxa de oxigênio dissolvido na água, causando danos severos à fauna local. Se descartado utilizando as redes de esgoto, o óleo se acumula no encanamento, retendo resíduos que causam a obstrução da encanação, podendo até causar o refluxo de esgoto para outras residências (SOUZA, 2023). Caso seja descartado em aterros sanitários, o óleo impermeabiliza o solo, dificultando o escoamento da chuva para os lençóis freáticos, permitindo que a área se torne mais vulnerável a enchentes (NOVAES et al, 2014).

Por conta da dificuldade de se descartar o material, passou-se a ser comum utilizar formas diferentes reaproveitá-lo, produzindo produtos com funções úteis para a sociedade, como resina para tintas, detergente, e, principalmente, sabão. Tendo isso em vista, a pesquisa realizada no artigo aborda os métodos utilizados para se fabricar sabão a partir de materiais de custo baixo custo, dentre eles o óleo de cozinha saturado, que está presente na maioria das residências, com o objetivo de demonstrar de forma clara, como reutilizar o material de forma correta e fabricar em sabão em casa, minimizando dessa forma, o descarte irregular do mesmo no ambiente.

2.1 Objetivo Geral

Analisar o processo de fabricação de sabão a partir do reaproveitamento de óleo de cozinha saturado.

2.2 Objetivos Específicos

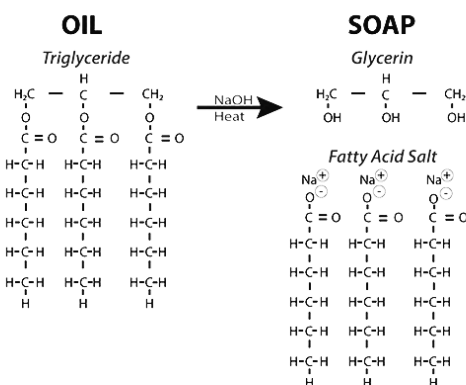
- a) Definir as proporções ideais de óleo usado e outros ingredientes para a produção de sabão.
- b) Avaliar as propriedades químicas do produto final.
- c) Demonstrar o processo de produção do sabão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Saponificação

O processo conhecido como saponificação é a reação onde um triglicerídeo (óleos vegetais, ou animais) é combinado com uma base forte (álcali) para formar sais de ácidos graxos, glicerol, e ácidos graxos livres. Esses sais são, basicamente, o sabão. Normalmente, dois álcalis são mais utilizados, o hidróxido de sódio (NaOH) ou o hidróxido de potássio (KOH). A principal diferença entre os dois álcalis é a consistência final do sabão, o hidróxido de sódio proporciona barras com maior rigidez, já o hidróxido de potássio cria barras mais pastosas. Em razão da presença de uma base forte no processo, o resultado final da saponificação resulta em um sabão com pH alcalino.

Figura 1. Cadeia carbônica do sabão



Fonte: Ingredient Spotlight: Oils Used in the Soap Making Process. Stephenson, 2016.

A reação da saponificação ocorre nas seguintes etapas. Primordialmente, os triglicerídeos se dividem em quatro partes, três moléculas de ácidos graxos e uma molécula de glicerina. Na segunda etapa, ocorre a reação entre os ácidos graxos e o álcali, resultando em um sal de ácido graxo, que é o sabão. Por ser uma molécula surfactante, o sabão possui a seguinte estrutura: uma cabeça hidrofílica (parte polar) e uma cauda hidrofóbica (parte apolar). Essa característica possibilita o sabão se dissolver em meio aquoso e meio orgânico (oleoso), possibilitando assim a limpeza.

3.2 Processos de saponificação

Para efetivar a saponificação, dois principais processos são utilizados: *hot-process* e *cold-process*. O *hot-process* é um processo de saponificação realizado sob aquecimento, normalmente da água adicionada. Quimicamente, a reação entre o hidróxido de sódio (NaOH) e a água (H₂O) resulta na dissociação do composto, liberando os íons Na⁺ e OH⁻ e por ser uma reação exotérmica, libera calor. Nesse contexto, o *hot-process* tem como objetivo acelerar o processo de saponificação, reduzindo significativamente o tempo de cura do sabão. Nesse processo, o tempo de cura normalmente é de 24 horas. Já o *cold-process* é um processo de saponificação a frio, onde não há um aquecimento da água adicionada no sabão. Nesse processo, o tempo da reação de saponificação é de 18 a 24 horas e o tempo de cura é claramente maior, levando de 4 a 6 semanas para se concluir.

4. METODOLOGIA

Para a efetivação do objetivo, a presente pesquisa empregou como metodologia a produção de um sabão sustentável, utilizando óleo de cozinha e hidróxido de sódio (NaOH), popularmente conhecido como soda cáustica.

Para iniciar o processo de produção do sabão, foi necessário coletar e armazenar óleo de soja – triglicerídeo escolhido para a receita presente nesse artigo. Foram armazenados ao todo, 2000 ml de óleo saturado, quantidade suficiente para produzir o sabão de forma satisfatória. Em seguida foram adquiridos os demais materiais para a receita do sabão, sendo eles hidróxido de sódio, detergente de coco e farinha de milho fina (fubá). A tabela a seguir indica a proporção dos ingredientes do sabão.

Tabela 1. Insumos utilizados na receita e suas respectivas quantidades

Insumos	Quantidade (ml)	% na solução final
Óleo de cozinha saturado	2000	54,4%
Hidróxido de sódio	400	10,9%
Farinha de milho fina	76	2,1%
Detergente	200	5,4%
Água potável (quente)	1000	27,2%

Fonte: Elaboração própria, 2025.

O insumo mais perigoso e tóxico da receita, sem dúvidas é o hidróxido de sódio, que segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2012) é altamente corrosivo causando graves queimaduras em tecidos. Além disso, “a inalação de baixas concentrações, na forma de pó, névoa ou aerossol, pode irritar o nariz, garganta e vias respiratórias. Em concentrações mais elevadas o composto pode produzir espasmo da via aérea superior, inflamação e acúmulo de líquido nos pulmões” (CETESB, 2012, p.1). A fim de preservar a integridade física dos integrantes do grupo, algumas medidas de proteção foram tomadas. Foram utilizados Equipamentos de Proteção Individual (EPI), dentre eles, máscara de respiração, jaleco, óculos de proteção e luva de borracha. O ambiente para se fabricar o sabão também foi escolhido visando maior segurança, o local era coberto e arejado para que os possíveis aerossóis gerados fossem rapidamente dispersos. Convém ressaltar, também que os recipientes escolhidos para produção e armazenamento do sabão são fabricados a partir de plásticos de alta densidade, que são resistentes a corrosão e demais propriedades corrosivas do hidróxido de sódio. Por fim, durante a produção do sabão, o recipiente foi mantido longe de fontes de calor e luz solar direta. Já que isso pode influenciar na reação e tornar o composto mais instável e perigoso.

Depois de seguir um rigoroso protocolo de segurança, a produção do sabão pode ser iniciada. Inicialmente, foi feito a diluição da soda cáustica em água, seguindo uma proporção de 80 ml de água a cada 100 g de soda, totalizando 400 ml para a diluição de 500 mg de soda cáustica. Essa diluição é primordial para controlar a saponificação, evitando que a temperatura da mistura aumente rapidamente.

Figura 2. Soda cáustica sendo pesada para a diluição.



Fonte: Arquivo próprio (2024).

Após a diluição da soda cáustica, foi adicionado à mistura o óleo de cozinha saturado que foi filtrado e refiltrado, a fim de eliminar quaisquer impurezas que contaminariam o processo. A adição foi realizada de forma lenta e gradual, com agitação constante para garantir uma melhor homogeneização da solução.

Figura 3. Óleo sendo refiltrado com o auxílio de uma peneira



Fonte: Arquivo próprio (2024).

Com a mistura homogênea, o próximo passo foi adicionar a farinha de milho fina que contribui para a textura final do sabão, dando-lhe mais consistência. Também foi adicionado o detergente de coco, que tem a função de potencializar a limpeza, auxiliar na formação de espuma e tornar o sabão mais suave. Os ingredientes foram incorporados à mistura sob agitação constante, para garantir a distribuição uniforme dos compostos. Após a completa homogeneização dos insumos na solução, foi adicionado a mistura 1000 ml de água quente, para efetivação do *hot-process*. Após a adição dos ingredientes, o sabão foi misturado durante 50 minutos ininterruptos, para que a formação do sabão ocorresse de forma correta.

Outrossim, o sabão foi despejado em recipientes de 2 litros, para realização do processo de cura. O processo de cura é essencial para que a reação de saponificação ocorra completamente e os resíduos da soda cáustica sejam neutralizados. O sabão foi deixado para curar em local seco e arejado por um período 7 dias, sendo observado periodicamente para verificar se a produção do sabão foi realizada de forma correta. Durante esse período, observou-se a consistência e

aparência do sabão, certificando-se de que a textura estivesse adequada para o uso. Após a cura, os blocos de sabão foram cortados no formato de barra e armazenados em local seco até a utilização.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na produção do sabão foram efetivamente satisfatórios. O sabão produzido apresentou efetividade na limpeza, podendo ser utilizado tanto para limpeza de utensílios domésticos, quanto na higiene pessoal. Por ter a presença de glicerina em sua composição, o sabão produzido apresentou uma característica hidratante. Empiricamente, ao lavar as mãos, é possível notar que o sabão hidrata tenuemente as mãos, deixando-as com uma sensação levemente oleosa.

No que se refere à textura do sabão, notou-se uma solidez na sua estrutura, fazendo com que o mesmo não fosse líquido. Contudo, a textura do sabão final do sabão produzido é levemente macia, tornando fácil o manuseio no cotidiano. A cor do sabão final ficou em um tom amarelo claro, o que pode ser atribuído ao óleo de cozinha utilizado e à farinha de milho. Não foram adicionados corantes ou essências artificiais, mantendo o sabão com uma aparência ecológica. A capacidade de formação de espuma foi satisfatória, principalmente pela adição do detergente de coco, que melhorou a eficiência do sabão na remoção de gorduras e impurezas.

Em relação à solubilidade, o sabão não apresentou dissolução excessiva ao entrar em contato com a água, fator importante para aumentar sua durabilidade e eficiência durante o uso. Isso se deve à proporção adequada entre óleo, água e soda cáustica, além do tempo de cura, que permitiu a secagem completa.

Quanto aos impactos ambientais, a produção do sabão se mostrou uma solução sustentável, evitando o descarte inadequado do óleo de cozinha usado, que poderia contaminar corpos hídricos ou solo. O reaproveitamento de 2 litros de óleo na fabricação do sabão evitou a possível contaminação de aproximadamente 50 mil litros de água, considerando que apenas 1 litro de óleo pode poluir até 25 mil litros de água (SOUZA, 2023). Essa prática promove não apenas a preservação ambiental, mas também incentiva o consumo consciente e a economia circular.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das discussões apresentadas, este estudo evidenciou o processo de produção do sabão, incluindo a compreensão envolvendo a reação de saponificação que consiste na hidrólise básica de lipídeos, mais precisamente triglicerídeos, mediante a adição de uma base forte. Os resultados obtidos demonstram que o sabão sustentável se mostrou uma alternativa viável, contribuindo para a redução do impacto ambiental. Além disso, a análise realizada permitiu compreender o conhecimento científico e experimental observando os resultados e análise das propriedades do produto final e conceitos químicos. Apesar das contribuições, é importante destacar algumas limitações, como falta de equipamentos laboratoriais adequados para obter a mistura do sabão. Dessa forma, pesquisas futuras podem contribuir para o desenvolvimento de novas receitas de sabão, bem como formas de aperfeiçoar o reaproveitamento de óleo saturado e contribuir com o desenvolvimento de novos produtos de limpeza ecológicos, visando a redução do descarte inadequado do óleo.

7. REFERÊNCIAS

BARROS, Cleber. Saponificação: domine essa reação e fature com esse processo criando barras de limpeza incríveis. **Cleber Barros**, 2022. Disponível em: [https://www.cleberbarros.com.br/saponificacao/#:~:text=A%20saponificação%20é%20a%20principal,de%20ácidos%20graxos%20\(sabão\)](https://www.cleberbarros.com.br/saponificacao/#:~:text=A%20saponificação%20é%20a%20principal,de%20ácidos%20graxos%20(sabão).). Acesso em: 06 fev. 2025.

CETESB (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Hidróxido de Sódio**, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Hidróxido-de-Sódio.pdf>. Acesso em 21 fev. 2025.

HALL, Norman. *Implications of Soap Structure for Formulation and User Properties*. In: *Soap Manufacturing Technology*. AOCS Press, 2016. p. 1-33.

NOVAES, Patricia Calixto; MACHADO, Alexandre Magno Batista; LACERDA, Fábio Vieira. **Consumo e Descarte do Óleo Comestível em um Município do sul de Minas Gerais/Consumption and Disposal of Edible Oil in a city of Southern Minas Gerais**. REVISTA CIÊNCIAS EM SAÚDE, v. 4, n. 3, 2014. Disponível em: https://portalrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit_zero/article/view/225/195. Acesso em: 11 fev. 2025.

PRIETO VIDAL, Natalia et al. The effects of cold saponification on the unsaponified fatty acid composition and sensory perception of commercial natural herbal soaps. Molecules, v. 23, n. 9, p. 2356, 2018.

RATHOD, Ravi. Ingredient Spotlight: Oils Used in the Soap Making Process. **Stephenson**, 2016. Disponível em: <https://www.stephensonpersonalcare.com/blog/2016-09-29-ingredient-spotlight-oils-used-in-the-soap-making-process>. Acesso em: 06 fev. 2025.

SOUZA, Edson. **Como descartar óleo? Cestos de Lixo e Lixeiras**. 28 jun. 2023. Disponível em: <https://cestosdelixoelixeiras.com.br/blog-lixeriras/como-descartar-oleo>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CAPÍTULO 13

A COMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA REDUÇÃO DO USO DE AGENTES QUÍMICOS NA AGRICULTURA FAMILIAR

Adriano Batista da Silva
Claudinei José Peixoto Lucas
Gabriella Junqueira Augusto Viana
Joyce Camille Henrique Brandão
Magno Brito de Souza
Maria Luiza Costa Porto

Resumo: A compostagem apresenta-se como uma alternativa relevante para minimizar a dependência de fertilizantes químicos na agricultura familiar, promovendo, ao mesmo tempo, a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes. O uso excessivo de insumos sintéticos pode resultar na degradação da qualidade do solo, na contaminação de recursos hídricos e na elevação de custos de produção, principalmente para os pequenos agricultores, que enfrentam dificuldades financeiras para adquirir esses produtos. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar como a compostagem pode contribuir para a redução do uso de fertilizantes químicos na agricultura familiar, considerando tanto seus impactos na fertilidade do solo quanto os desafios específicos para sua implementação, assim como o papel das políticas públicas no incentivo ao uso dessa prática. Com essa perspectiva, foi realizado um levantamento da literatura científica, a partir de uma revisão narrativa estruturada, considerando artigos revisados por pares, publicados nos últimos cinco anos, em português, inglês e espanhol, e de acesso aberto. Os dados extraídos foram categorizados e comparados para destacar tanto as vantagens quanto as dificuldades envolvidas na adoção da compostagem. Os resultados indicaram que o uso de composto fortalece a estrutura do solo, eleva a retenção de água, proporciona a liberação gradual de nutrientes, fortalece a biodiversidade microbiana e fortalece a recuperação de solos degradados. Entretanto, a falta de assistência técnica, de recursos específicos e de apoio institucional limita a adoção da compostagem pelos pequenos agricultores. Políticas públicas de incentivo, como capacitação, subsídios e certificação de produtos orgânicos, vêm sendo apontadas como estratégias eficientes para apoiar essa transição, ampliando o uso da compostagem e contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Agricultura Familiar. Compostagem. Fertilizantes Químicos. Alternativa Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é essencial para a produção de alimentos, mas sua dependência de fertilizantes químicos tem gerado impactos ambientais e econômicos. Embora estes insumos contribuam para a produtividade, seu uso excessivo pode levar à acidificação do solo, à redução da biodiversidade microbiana e à contaminação da água por lixiviação de nutrientes (Jin *et al.*, 2022). Além disso, o alto custo dos fertilizantes sintéticos torna os agricultores mais vulneráveis às oscilações do mercado, dificultando a manutenção da atividade agrícola (Wang *et al.*, 2022).

A fertilização intensiva, sem manejo adequado, pode comprometer a qualidade do solo, reduzindo sua matéria orgânica e prejudicando a absorção de nutrientes pelas plantas (Jin *et al.*, 2022). Também pode contribuir para a eutrofização de corpos d'água, agravando problemas ambientais em ecossistemas aquáticos (Jin *et al.*, 2022). No contexto da agricultura familiar, esses fatores evidenciam a necessidade de alternativas que minimizem a dependência de insumos sintéticos.

A compostagem tem sido estudada como uma solução viável, pois melhora a fertilidade do solo, favorece a atividade microbiana e reduz os impactos da adubação química (Wang *et al.*, 2022). O uso de fertilizantes orgânicos derivados desse processo pode substituir parcialmente os fertilizantes sintéticos, contribuindo para a manutenção da produtividade e a redução da contaminação ambiental (Jin *et al.*, 2022). Além disso, o manejo sustentável dos solos por meio da compostagem pode otimizar a absorção de nutrientes pelas plantas, reduzindo a necessidade de insumos externos (Wang *et al.*, 2022). Diante desse cenário, a adoção da compostagem na agricultura familiar pode ser uma estratégia para reduzir custos e minimizar os impactos ambientais associados à adubação química.

Os fertilizantes químicos têm sido amplamente utilizados para aumentar a produtividade agrícola, fornecendo nutrientes essenciais às culturas e acelerando seu ciclo de crescimento (Mendonça, 2023). Essa estratégia tem permitido ganhos na produção de alimentos, mas sua aplicação contínua e sem manejo adequado tem levantado preocupações sobre os impactos no solo e no meio ambiente (Jin *et al.*, 2022). A dependência desses insumos pode comprometer a estrutura e

a biodiversidade microbiana do solo, reduzindo sua fertilidade ao longo do tempo (Wang *et al.*, 2022). Além disso, o uso excessivo pode gerar a lixiviação de nutrientes, contaminando lençóis freáticos e contribuindo para a eutrofização de corpos d'água, afetando assim, a biodiversidade aquática e a qualidade da água para consumo humano (Wang *et al.*, 2022).

O manejo inadequado desses fertilizantes também pode resultar na acidificação do solo, na perda de matéria orgânica e na redução da eficiência da absorção de nutrientes pelas plantas, o que, paradoxalmente, impacta a própria produtividade agrícola (Jin *et al.*, 2022; Mendonça, 2023). Esses efeitos se tornam ainda mais preocupantes na agricultura familiar, na qual o custo elevado dos fertilizantes sintéticos pode comprometer a viabilidade econômica da produção. Pequenos produtores enfrentam dificuldades para arcar com os custos crescentes desses insumos, tornando sua atividade mais vulnerável a oscilações do mercado e reduzindo sua autonomia produtiva (Jin *et al.*, 2022).

Diante desses desafios, cresce o interesse por alternativas que reduzam a dependência de insumos químicos e garantam a manutenção da fertilidade do solo sem comprometer a produtividade. A compostagem tem sido apontada como uma solução viável para pequenos agricultores, pois permite a reciclagem de resíduos orgânicos, melhora a estrutura do solo e reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos (Jin *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022). Além de manter a fertilidade, essa prática pode melhorar a retenção de umidade e favorecer um crescimento mais equilibrado das plantas, tornando-se uma estratégia compatível com a realidade da agricultura familiar (Mendonça, 2023). A substituição parcial dos fertilizantes químicos por compostos orgânicos tem demonstrado ser eficiente na redução dos custos de produção e na melhoria da qualidade ambiental (Wang *et al.*, 2022). Essas evidências reforçam a importância de investigar alternativas como a compostagem, visando garantir uma produção agrícola mais equilibrada e menos dependente de insumos externos.

A compostagem é um processo biológico no qual microrganismos, como bactérias e fungos, decompõem a matéria orgânica, resultando em um composto rico em nutrientes e estável para uso agrícola (Zhang *et al.*, 2022). Esse processo ocorre em três fases: a inicial, na qual a decomposição se inicia sob temperaturas moderadas; a fase termofílica, caracterizada por intensa atividade microbiana e

aumento da temperatura; e a fase de maturação, onde o material atinge estabilidade e se torna seguro para aplicação no solo (Zhang *et al.*, 2022).

Além da decomposição da matéria orgânica, a compostagem envolve transformações químicas e biológicas que reduzem a presença de patógenos e substâncias tóxicas, tornando o resíduo orgânico mais seguro para a agricultura e promovendo melhorias na estrutura física e química do solo (Li *et al.*, 2020).

Essa prática permite o reaproveitamento de resíduos agrícolas, como restos de culturas, esterco e resíduos agroindustriais, reduzindo a necessidade de insumos externos e promovendo a reciclagem de nutrientes (Xu *et al.*, 2022). Além disso, a compostagem melhora a qualidade do solo ao aumentar sua matéria orgânica, favorecer a retenção de água e fornecer nutrientes essenciais às plantas (Tang *et al.*, 2021). Os compostos orgânicos resultantes desse processo também auxiliam na estruturação do solo, aumentando sua porosidade e reduzindo a compactação, o que favorece o crescimento das plantas (Liu *et al.*, 2019).

Comparada aos fertilizantes sintéticos, a compostagem apresenta vantagens ao liberar nutrientes de forma gradual, evitando perdas por lixiviação e minimizando os impactos ambientais (Xu *et al.*, 2022). Além disso, o composto orgânico estimula a atividade da microbiota do solo, promovendo interações biológicas que auxiliam na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes (Tang *et al.*, 2021). Essa intensificação da atividade microbiana contribui para a redução da necessidade de fertilizantes químicos, tornando a agricultura mais equilibrada e economicamente acessível para pequenos produtores (Liu *et al.*, 2019). Diante desses benefícios, a compostagem se apresenta como uma alternativa viável para melhorar a fertilidade do solo, reduzir a dependência de insumos sintéticos e fortalecer práticas agrícolas mais sustentáveis.

A adoção da compostagem na agricultura familiar enfrenta desafios que vão desde a falta de conhecimento técnico até a necessidade de infraestrutura específica para o processamento dos resíduos orgânicos. Muitos pequenos agricultores desconhecem os benefícios dessa prática e continuam a depender de fertilizantes químicos, que oferecem uma resposta mais rápida na nutrição das plantas (Jin *et al.*, 2022). Além disso, a compostagem exige tempo para maturação do composto, o que pode ser um fator limitante para produtores que buscam resultados

imediatos (Wang *et al.*, 2022). Outro obstáculo envolve o investimento inicial em estruturas como pátios de compostagem, reviradores mecânicos e coberturas para controle da umidade, o que pode representar um custo elevado para agricultores de baixa renda (Zhang *et al.*, 2022).

Apesar desses desafios, experiências bem-sucedidas demonstram que a compostagem pode reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos sem comprometer a produtividade.

Estudos realizados na China indicam que a aplicação de compostagem na produção de hortaliças permitiu reduzir em 30% o uso de fertilizantes químicos, mantendo os mesmos níveis de rendimento (Li *et al.*, 2021). Da mesma forma, agricultores do sudeste asiático relataram melhorias na fertilidade do solo e no rendimento das colheitas após a adoção dessa prática, evidenciando sua viabilidade econômica e ambiental (Xu *et al.*, 2021).

No Brasil, projetos agroecológicos demonstraram que a compostagem contribui para a redução da dependência de fertilizantes importados e melhora a qualidade dos alimentos produzidos (Tang *et al.*, 2022). Para ampliar o uso da compostagem na agricultura familiar, políticas públicas e incentivos governamentais desempenham um papel fundamental. Programas de assistência técnica e subsídios para a aquisição de equipamentos podem facilitar a adoção dessa prática entre pequenos produtores (Wang *et al.*, 2022).

Em alguns países, estratégias agrícolas sustentáveis já incentivam a substituição dos fertilizantes sintéticos pelos orgânicos, como ocorre na União Europeia, onde políticas voltadas para a melhoria da qualidade do solo buscam reduzir impactos ambientais (Zhang *et al.*, 2022). Além da contribuição ambiental, a valorização da compostagem na formulação de políticas públicas pode fortalecer a resiliência dos sistemas agrícolas familiares, reduzindo a poluição gerada pelo descarte inadequado de resíduos e promovendo ganhos econômicos para os produtores (Li *et al.*, 2021).

A utilização excessiva de fertilizantes químicos na agricultura tem gerado impactos ambientais que afetam a qualidade do solo e dos recursos hídricos, tornando necessária a busca por alternativas que permitam a manutenção da produtividade agrícola sem comprometer o equilíbrio ambiental (Jin *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a compostagem surge como uma estratégia viável para reduzir a dependência de insumos químicos na agricultura familiar, promovendo um manejo mais sustentável e econômico (Xu *et al.*, 2021). Além de fornecer nutrientes de maneira gradual, essa técnica melhora a microbiota do solo e possibilita o aproveitamento de resíduos orgânicos, reduzindo custos para os produtores e os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de materiais orgânicos (Xu *et al.*, 2021). Estudos demonstram que a substituição parcial ou total dos fertilizantes sintéticos pelo composto orgânico pode contribuir para a fertilidade do solo a longo prazo e diminuir a necessidade de insumos químicos, o que favorece pequenos produtores que enfrentam dificuldades financeiras para adquiri-los (Tang *et al.*, 2022).

Assim, compreender os benefícios e desafios da compostagem é essencial para avaliar sua viabilidade como alternativa sustentável na agricultura familiar, possibilitando a formulação de políticas públicas e estratégias de incentivo que tornem essa prática mais acessível e eficiente (Zhang *et al.*, 2022). Embora a compostagem apresente desafios técnicos e operacionais, suas vantagens superam os obstáculos quando aplicada corretamente, permitindo adaptações a diferentes contextos produtivos (Li *et al.*, 2021). Diante da crescente preocupação com a sustentabilidade agrícola, este estudo busca fornecer subsídios para ampliar a compreensão sobre o uso da compostagem como alternativa aos fertilizantes químicos, analisando seus impactos ambientais, agronômicos e econômicos. A disseminação do conhecimento sobre essa prática é um fator determinante para sua adoção em maior escala, garantindo que os agricultores tenham acesso a informações técnicas e suporte adequado (Jin *et al.*, 2022). Promover a compostagem como estratégia para reduzir o uso de fertilizantes químicos pode fortalecer sistemas produtivos mais resilientes e menos dependentes de insumos externos (Xu *et al.*, 2021). Assim, ao investigar seus impactos na agricultura familiar, este estudo contribuirá para o desenvolvimento de estratégias que favoreçam sua adoção e incentivem práticas agrícolas mais equilibradas e ambientalmente responsáveis (Tang *et al.*, 2022).

2. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão narrativa estruturada, cujo objetivo é analisar como a compostagem pode contribuir para a redução do uso de fertilizantes químicos na agricultura familiar. A busca por artigos foi realizada nas bases de dados Periódicos CAPES, Elsevier (ScienceDirect, Scopus) e Google Acadêmico, utilizando as palavras-chave agricultura familiar, compostagem, fertilizantes químicos, e alternativa sustentável. Foram utilizados critérios de inclusão para garantir a qualidade dos estudos selecionados. Apenas artigos revisados por pares, publicados nos últimos cinco anos, nos idiomas inglês, português e espanhol, e com acesso aberto foram considerados. Além disso, foram excluídos artigos duplicados, sendo mantida apenas a versão mais completa e recente quando um mesmo estudo foi encontrado em diferentes bases. Também não foram incluídos artigos de opinião ou documentos sem revisão por pares.

Os dados extraídos foram organizados conforme os objetivos do estudo, categorizando as informações em seções temáticas, incluindo fundamentos da compostagem, impactos na fertilidade do solo, desafios técnicos e econômicos, políticas públicas e vantagens e limitações da compostagem. A análise foi baseada na comparação dos achados dos estudos selecionados, destacando convergências e divergências nos resultados.

3. DISCUSSÃO

A compostagem tem sido estudada como uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes químicos na agricultura familiar, proporcionando benefícios tanto para a fertilidade do solo quanto para a sustentabilidade da produção agrícola. Neste capítulo, são apresentados e analisados os principais aspectos relacionados à compostagem, desde seus fundamentos e aplicação na agricultura familiar até os impactos na redução do uso de fertilizantes químicos. Além disso, são discutidos os desafios técnicos e econômicos da implementação dessa prática e o papel das políticas públicas e incentivos na sua disseminação.

A estrutura do capítulo segue uma abordagem organizada, iniciando-se com a caracterização da compostagem e seus processos biológicos, destacando

como essa técnica pode ser aplicada pelos pequenos produtores. Em seguida, são avaliados os efeitos da compostagem na fertilidade do solo, considerando sua influência na retenção de água, na liberação gradual de nutrientes e na regeneração da microbiota do solo. Posteriormente, discute-se a relação entre a compostagem e a redução da dependência de fertilizantes químicos, analisando comparativamente sua eficiência e sustentabilidade em relação aos insumos sintéticos. Os desafios técnicos e econômicos da adoção da compostagem são examinados a partir das dificuldades enfrentadas pelos agricultores, como tempo de maturação, necessidade de infraestrutura e custos de implantação. Por fim, são abordadas as políticas públicas e incentivos que podem favorecer a adoção da compostagem, com base em experiências internacionais e sua possível adaptação para o Brasil.

Dessa forma, a análise dos estudos apresentados permite compreender os benefícios e limitações da compostagem na agricultura familiar, fornecendo subsídios para futuras iniciativas que possam ampliar sua utilização e contribuir para um modelo produtivo mais equilibrado e sustentável.

3.1 Fundamentos da Compostagem e sua Aplicação na Agricultura Familiar

A compostagem é um processo biológico de degradação controlada de resíduos orgânicos, promovido por microrganismos que atuam sob condições aeróbicas. Esse processo transforma a matéria orgânica em um material estabilizado e rico em nutrientes, útil para a fertilização do solo (Tang *et al.*, 2020). A decomposição ocorre em três fases: a fase mesofílica inicial, caracterizada pela atuação de microrganismos que degradam compostos mais simples; a fase termofílica, em que o aumento da temperatura favorece a decomposição da matéria orgânica mais complexa e a eliminação de patógenos; e a fase de maturação, na qual o material estabilizado se transforma em húmus, melhorando sua qualidade agrônoma (Tang *et al.*, 2020).

Diversos fatores interferem na eficiência da compostagem, sendo a proporção adequada de carbono e nitrogênio (C/N), a temperatura, a umidade, a oxigenação e o tempo de maturação os mais relevantes. O controle desses elementos influencia diretamente a atividade microbiana e a qualidade final do composto

orgânico (Wu *et al.*, 2021). Para otimizar esse processo, diferentes métodos de compostagem são empregados. A compostagem em leiras, realizada ao ar livre ou em estruturas cobertas, exige revolvimento periódico para garantir a aeração. A compostagem em pilhas estáticas aeradas utiliza insuflação de ar para reduzir a necessidade de revirar o material, enquanto a compostagem em tambores rotativos emprega equipamentos mecânicos que regulam temperatura e aeração, acelerando a decomposição (Zhang *et al.*, 2022).

A escala da compostagem também influencia sua aplicação e manejo. Em sistemas domésticos, ela ocorre em pequena escala, utilizando resíduos de cozinha e restos de jardim, sendo realizada de maneira simples, sem grandes exigências estruturais. Já a compostagem agrícola envolve volumes maiores de resíduos agropecuários e demanda um controle rigoroso dos parâmetros biológicos e físico-químicos para garantir eficiência e evitar contaminação ambiental (Zahaikevitch *et al.*, 2022).

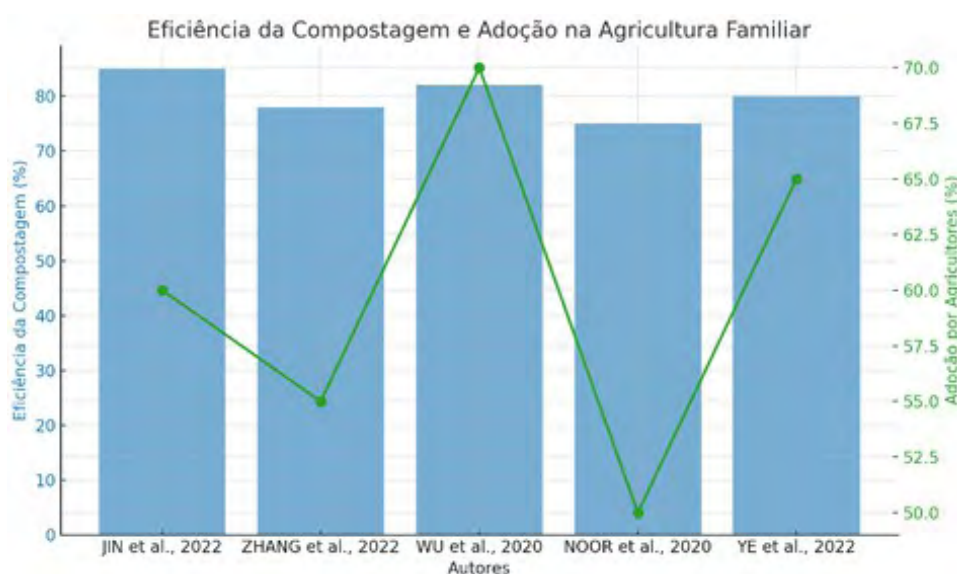
A adoção da compostagem por pequenos agricultores ainda é limitada por diferentes fatores. A falta de acesso a informações técnicas, dificuldades na obtenção de matéria-prima homogênea e o tempo necessário para o processo de maturação estão entre os principais desafios enfrentados pelos produtores rurais (Cavalli *et al.*, 2020). Em muitos casos, o uso de esterco animal como fonte de matéria orgânica ocorre sem tratamento adequado, o que pode resultar na contaminação do solo e da água, comprometendo a sustentabilidade da prática (Cavalli *et al.*, 2020).

Apesar das dificuldades, a compostagem tem sido adotada por alguns agricultores familiares, principalmente quando há incentivos governamentais ou assistência técnica disponível. O uso desse método de manejo sustentável tem sido mais frequente em regiões onde programas de extensão rural oferecem suporte técnico e orientação sobre a aplicação do composto orgânico (Lu *et al.*, 2024). No entanto, sua adoção em larga escala ainda encontra barreiras técnicas e econômicas, exigindo políticas públicas que facilitem a implementação dessa prática.

A comparação entre a compostagem e os fertilizantes sintéticos evidencia as vantagens e desafios de cada método. A compostagem libera nutrientes de forma gradual, melhora a retenção de água no solo e favorece a atividade microbiana, enquanto os fertilizantes químicos proporcionam uma nutrição mais imediata

para as plantas, mas podem acidificar o solo e causar lixiviação de nutrientes (Da Silva *et al.*, 2024). Embora os fertilizantes sintéticos acelerem o crescimento das culturas, seu uso contínuo pode comprometer a estrutura e a qualidade do solo, além de contribuir para a poluição de corpos d'água por nitratos (Jin *et al.*, 2022). Por outro lado, a compostagem promove a conservação do solo e o aumento da biodiversidade microbiana, favorecendo um manejo agrícola mais sustentável e equilibrado.

Figura 1 – Eficiência da compostagem e Adoção na Agricultura Familiar



Fonte: Elaboração própria, adaptado de JIN *et al.* (2022), ZHANG *et al.* (2022), WU *et al.* (2020), NOOR *et al.* (2020) e YE *et al.* (2022).

Os dados analisados demonstram que, apesar dos benefícios da compostagem na melhoria da fertilidade do solo e na retenção de nutrientes, sua adoção entre agricultores familiares ainda enfrenta desafios. Como indicado na Figura 1, há uma variação considerável na aceitação dessa prática, mesmo em contextos onde sua eficiência é comprovada. Estudos como os de Jin *et al.* (2022) e Wu *et al.* (2020) apontam altos índices de eficiência da compostagem, mas revelam diferenças na adoção pelos produtores, o que pode estar relacionado à disponibilidade de infraestrutura e suporte técnico.

Pesquisas como as de Zhang *et al.* (2022) e Noor *et al.* (2020) evidenciam que, em regiões onde há falta de assistência técnica e incentivos financeiros, a adoção da compostagem tende a ser reduzida, mesmo quando seus benefícios são bem estabelecidos. Isso reforça a necessidade de políticas públicas que promo-

vam capacitação e fornecimento de recursos para que os agricultores familiares possam implementar essa prática de forma viável e contínua.

Por outro lado, conforme destacado no gráfico, o estudo de Ye *et al.* (2022) indica uma relação mais equilibrada entre eficiência e adoção, o que pode estar associado a iniciativas locais de incentivo à compostagem. Essa tendência sugere que, com investimentos adequados, é possível ampliar o uso dessa técnica, tornando-a uma alternativa mais acessível para pequenos produtores.

O gráfico demonstra, portanto, que a compostagem apresenta benefícios concretos para a agricultura familiar, mas sua implementação ainda é condicionada a fatores externos, como infraestrutura, apoio técnico e acesso a materiais necessários para sua execução. Assim, estratégias que incentivem a formação de redes de compostagem e o apoio a pequenos produtores podem favorecer uma maior adesão à prática, promovendo um modelo de agricultura mais equilibrado e sustentável.

3.2 Efeitos da Compostagem na Fertilidade do Solo

A compostagem desempenha um papel importante na melhoria da estrutura do solo, influenciando diretamente sua capacidade de retenção de água e disponibilidade de nutrientes para as plantas. A adição de compostos orgânicos ao solo reduz a compactação e melhora a infiltração da água, permitindo maior manutenção da umidade em solos cultivados (Noor *et al.*, 2020). Além disso, a presença de matéria orgânica contribui para a formação de agregados estáveis, tornando o solo mais poroso e favorecendo o crescimento das raízes (Wu *et al.*, 2020).

Outro benefício da compostagem está relacionado à liberação gradual de nutrientes, que ocorre à medida que a matéria orgânica se decompõe. Diferentemente dos fertilizantes químicos, que disponibilizam nutrientes de forma imediata e podem resultar em perdas por lixiviação, os compostos orgânicos fornecem os elementos essenciais de maneira mais equilibrada, prevenindo o esgotamento do solo e reduzindo a necessidade de adubação frequente (Zhang *et al.*, 2022).

Dessa forma, a compostagem melhora a retenção de água, aumenta a matéria orgânica e promove um fornecimento contínuo de nutrientes, fatores essen-

ciais para a manutenção da fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção agrícola.

A biodiversidade microbiana do solo é favorecida pela compostagem, o que contribui para o equilíbrio ecológico e a regeneração da fertilidade. A decomposição da matéria orgânica estimula o desenvolvimento de microrganismos benéficos, que desempenham funções essenciais na ciclagem de nutrientes e na redução da presença de patógenos (Ye *et al.*, 2022). Essa atividade microbiana promove a decomposição eficiente dos resíduos orgânicos, disponibilizando minerais essenciais para as plantas e melhorando a qualidade do solo (Zhaikevitch *et al.*, 2022).

Além de estimular a diversidade biológica, a compostagem pode acelerar a recuperação de solos degradados, tornando-os novamente produtivos. A associação entre matéria orgânica compostada e microrganismos específicos, tem demonstrado potencial para restaurar solos empobrecidos sem a necessidade de fertilizantes sintéticos em larga escala (Mendonça, 2023). Com isso, a compostagem não apenas fornece nutrientes essenciais às plantas, mas também contribui para a manutenção da vida microbiana do solo, promovendo um ambiente mais equilibrado e resiliente para a produção agrícola.

3.3 Impacto da Compostagem na Redução do uso de Fertilizantes Químicos

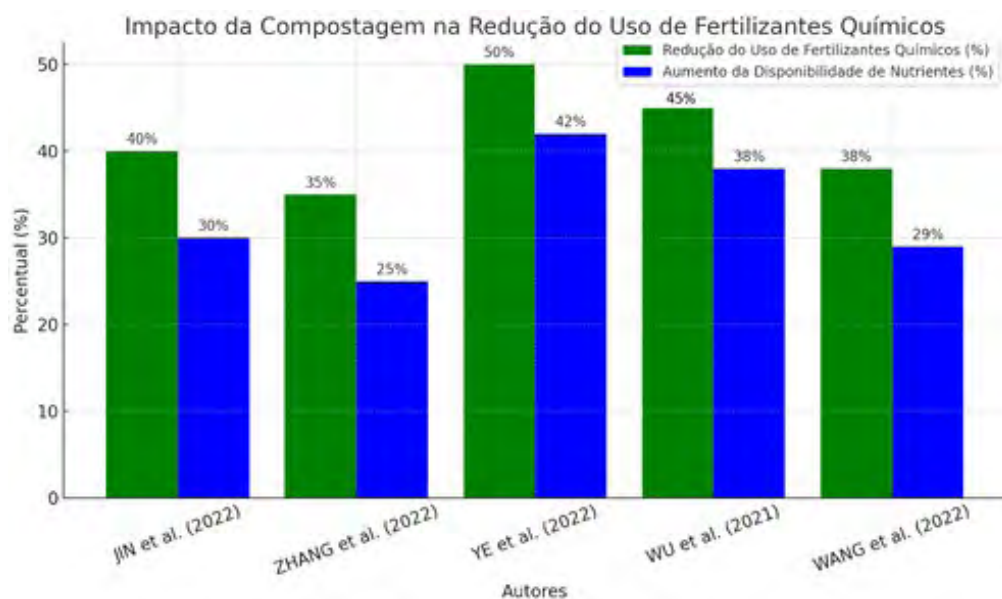
A compostagem e os fertilizantes sintéticos apresentam diferenças na disponibilidade de nutrientes e nos impactos sobre a fertilidade do solo. Os fertilizantes químicos liberam nutrientes de forma imediata, permitindo uma absorção rápida pelas plantas, mas essa característica também favorece perdas por lixiviação, resultando em menor eficiência no aproveitamento dos elementos essenciais (Jin *et al.*, 2022). Em contrapartida, a compostagem promove uma liberação gradual dos nutrientes, garantindo uma nutrição contínua para as plantas e reduzindo a necessidade de reaplicações frequentes (Lu *et al.*, 2024).

Além da disponibilidade de nutrientes, a sustentabilidade do solo a longo prazo também é influenciada pelo tipo de fertilização utilizada. O uso contínuo de fertilizantes sintéticos pode afetar a microbiota do solo, reduzindo sua bio-

diversidade e comprometendo sua fertilidade ao longo do tempo (Wang *et al.*, 2022). Já a compostagem contribui para a preservação da qualidade biológica do solo, fornecendo matéria orgânica que estimula a atividade microbiana e favorece um ambiente mais equilibrado para o desenvolvimento das plantas (Wang *et al.*, 2022). Dessa forma, a compostagem não apenas fornece nutrientes de maneira eficiente, mas também auxilia na manutenção da estrutura e da qualidade do solo, promovendo benefícios que vão além da nutrição imediata das culturas.

A utilização da compostagem tem demonstrado potencial para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, tornando a produção agrícola mais autônoma e econômica. Em algumas experiências relatadas, agricultores familiares conseguiram reduzir em até 40% o uso de fertilizantes sintéticos ao adotar a compostagem como prática regular, diminuindo os custos de produção sem comprometer a produtividade das lavouras (Tang *et al.*, 2020). Essa redução no uso de insumos externos é especialmente relevante em regiões onde os fertilizantes químicos possuem um custo elevado, limitando o acesso de pequenos produtores a esses insumos (Da Silva *et al.*, 2024).

Além do impacto econômico, a compostagem também contribui para a resiliência das culturas. A aplicação contínua de matéria orgânica no solo melhora sua estrutura e capacidade de retenção de água, o que torna as plantas mais tolerantes a variações climáticas e condições adversas (Zahaikevitch *et al.*, 2022). Isso sugere que, além da economia gerada pela menor necessidade de fertilizantes químicos, a compostagem pode proporcionar maior estabilidade produtiva a longo prazo. Assim, o uso dessa técnica não apenas reduz a dependência de insumos externos, mas também fortalece a sustentabilidade da produção agrícola, beneficiando tanto o solo quanto os agricultores familiares.

Figura 2 – Impacto da Compostagem na Redução do Uso de Fertilizantes Químicos

Fonte: Elaboração própria, adaptado de JIN et al. (2022), ZHANG et al. (2022), YE et al. (2022), WU et al. (2021) e WANG et al. (2022).

Os dados apresentados na Figura 2 reforçam as evidências discutidas sobre os impactos da compostagem na redução da dependência de fertilizantes químicos e na melhoria da fertilidade do solo. A redução percentual do uso de fertilizantes sintéticos varia entre os estudos analisados, com valores que vão de 35% a 50%, indicando que a adoção da compostagem pode minimizar a necessidade desses insumos. O estudo de Ye *et al.* (2022) apresenta o maior índice de redução, evidenciando que a compostagem, quando aplicada de forma adequada, pode substituir uma parcela significativa dos fertilizantes químicos.

Além da redução no uso de insumos sintéticos, o gráfico demonstra que a compostagem também contribui para a disponibilidade gradual de nutrientes no solo, com percentuais de aumento que variam entre 25% e 42%, dependendo do estudo. Essa melhoria na fertilidade está associada ao enriquecimento da matéria orgânica e ao aumento da retenção de nutrientes, fatores que favorecem o desenvolvimento das culturas sem a necessidade de reposições constantes.

Os dados indicam que, embora os fertilizantes químicos forneçam uma nutrição rápida para as plantas, sua substituição parcial pela compostagem pode oferecer benefícios de longo prazo, promovendo um solo mais equilibrado e produtivo. A adoção dessa prática ainda enfrenta desafios estruturais e técnicos, mas

os resultados observados nos diferentes estudos sugerem que, com incentivos adequados, a compostagem pode se consolidar como uma alternativa viável para a redução do uso de fertilizantes sintéticos na agricultura familiar.

3.4 Desafios Técnicos e Econômicos da Implementação da Compostagem na Agricultura Familiar

A implementação da compostagem na agricultura familiar enfrenta desafios técnicos e estruturais que podem dificultar sua adoção em larga escala. Um dos principais entraves está relacionado ao tempo necessário para a maturação do composto, que pode variar conforme os insumos utilizados e as condições ambientais. Em alguns casos, esse período pode se estender por vários meses, tornando-se uma limitação para agricultores que necessitam de fertilização rápida para garantir a produtividade de suas culturas (Cavalli *et al.*, 2020).

Além do tempo de maturação, a infraestrutura necessária para a produção e o manejo adequado do composto representa outra barreira significativa. A falta de espaço adequado e de equipamentos específicos, como estruturas para controle de umidade e aeração, dificulta a realização da compostagem de maneira eficiente por pequenos produtores (Zhang *et al.*, 2022). O manejo do composto exige um controle rigoroso da umidade, temperatura e oxigenação para garantir um processo eficiente, fatores que requerem conhecimento técnico por parte dos agricultores. A ausência de capacitação sobre essas práticas pode resultar em um composto de baixa qualidade e na perda de seu potencial agrônomo (Noor *et al.*, 2020).

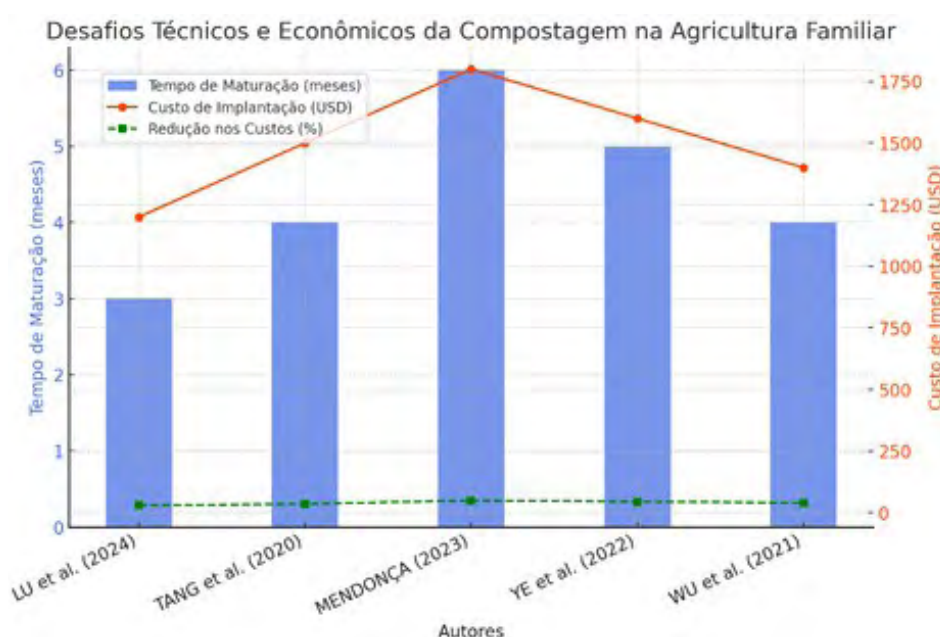
Embora a compostagem apresente desafios técnicos, sua viabilidade econômica pode representar uma alternativa atrativa para pequenos produtores. Apesar da necessidade de investimento inicial em infraestrutura e capacitação, o custo a longo prazo tende a ser inferior ao da compra contínua de fertilizantes químicos, tornando a prática economicamente viável (Ye *et al.*, 2022).

Além da redução de custos, a comercialização do composto orgânico pode proporcionar uma fonte de renda adicional para os produtores. O composto pode ser vendido como insumo agrícola para outros agricultores ou utilizado como moeda de troca em comunidades rurais, aumentando a autonomia dos produtores

no acesso a fertilizantes (Wu *et al.*, 2021). Em algumas experiências, a adoção da compostagem permitiu uma redução de até 60% nos gastos com fertilizantes químicos, o que contribuiu para tornar a produção mais sustentável e financeiramente equilibrada (Zhai *et al.*, 2024).

Esses aspectos evidenciam que, apesar das barreiras técnicas e estruturais, a compostagem pode representar um modelo de fertilização viável para pequenos produtores, especialmente quando há suporte para capacitação e incentivos que viabilizem a adaptação da técnica às realidades locais.

Figura 3 – Desafios Técnicos e Econômicos da Compostagem na Agricultura Familiar



Fonte: Elaboração própria, adaptado de LU et al. (2024), TANG et al. (2020), MENDONÇA (2023), YE et al. (2022) e WU et al. (2021).

Os dados apresentados Na figura 3 destacam os desafios técnicos e econômicos envolvidos na implementação da compostagem na agricultura familiar. O tempo médio de maturação do composto, representado pela primeira barra, varia entre os estudos analisados, evidenciando que essa etapa pode ser um fator limitante para pequenos produtores que necessitam de insumos de rápida disponibilidade para suas culturas. O estudo de Mendonça (2023) aponta um tempo de maturação mais longo, o que pode dificultar sua adoção em sistemas produtivos que demandam adubação contínua. Em contrapartida, estudos como o de Lu *et al.* (2024) indicam períodos menores de maturação, o que sugere que ajustes no manejo e na escolha dos insumos podem influenciar a velocidade do processo.

O custo médio de implantação da compostagem, indicado na segunda barra do gráfico, reflete a necessidade de investimentos iniciais em infraestrutura, como áreas para o processamento do material orgânico e equipamentos para seu manejo. Os dados mostram que esses custos variam entre os estudos, sendo mais elevados em contextos onde há necessidade de maior controle sobre fatores como umidade e temperatura. O estudo de Ye *et al.* (2022) apresenta um custo de implantação mais elevado, enquanto Wu *et al.* (2021) aponta um valor menor, o que pode estar relacionado ao nível de mecanização e à disponibilidade de recursos locais para a implementação da técnica.

Por outro lado, a terceira barra do gráfico demonstra que, apesar do investimento inicial necessário, a compostagem pode proporcionar uma redução expressiva nos custos com fertilizantes químicos. Os dados analisados mostram que essa economia pode variar, mas todos os estudos indicam um impacto positivo na viabilidade econômica dos pequenos produtores. A pesquisa de Zhai *et al.* (2024) destaca uma redução de até 60% nos custos com fertilizantes sintéticos, reforçando que, a longo prazo, a compostagem pode representar uma alternativa financeiramente vantajosa.

Dessa forma, a análise dos desafios técnicos e econômicos indica que, embora a compostagem exija planejamento e investimento inicial, seus benefícios econômicos e ambientais podem compensar esses custos ao longo do tempo. A adoção dessa prática pode ser facilitada com estratégias que reduzam barreiras estruturais, como programas de capacitação e incentivos financeiros para pequenos produtores.

3.5 Políticas Públicas e Incentivos à Compostagem na Agricultura Familiar

A implementação da compostagem na agricultura familiar tem sido impulsionada por políticas públicas e programas de incentivo, mas sua efetividade depende de fatores como capacitação técnica e acesso a financiamentos. Algumas iniciativas governamentais buscam promover a compostagem como alternativa sustentável, mas sua adoção pelos pequenos produtores está condicionada à disponibilidade de treinamento técnico e à inclusão da prática em programas de crédito agrícola (Da Silva *et al.*, 2024).

Um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores é a falta de assistência técnica para o manejo adequado da compostagem. A ausência de programas de capacitação pode dificultar a adoção dessa prática, comprometendo sua eficácia na substituição de fertilizantes químicos. Estudos recomendam a ampliação de programas de extensão rural voltados ao ensino do manejo de resíduos orgânicos, visando tornar a compostagem uma alternativa viável para os pequenos produtores (Tang *et al.*, 2020).

Além da assistência técnica, incentivos financeiros podem estimular a adesão à compostagem. Iniciativas como subsídios diretos e incentivos fiscais têm sido apontadas como estratégias que aumentam o interesse dos produtores pela prática. Quando associadas a programas de certificação de produtos orgânicos, essas políticas podem agregar valor à produção e ampliar o mercado para agricultores que adotam fertilizantes orgânicos em substituição aos sintéticos (Lu *et al.*, 2024).

A adoção de políticas públicas voltadas à compostagem em outros países tem demonstrado resultados positivos, sugerindo caminhos para adaptações na realidade brasileira. Em países como França e Alemanha, foram implementados subsídios diretos para a infraestrutura de compostagem, além de incentivos fiscais para produtores que adotam a adubação orgânica. Essas estratégias permitem a ampliação do uso de compostos orgânicos e poderiam ser ajustadas para o contexto brasileiro, onde o alto custo de implementação ainda é um obstáculo para pequenos produtores (Zahaikevitch *et al.*, 2022).

Na China, a compostagem tem sido promovida como parte de políticas de segurança alimentar e agroecologia, sendo integrada a programas de manejo sustentável do solo. Essa abordagem tem reduzido a dependência de fertilizantes químicos e minimizado impactos ambientais, demonstrando o potencial da compostagem como ferramenta para a transição para sistemas produtivos mais equilibrados (Jin *et al.*, 2022).

Nos Estados Unidos, os incentivos à compostagem incluem programas de extensão rural combinados com incentivos financeiros para agricultores que adotam práticas regenerativas. Essa estratégia tem se mostrado eficaz para estimular a adoção de práticas sustentáveis no setor agrícola. Estudos sugerem que o Brasil poderia seguir modelo semelhante, promovendo a compostagem dentro de uma

política mais ampla de transição agroecológica e produção sustentável de alimentos (Wang *et al.*, 2022).

A análise das experiências internacionais reforça que a adoção da compostagem pode ser incentivada por meio de políticas estruturadas que combinem capacitação técnica, financiamento acessível e incentivos diretos. A adaptação dessas estratégias à realidade brasileira pode facilitar a implementação da compostagem na agricultura familiar, tornando-a uma alternativa economicamente viável e ambientalmente benéfica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou como a compostagem pode contribuir para a redução do uso de fertilizantes químicos na agricultura familiar, considerando seus impactos na fertilidade do solo, seus desafios técnicos e econômicos e o papel das políticas públicas na sua disseminação. Os resultados evidenciam que a compostagem pode ser uma alternativa viável para pequenos produtores, promovendo a melhoria da estrutura do solo, a retenção de nutrientes e a redução da dependência de insumos sintéticos. No entanto, sua implementação ainda enfrenta desafios estruturais, técnicos e econômicos que limitam sua adoção em larga escala.

A análise dos estudos demonstrou que a compostagem contribui para o aumento da matéria orgânica do solo, melhora sua capacidade de retenção de água e disponibiliza nutrientes de forma gradual, evitando perdas por lixiviação e reduzindo a necessidade de fertilização frequente. Além disso, favorece a biodiversidade microbiana e auxilia na regeneração de solos degradados, promovendo um sistema agrícola mais equilibrado. Em comparação com os fertilizantes sintéticos, que oferecem uma absorção imediata de nutrientes, mas podem causar acidificação do solo e impactos ambientais negativos, a compostagem se apresenta como uma alternativa sustentável de longo prazo.

Apesar de seus benefícios, a adoção da compostagem na agricultura familiar ainda é limitada por fatores como a necessidade de infraestrutura específica, o tempo de maturação do composto e a falta de capacitação técnica. Pequenos produtores muitas vezes encontram dificuldades na obtenção de matéria-prima

adequada e na aplicação eficiente do composto orgânico em suas culturas. A análise dos estudos revelou que, em contextos onde há suporte técnico e incentivos financeiros, a compostagem tende a ser mais amplamente adotada. Dessa forma, a implementação de políticas públicas que incentivem a capacitação dos agricultores e forneçam suporte financeiro para infraestrutura pode ampliar o uso dessa prática no setor agrícola.

As experiências internacionais analisadas sugerem que estratégias como subsídios diretos, incentivos fiscais e certificação de produtos orgânicos podem favorecer a adoção da compostagem por pequenos produtores. Modelos bem-sucedidos observados na Europa, na China e nos Estados Unidos indicam que a inclusão da compostagem em programas de transição agroecológica e segurança alimentar pode contribuir para sua disseminação. A adaptação dessas políticas para a realidade brasileira pode representar uma alternativa viável para fortalecer a agricultura familiar e reduzir os impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos.

Este estudo contribui para o debate sobre a compostagem como estratégia de manejo sustentável ao sintetizar os principais desafios e vantagens dessa prática para pequenos produtores. A revisão dos estudos selecionados permitiu identificar convergências e divergências nos achados, proporcionando uma visão abrangente sobre os benefícios e limitações da compostagem na agricultura familiar. Além disso, a pesquisa destaca a importância de investimentos em capacitação técnica e políticas de incentivo para que essa prática possa ser mais amplamente adotada.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a dependência de literatura acadêmica previamente publicada, o que restringe a análise a dados já existentes. Além disso, a ausência de estudos específicos sobre determinadas realidades regionais pode limitar a generalização dos achados para todos os contextos da agricultura familiar. Outra dificuldade encontrada foi a variação nos métodos utilizados pelos estudos analisados, o que pode influenciar a comparabilidade dos resultados.

Além disso, investigações sobre o impacto econômico da compostagem para pequenos produtores podem fornecer dados mais concretos sobre sua viabilidade financeira. Outro campo de pesquisa relevante é a análise da implementa-

ção de políticas públicas voltadas à compostagem, avaliando sua efetividade na disseminação da prática e seus impactos na agricultura familiar.

Dessa forma, a compostagem se apresenta como uma alternativa promissora para a agricultura familiar, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. No entanto, para que sua adoção seja ampliada, é necessário um conjunto de ações que envolvam capacitação técnica, incentivos financeiros e a formulação de políticas públicas que facilitem sua implementação e manutenção.

5. REFERÊNCIAS

CAVALLI, Suzi Barletto et al. **Agricultura familiar em tempos de Covid-19**. Revista de Nutrição, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2020.

DA SILVA, Ana Caroline Coelho Pereira et al. **Diagnóstico e caracterização de um agroecossistema de agricultura familiar localizado no povoado do Capim, Petrolina/PE**. Cadernos de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024.

JIN, Li et al. **Changes in the microbial structure of the root soil and the yield of Chinese baby cabbage by chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer application**. Microbiology spectrum, v. 10, n. 6, p. e01215-22, 2022.

JIN, Ning et al. **Reduced chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizer affects the soil microbial community and yield and quality of lettuce**. Frontiers in Microbiology, v. 13, p. 863325, 2022.

LU, Weidan et al. **Effects of different proportions of organic fertilizer replacing chemical fertilizer on soil nutrients and fertilizer utilization in gray desert soil**. Agronomy, v. 14, n. 1, p. 228, 2024.

MENDONÇA, Lilian Dutra Panetto. **Eficiência e redução no uso de fertilizantes químicos através da associação das bactérias probióticas *Bacillus cereus*, *Succinobacillus dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophylus***. 2023.

NOOR, R. S. et al. **Long-term application effects of organic and chemical fertilizers on soil health and productivity of taramira (*Eruca sativa* L.) under rainfed conditions**. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, v. 30, n. 4, 2020.

TANG, Amelia et al. **Effects of selected functional bacteria on maize growth and nutrient use efficiency**. Microorganisms, v. 8, n. 6, p. 854, 2020.

WANG, Bingshuang et al. **Watermelon responds to organic fertilizer by enhancing root- associated acid phosphatase activity to improve organic phosphorus utilization.** Journal of Plant Physiology, v. 279, p. 153838, 2022.

WU, Linnan et al. Increased organic fertilizer and reduced chemical fertilizer increased fungal diversity and the abundance of beneficial fungi on the grape berry surface in arid areas. Frontiers in microbiology, v. 12, p. 628503, 2021.

WU, Linnan et al. **Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil.** Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 9568, 2020.

YE, Jianghua et al. **Improvement of soil acidification in tea plantations by long-term use of organic fertilizers and its effect on tea yield and quality.** Frontiers in plant science, v. 13, p. 1055900, 2022.

ZAHAIKEVITCH, Everaldo Veres et al. **Contemporary public policies to strengthen family Farming in the International Perspective: A Bibliometric Study.** Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, v. 8, n. 1, p. 8, 2022.

ZHAI, Lichao et al. **Combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer alleviates the kernel position effect in summer maize by promoting post-silking nitrogen uptake and dry matter accumulation.** Journal of Integrative Agriculture, v. 23, n. 4, p. 1179-1194, 2024.

ZHANG, Yarong et al. **Characteristics of greenhouse gas emissions from yellow paddy soils under long-term organic fertilizer application.** Sustainability, v. 14, n. 19, p. 12574, 2022.

CAPÍTULO 14

SUSTENTABILIDADE E CIÊNCIA: O PAPEL DA QUÍMICA NOS COSMÉTICOS ECOLÓGICOS

Gláucia Esperidião
João Vítor Santos
Maria Luiza De Souza Ferraz
Melissa Camargo Figueiredo
Thaissa Borges Martins

Resumo: Este estudo trata da importância da química sustentável na produção de biocosméticos ou cosméticos ecológicos, explorando os desafios enfrentados por essa indústria para adotar práticas de produção responsáveis e uma menor quantidade de produtos considerados sintéticos. A pesquisa também destaca o impacto que os cosméticos tradicionais podem ser prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente como o Triclosan, Triclocarban e Formaldeído. O presente artigo investiga a aplicação de processos biotecnológicos, como a fermentação, na formulação de cosméticos ecológicos que são menos agressivos. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica de artigos científicos, reportagens e textos informativos, com foco nos critérios que definem um cosmético sustentável e como a escolha dos compostos químicos influencia sua produção. O estudo conclui que, embora os cosméticos ecológicos apresentem benefícios significativos, fatores como o alto custo e a influência da mídia dificultam sua popularização. A indústria cosmética deve adotar práticas sustentáveis e inovadoras para equilibrar qualidade, acessibilidade e respeito ao meio ambiente, garantindo um futuro onde beleza e bem-estar não comprometam a saúde do planeta.

Palavras-chave: Química. Cosméticos. Biocosméticos.

1. INTRODUÇÃO

O comércio voltado para a área de cosméticos ocupa uma alta posição no mercado nacional global. A cosmetologia, o ramo da ciência responsável por estudar e desenvolver esses produtos, está presente desde os primórdios da civilização, se originando na pré-história, através dos pigmentos naturais utilizados para pinturas corporais. Ao longo do tempo, este conhecimento evoluiu, transitando

no Egito Antigo, Roma Antiga e demais períodos, até chegar no século XXI onde o uso de cosméticos se encontra em larga escala.

Este estudo busca apresentar como a química sustentável pode ser aplicada na produção de cosméticos ecológicos no Brasil, além de explorar os desafios enfrentados pelas indústrias para adotar essas técnicas de produção e o uso de materiais menos sintéticos. A pesquisa ressalta ainda o papel dos cosméticos naturais na causa para com o planeta, devido à necessidade da adesão de práticas sustentáveis em virtude do agravamento das mudanças climáticas. A presente investigação se baseou em uma revisão bibliográfica com o objetivo de evidenciar os principais critérios que configuram um cosmético sustentável e como a escolha dos compostos químicos afeta a produção dos mesmos.

O estudo se baseia no conceito de cosmético fornecido pela Agência Nacional Vigilância Sanitária (ANVISA) para a realização da coleta de dados, onde o órgão define cosmético como todo produto de uso externo destinado a higiene, proteção, alteração da aparência ou odor do corpo humano, ou ainda para a manutenção ou melhoria do seu estado de saúde ou beleza, sem alterar suas funções biológicas. A elaboração deste artigo se justifica pelo fato da necessidade de um olhar crítico sobre a indústria cosmética, que apesar de estar em um crescimento acelerado, precisa se adaptar a práticas de produção mais sustentáveis, em vista dos desafios ambientais que a sociedade enfrenta.

2. OBJETIVOS

Analisar os possíveis impactos na saúde humana e ambientais causados pelos cosméticos atualmente.

2.1 Objetivos Específicos

- Evidenciar os principais critérios que configuram um cosmético sustentável e como a escolha dos compostos químicos afeta a produção dos mesmos.
- Investigando as possibilidades de produção e consumo de cosméticos sustentáveis.

3. METODOLOGIA

Para a realização desse estudo foi utilizada a abordagem qualitativa, baseada em uma revisão bibliográfica de materiais científicos, artigos e reportagens. Os materiais tiveram como tema principal a relação entre química e a produção de cosméticos ecológicos.

A seleção dos materiais consistiu na busca em sites confiáveis, de marcas brasileiras de cosméticos, artigos acadêmicos e relatórios técnicos, dentre eles podemos citar:

- a) Artigos científicos publicados em periódicos como *Brazilian Journals*, *International Journal of Business Marketing*, além de dissertações e teses disponíveis em repositórios acadêmicos como o da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- b) Matérias jornalísticas e institucionais, como publicações do portal *GI* e do site *Granado*.
- c) Textos informativos sobre cosméticos sustentáveis e ingredientes nocivos, como os encontrados nos portais *Ecycle* e *Cosmetologia do Bem*.

Como critério de inclusão de dados, foram usados materiais dos anos de 2010 a 2025, que abordassem a temática de relação entre química e cosméticos sustentáveis e pesquisas sobre processos químicos utilizados na produção de biocosméticos. Para os critérios de exclusão, foram excluídos artigos sem embasamento científico, materiais que não apresentassem relação direta com o tema e fontes desatualizadas.

4. ANÁLISE DE DADOS

A análise dos artigos foi realizada com base em uma leitura crítica dos textos, identificando os principais aspectos discutidos, como: impacto dos componentes químicos na saúde humana e no meio ambiente, processos químicos utilizados na formulação de cosméticos ecológicos e desafios enfrentados pelo mercado de biocosméticos, além da identificação das substâncias Triclosan, Triclocarban e Formaldeído, geralmente usadas em cosméticos convencionais e que oferecem riscos humanos e ambientais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados seis artigos, que discutiram sobre o papel da química na produção de cosméticos ecológicos e que apresentaram as seguintes palavras chaves: química, cosméticos e biocosméticos.

Dessa maneira, notou-se, a partir da leitura dos artigos, que a química presente nos cosméticos pode desencadear grande entraves na saúde humana, além de promover desequilíbrios no meio ambiente, devido os diversos componentes existentes nesses produtos, como o Triclosan, Triclocarban e Formaldeído. Visto que, esses cosméticos afetam dois pilares fundamentais da saúde única: ambiente e humana. Faz-se necessário soluções, na qual, a produção de cosméticos ecológicos é uma possibilidade.

Conforme o que foi analisado, a química desempenha um papel imprescindível na formação desses produtos sustentáveis, a partir de processos em que utilizam fungos, bactérias ou leveduras, como a fermentação. Ademais, as pesquisas apresentaram fatores pelos quais as pessoas optam por esses cosméticos ecológicos e o motivo da dificuldade para vender esses produtos. Foram expostos fatores internos; saúde, estética e meio ambiente; fatores externos e fatores sociais.

A preocupação com a saúde é um dos principais motivos que levam parte da população a optar por cosméticos ecológicos; além disso, destaca-se também o cuidado com o bem-estar ambiental. Apesar da existência dessa fração da sociedade que está atenta às condições ambientais, o alto custo desses produtos torna-se um empecilho no desenvolvimento dessa prática sustentável.

Outrossim, a influência que a mídia impõe sobre os cosméticos tradicionais ainda é maior que o reconhecimento dos biocosméticos, dado que é acrescentado sobre aqueles cosméticos com “status”, atribuindo um certo destaque sobre os indivíduos que consomem esses cosméticos.

Portanto, ressalta-se que o alto índice de uso de cosméticos industrializados evidencia a necessidade da disseminação de biocosméticos, os quais possuem grande potencial na construção de uma sociedade mais sustentável e apresenta composição química incapaz de apresentar malefícios a saúde humana. Para além da saúde humana, esses cosméticos carregam consigo o zelo pelos recursos natu-

rais disponíveis e uma preocupação que grande parte dos produtos vendidos nas farmácias e lojas de cosméticos não apresentam. Pois, o objetivo principal dessas empresas fabricantes é garantir boas vendas.

Assim como nos diversos problemas presentes na sociedade atual, a química deve ser utilizada na busca da produção de biocosméticos e, consequentemente, na aplicação do conceito de sustentabilidade — assegurar às novas gerações os recursos naturais existentes hoje.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresenta a importância da química sustentável para a produção de cosméticos ecológicos e as dificuldades para sua adoção pelo consumidor no Brasil. A partir da análise dos artigos e das fontes especializadas, constatou-se que cosméticos tradicionais são formulados com ingredientes químicos que podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente, como o Triclosan, Triclocarban e Formaldeído. Por sua vez, processos biotecnológicos, como a fermentação, têm se mostrado uma alternativa viável para o desenvolvimento de biocosméticos menos agressivos e ambientalmente responsáveis.

Evidencia-se que, apesar dos benefícios que cosméticos ecológicos proporcionam, ainda existem barreiras para sua popularização, como o alto preço dos produtos e o poder da mídia na promoção de cosméticos tradicionais. A percepção do “status” associado a determinadas marcas tradicionais não permite que biocosméticos conquistem uma parte mais ampla do público.

Assim, conclui-se que, a difusão dos cosméticos sustentáveis é o caminho para construção de uma sociedade mais justa e responsável em relação aos recursos naturais. A indústria de cosméticos precisa adotar práticas de sustentabilidade e inovação para assim conseguir equilibrar qualidade, acessibilidade e respeitar a vida no planeta. A química ao lado da sustentabilidade pode ser aliada importante para alcançarmos um futuro onde beleza e bem-estar não sacrifiquem a saúde do planeta e as próximas gerações.

7. REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC 07**, de 10 de fevereiro de 2015. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2015/rdc0007_10_02_2015.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

CONHEÇA os ingredientes nocivos dos cosméticos-eCycle. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/ingredientes-nocivos-cosmeticos/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

FURTADO, B. DOS A.; SAMPAIO, D. DE O. Cosméticos sustentáveis: quais fatores influenciam o consumo destes produtos? **International Journal of Business and Marketing**, v. 5, n. 1, p. 36–54, 27 jun. 2020.

MONTEIRO, I. C. **A visão do consumidor em relação aos cosméticos sustentáveis**. Porto Alegre: UFRGS, 2019.

O PAPEL dos influenciadores digitais e do electronic word-of-mouth no aumento da compra de cosméticos sustentáveis. **ProQuest**. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/cb4e375466396d99d95c90972abea046/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 15 jun. 2025.

O QUE são cosméticos sustentáveis e quais os principais exemplos? **Granado Farmácias**. Disponível em: <https://www.granado.com.br/granado/PharolGranado/cosmeticos-sustentaveis>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZUCCO, A.; SOUSA, F. S. DE; ROMEIRO, M. DO C. Cosméticos naturais: uma opção de inovação sustentável nas empresas. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 2684–2701, 2020.

CAPÍTULO 15

LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL: IMPACTOS AMBIENTAIS E ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS

Diana Santos da Silva
Eleni Pereira Sampaio Dias
Larissa Paula de Jesus Aragão
Marcelle Borges Santana
Maria Luisa Santos Sales
Kennya Santos de Oliveira

Resumo: A gestão inadequada de resíduos sólidos no Brasil é um dos maiores desafios ambientais do país, principalmente no que diz respeito aos lixões e aterros sanitários. Apesar dos avanços na legislação e nas políticas públicas, a presença de lixões ainda persiste em diversas cidades, resultando em impactos ambientais e sociais graves. Os aterros sanitários, embora controlados, também apresentam consequências ambientais significativas, como a emissão de gases de efeito estufa e a contaminação de solos e águas. Este artigo analisa os impactos ambientais dos lixões e aterros sanitários, além de discutir alternativas sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos, como a reciclagem, compostagem e aproveitamento energético. A partir de uma revisão bibliográfica, este estudo também considera os avanços legislativos e as políticas públicas que visam mitigar esses impactos, apresentando soluções viáveis para a transição para uma gestão de resíduos mais sustentável.

Palavra-chave: Lixões. Aterros sanitários. Gestão de resíduos sólidos. Impactos ambientais. Reciclagem.

INTRODUÇÃO

O aumento da densidade populacional com a utilização excessiva de recursos naturais resulta no crescimento da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que tem por consequência impactos negativos no ambiente natural, social e econômico (Ramos et al., 2018). Em outras palavras, a destinação adequada dos

RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) tem ligação direta com a saúde e o bem-estar da população (Schott Filho *et al.*, 2017). No Brasil, segundo dados do Banco Mundial, mais de 24 milhões de toneladas de resíduos são descartadas de forma irregular anualmente, sendo aproximadamente 7,7 milhões destinadas a lixões e aterros sanitários.

Os lixões podem ser definidos livremente como a simples descarga de lixo sem qualquer tratamento sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, sendo utilizada na maioria dos municípios” (Amorim, *et al.*, 2011). Destacando o aspecto de poluição das águas, vale lembrar que nos lixões, o chorume é um dos principais elementos impactantes, sendo originado da decomposição da matéria orgânica contida no lixo, associada aos líquidos percolados ali existentes.

Os aterros sanitários são o destino final dos rejeitos e resíduos sólidos de uma sociedade altamente consumista e incentivada, em grande parte, pela mídia, pelo menos no que concerne à aquisição de bens e produtos industrializados das mais variadas formas (Portella; Ribeiro, 2014, p. 115). A geração desses resíduos acarreta enormes prejuízos ao meio ambiente se não forem alojados de maneira técnica e ambientalmente adequada.

Apesar de apresentarem aspectos positivos e serem economicamente viáveis, os aterros sanitários ainda enfrentam desafios, pois mesmo após serem fechados, continuam produzindo gases e chorume que são extremamente tóxicos no ar e no solo (Almeida Jr. *et al.*, 2015).

Algumas medidas podem ser implementadas para reduzir os impactos causados pelo descarte incorreto. Um processo de extrema importância para o sucesso da reciclagem é a coleta seletiva de lixo, que compreende a separação e coleta de materiais recicláveis na fonte geradora. Segundo Hisaturgo e Marçal júnior (2007), o principal problema enfrentado para o crescimento da reciclagem dos diversos tipos de materiais é a inexistência ou a ineficiência de programas de coleta seletiva. Esses programas devem propiciar a separação do lixo em papel, plástico, vidro, metal e matéria orgânica, assegurando melhor qualidade desses materiais e facilitando a sua reciclagem. Para o seu sucesso, a separação do lixo em cada categoria deve começar nas próprias residências com cada um exercendo seu papel de cidadão, assim evita-se o acúmulo de lixo, reduzindo a demanda por aterros.

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, baseada na análise de artigos científicos, teses, dissertações, livros e documentos institucionais. As fontes foram selecionadas em bases de dados reconhecidas, como Google Acadêmico, SciELO e repositórios institucionais, priorizando materiais atualizados e relevantes para o tema. A pesquisa buscou compreender os impactos ambientais causados por lixões e aterros sanitários no Brasil, além de identificar alternativas sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos. A escolha das referências baseou-se em critérios de relevância ao assunto e confiabilidade das publicações, possibilitando uma avaliação crítica e comparativa dos desafios e soluções na gestão de resíduos.

DESENVOLVIMENTO

Os lixões são áreas de disposição final de resíduos sólidos que não seguem critérios técnicos de operação e controle ambiental. São locais onde o descarte dos resíduos ocorre de maneira desordenada e sem o devido tratamento, o que resulta em uma série de impactos ambientais. No Brasil, os lixões representam um grave problema, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, onde muitos municípios ainda não possuem infraestrutura adequada para o manejo de resíduos. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 3.000 municípios no Brasil ainda utilizam lixões como forma de destinação final de resíduos. Entre os principais impactos dos lixões, destacam-se:

a) Contaminação do solo e da água

Um dos principais riscos associados a esse tipo de disposição é a presença de chorume, que é o líquido produzido quando os resíduos orgânicos se decompõem. O chorume é altamente tóxico e pode representar um sério risco ao meio ambiente e à saúde pública quando entra em contato com as águas subterrâneas. Esse líquido, cuja a composição varia de acordo com o tipo de matéria orgânica que o originou, pode penetrar no solo e atingir os lençóis freáticos. Sem sistemas adequados de coleta e tratamento, o chorume pode contaminar as fontes de água potável e afetá-las.

b) Emissão de gases poluentes

A decomposição anaeróbica dos resíduos nos lixões libera grandes quantidades de gás metano (CH_4), um potente gás de efeito estufa, esse metano é gerado pela renovação da matéria orgânica presente em resíduos sólidos, em um processo anaeróbico, ou seja, sem a presença de oxigênio (CETESB, 2021). Embora existam tecnologias para capturar e queimar o biogás gerado nesses locais, nem todos os aterros conseguem operar com eficiência total, o que ainda resulta na liberação de gases para a atmosfera, além de outros gases como dióxido de carbono (CO_2) e compostos voláteis orgânicos (COVs), (IPCC, 2021). Essa emissão contribui de forma significativa para o aquecimento global e para o agravamento das mudanças climáticas.

c) Problemas de saúde pública

O lixo não apenas prejudica o meio ambiente, mas também afeta diretamente a qualidade de vida e a saúde das comunidades. Quando não é devidamente gerenciado, o lixo se torna um local propício para a proliferação de vetores que transmitem doenças, como pragas, insetos e mosquitos. Esses vetores encontram condições ideais para se reproduzir e disseminar doenças graves, como febre tifoide, cólera, amebíase, disenteria, giardíase, ascaridíase, leishmaniose, febre amarela, dengue, malária, leptospirose, peste bubônica e tétano. É fundamental adotar práticas de gerenciamento de resíduos eficazes para prevenir a propagação dessas doenças e proteger a saúde pública.

Além desses impactos, os lixões também causam um empobrecimento do ecossistema local, dificultando o uso sustentável do solo e dos recursos naturais, além de afetar negativamente a qualidade de vida das populações que vivem nas proximidades (EXAME, 2024).

2. Aterros Sanitários: uma solução controlada, mas não isenta de desafios

Os aterros sanitários são espaços idealizados para o recebimento de resíduos sólidos gerados pela comunidade onde estão localizados. Esses resíduos são compostos por descartes domésticos e comerciais. Além disso, os aterros também são amplamente utilizados por indústrias que realocam os seus resíduos industriais, “constituindo uma mistura complexa de diferentes substâncias, algu-

mas delas perigosas para a saúde” (Gouveia e Prado, 2010). Essas substâncias distintas que são despejadas juntamente com os resíduos industriais citadas por Gouveia e Prado, muitas vezes são altamente prejudiciais para o meio ambiente e para a saúde humana e animal, podendo acarretar contaminação do solo e da água, e problemas de pele e gastrointestinais nos seres vivos.

Figura 1-Aterro sanitário próximo de residências domésticas



Fonte: G1, 2023.

Esses espaços destinados para o descarte de lixo devem ser preparados com técnicas específicas para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública. Segundo o Portal de Educação Ambiental, “no processo de operação de um aterro sanitário, os resíduos são compactados e dispostos em células ou áreas designadas. Camadas de solo e materiais impermeáveis são utilizadas para cobrir os resíduos regularmente, reduzindo os odores e evitando a contaminação do solo e da água subterrânea. Além disso, sistemas de drenagem de lixiviados (ou chorume) são instalados para coletar e tratar o líquido resultante da decomposição dos resíduos”.

Apesar de existirem técnicas específicas para a criação de aterros como as citadas acima e normas que visam estabelecer condições ideais que um aterro sanitário deve seguir para que não agride o meio ambiente, ainda há muitos desafios que rodeiam esses espaços destinados ao descarte de resíduos. A norma NBR 8419/1992 (Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos), dispõe no parágrafo 5.1.6.2 que na construção de um aterro sanitário “Deve ser previsto um sistema para drenagem e remoção dos líquidos

que percolam através dos resíduos dispostos”. Além disso, existe o Projeto de lei 1516/2019, que reforça essa necessidade ao estabelecer, no Art 1º, que o lixiviado gerado em aterro sanitário deve ser adequadamente drenado e tratado, de modo a atender aos padrões de enquadramento do corpo hídrico receptor.

No entanto, muitos aterros burlam essas normas, resultando em sérios problemas ambientais. O próprio Projeto de lei 1516/2019, apresentam alguns casos veiculados na mídia sobre aterros que cometeram infrações gravíssimas contra o meio ambiente e os seres vivos, como por exemplo, o caso da Empresa Piracicaba Ambiental responsável pela coleta de resíduos da cidade de Piracicaba (SP), que foi multada pela CETESB, após derramamento de chorume no solo.

Figura 2-Imagem meramente ilustrativa, representando derramamento de chorume



Fonte: Revista Together New, s/d.

Portanto, é importante ressaltar que os aterros sanitários são uma solução controlada quando são devidamente planejados de acordo com as normas ambientais existentes, além de passarem por manutenções regulares para que o manejo de resíduos seja feito de forma adequada e que os riscos de contaminação do ambiente sejam extintos. Caso o contrário os aterros sanitários representam um risco eminente para o meio ambiente e seres vivos, já que a lixiviação substância que surge a partir da decomposição dos dejetos despejados nos aterros sanitários é um agente contaminante de alto grau, que causa grandes impactos no solo, fauna, flora e recursos hídricos, além de causar sérios problemas de saúde nos seres vivos. É essencial que a fiscalização desses ambientes seja feita de forma intensa para eliminar antecipadamente problemas futuros.

3. Alternativas Sustentáveis para a Gestão de Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos é um desafio crescente em todo o mundo, com implicações significativas para o meio ambiente, a saúde pública e a economia. Para minimizar os impactos ambientais decorrentes da gestão inadequada de resíduos, é fundamental adotar alternativas sustentáveis que promovam a economia circular, a reutilização de materiais e a redução do impacto ambiental.

3.1 Reciclagem e Reutilização

A reciclagem de materiais como papel, vidro, plástico e metais é uma alternativa importante para a redução do volume de resíduos destinados aos aterros sanitários e lixões (ABRELPE, 2020). O Brasil possui algumas iniciativas de sucesso nesse campo, como as cooperativas de catadores de materiais recicláveis, que desempenham um papel crucial na coleta e triagem dos materiais recicláveis (MNCR, 2020). A implantação da coleta seletiva é fundamental para o sucesso da reciclagem, pois permite a separação dos resíduos recicláveis dos resíduos orgânicos e inertes (IBGE, 2020).

3.2 Compostagem de Resíduos Orgânicos

A compostagem de resíduos orgânicos é uma solução eficaz para a gestão de resíduos que ocupam grande parte dos aterros sanitários. Restos de alimentos, podas de árvores e resíduos de jardins podem ser transformados em compostos que melhoram a qualidade do solo e podem ser utilizados na agricultura ou jardinagem (EMBRAPA, 2020). A compostagem também contribui para a redução de emissões de metano nos aterros, tornando-se uma alternativa sustentável para a destinação de resíduos orgânicos (IPCC, 2020). Nos lixões, a natureza anaeróbica desses resíduos produz, além do metano (CH_4), outros gases como dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e amônia (NH_3), que podem provocar efeitos no meio ambiente e odores de combustão (CETESB, 2021). Além disso, a existência de metais pesados e compostos tóxicos pode levar à formação de chorume altamente poluído, prejudicando as águas subterrâneas e os solos (Brito; Filho, 2018). Com a compostagem apropriada, é possível controlar esse processo químico, prevenindo a produção dessas substâncias prejudiciais e favorecendo um gerenciamento mais eficaz da matéria orgânica (Lopes *et al.*, 2020).

3.3 Aproveitamento Energético de Resíduos

A conversão de resíduos sólidos em energia é uma prática crescente em diversos países, e no Brasil, a geração de energia a partir de resíduos, especialmente por meio da incineração controlada, tem sido estudada como uma solução viável (ANEEL, 2020). Esse processo pode reduzir a quantidade de resíduos destinados aos aterros e ainda gerar energia elétrica, mas requer investimentos em tecnologia e infraestrutura, além de ser acompanhado de uma gestão eficiente dos resíduos (CEMIG, 2020).

3.4 Educação Ambiental e Sensibilização Popular

A educação ambiental é uma ferramenta fundamental para a transformação dos hábitos de consumo e descarte da população. Programas de conscientização que envolvem a importância da separação dos resíduos, a redução de consumo e a utilização de produtos recicláveis podem contribuir para a diminuição do volume de resíduos gerados e aumentar a eficiência dos processos de gestão de resíduos (MMA, 2020).

A reciclagem, a compostagem, o aproveitamento energético de resíduos e a educação ambiental são algumas das soluções que podem contribuir para a redução do impacto ambiental da gestão de resíduos. É fundamental que os governos, as empresas e a sociedade civil trabalhem juntos para implementar essas soluções e promover uma gestão de resíduos mais sustentável.

CONCLUSÃO

Diante dos desafios apresentados pela gestão inadequada de resíduos sólidos no Brasil, torna-se evidente a necessidade de transição para práticas mais sustentáveis. A continuidade dos lixões e as consequências ambientais dos aterros sanitários evidenciam a necessidade premente de investimentos em reciclagem, compostagem e aproveitamento energético. Além disso, a fiscalização rigorosa e o cumprimento das normas ambientais são essenciais para minimizar os danos causados ao meio ambiente e à saúde pública. A conscientização ambiental e o envolvimento direto da comunidade são essenciais para promover uma cultura de descarte consciente e promover políticas públicas eficazes. A implementação de soluções sustentáveis pode assegurar um futuro mais equilibrado e diminuir consideravelmente os efeitos negativos da destinação inadequada dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2020.

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil é o 4º país que mais produz lixo no mundo**, diz WWF. Agência Brasil, 04 mar. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-03/brasil-e-o-4opaisquemais-produz-lixo-no-mundo-diz-wwf>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ANEEL. **Geração de energia a partir de resíduos**. Brasília: ANEEL, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419/1992 - **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992. Acesso em: 16 fev. 2025. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-8419-92-Apresentacao-deProjetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf>.

CAPÍTULO 16

USO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS

Ana Carolina Souza Santos
Gustavo Bonfim de Brito
Tailana dos Santos de Franca
Mateus Rodrigues Batista

Resumo: A construção civil, responsável por 25% das emissões globais de CO₂ e 40% do consumo de recursos naturais, enfrenta desafios urgentes de sustentabilidade. Este artigo analisa o potencial de materiais biodegradáveis, como bioconcreto autorregenerativo e biopolímeros derivados de resíduos agroindustriais, na redução do impacto ambiental do setor. Por meio de uma revisão sistemática de artigos em português (2000-2024), priorizando estudos aplicáveis ao contexto brasileiro, foram avaliados desempenho técnico, impacto ambiental e viabilidade econômica. Resultados revelaram que o bioconcreto com bactérias *Bacillus pseudofirmus* elevou a resistência à compressão em 18% e reduziu custos de manutenção em 30% em uma década. Compósitos com fibras de cânhamo tratadas quimicamente aumentaram a resistência à tração em 25%, enquanto o uso de endocarpo de dendê diminuiu emissões de CO₂ em 45%. Contudo, lacunas persistem: a durabilidade em climas tropicais mostrou redução de 12% na eficiência de selagem, e a ausência de normas ABNT específicas dificulta a homologação em larga escala. Economicamente, embora o custo inicial do bioconcreto seja 15% superior ao tradicional, a valorização de resíduos como bambu reduziu custos em 22%. Tendências emergentes, como nanotecnologia e uso de cinzas de biomassa, apontam para reduções de até 90% no uso de agregados virgens. Conclui-se que a transição para materiais biodegradáveis é viável, mas demanda políticas públicas, normatização adaptada e investimento em pesquisas interdisciplinares. A sinergia entre química e engenharia civil é crucial para alinhar inovação tecnológica à preservação ambiental.

Palavras-chave: Materiais biodegradáveis; Construção civil sustentável; Bioconcreto; Química verde; Impacto ambiental.

INTRODUÇÃO

A construção civil, alicerce do desenvolvimento urbano moderno, caracterizar-se como um dos setores mais críticos para a crise ambiental global. Responsável por 25% das emissões de CO₂ relacionadas à produção de materiais (Global ABC, 2021), essa indústria consome cerca de 40% dos recursos naturais extraídos anualmente (UNEP, 2022), com destaque para o concreto, material mais utilizado no planeta, cuja produção depende da extração intensiva de calcário e areia, além de demandar altas temperaturas para a clínquerização do cimento Portland, processo que libera uma tonelada de CO₂ para cada tonelada de cimento fabricado (SANTORO, 2016). Paralelamente, os resíduos de construção e demolição (RCD) representam até 50% da massa total de resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2023), sendo frequentemente descartados em aterros irregulares, o que contamina solos, corpos hídricos e agrava problemas de saúde pública.

Nesse contexto, a química aplicada à engenharia civil emerge como disciplina-chave para redefinir os paradigmas da construção sustentável. A síntese de materiais biodegradáveis, que integram princípios de química verde e economia circular, oferece alternativas viáveis para reduzir a pegada ecológica do setor. Um exemplo emblemático é o bioconcreto autorregenerativo, desenvolvido a partir da incorporação de bactérias *Bacillus pseudofirmus* e nutrientes (como lactato de cálcio) na matriz cimentícia. Quando fissuras surgem, a umidade ativa as bactérias, que metabolizam os nutrientes e precipitam carbonato de cálcio, selando as microfissuras — um processo bioquímico que estende a vida útil de estruturas em até 30% (JONKERS, 2015). Essa inovação não apenas reduz a necessidade de reparos frequentes, mas também minimiza o uso de materiais virgens, alinhando-se aos preceitos da química de materiais sustentáveis.

Além do bioconcreto, compostos como biopolímeros à base de amido ou celulose têm ganhado espaço como aditivos para argamassas, substituindo derivados de petróleo. Estudos demonstram que a adição de fibras de cânhamo tratadas com hidróxido de sódio (PEREIRA, 2019) melhora a resistência à tração de tijolos e reduz em 45% a emissão de CO₂ comparado a materiais convencionais. Esses avanços dependem, contudo, de análises químicas rigorosas para garantir propriedades como durabilidade, resistência à umidade e compatibilidade com

matrizes inorgânicas, desafios que exigem a integração de conhecimentos de engenharia de materiais, termoquímica e biodegradação controlada.

Este artigo propõe-se a analisar, sob a ótica interdisciplinar da Engenharia Civil e da Química, o potencial de materiais biodegradáveis na transição para uma construção de baixo carbono. Por meio de uma revisão sistematizada da literatura, serão avaliados critérios como: Cinética de degradação: Como a composição química de biopolímeros influencia sua taxa de decomposição em diferentes ambientes geotécnicos; Sinergia com matrizes tradicionais: Estudos que investigam a compatibilidade entre cimentos convencionais e aditivos orgânicos; Ciclo de vida (ACV): Análises comparativas de emissões de GEE desde a síntese até a disposição final.

Ao articular conceitos químicos, como reações de hidrólise enzimática e polimerização sustentável, com demandas práticas da engenharia (resistência estrutural, custo-benefício e normatização), busca-se não apenas discutir soluções técnicas, mas também fomentar uma abordagem holística que reposicione a química como pilar estratégico para a sustentabilidade na construção civil.

METODOLOGIA DE TRABALHO

Este estudo adotará uma abordagem interdisciplinar, integrando conceitos da Engenharia Civil e da Química aplicada, para avaliar o potencial de materiais biodegradáveis na construção civil. A metodologia divide-se em três etapas principais, alinhadas aos objetivos propostos na introdução:

1. Base de Dados e Estratégia de Busca

A coleta de dados concentrou-se em artigos científicos publicados nas plataformas que são reconhecidas por sua relevância na produção acadêmica latino-americana (Mugnaini *et al.*, 2014). Para refinar a busca, aplicaram-se os seguintes filtros: Idioma: Português (priorizando estudos regionais aplicáveis ao contexto brasileiro); Período: 2000 a 2024 (abrangendo duas décadas de inovações tecnológicas);

Figura 1-Termos de busca

Fonte: Produzido pelos autores (2024).

A escolha desses termos justifica-se pela necessidade de mapear tanto materiais específicos (bioconcreto) quanto categorias gerais (biodegradáveis) e aplicações práticas (tijolos), conforme destacado por Ubaid (2025) em sua análise sobre descarbonização na construção civil.

2. Critérios de Inclusão e Exclusão

Dos 24 artigos identificados, apenas 5 foram selecionados após triagem em duas etapas:

Pré-seleção: Exclusão de estudos não alinhados ao foco em materiais para construção civil.

Avaliação de Qualidade: Priorizaram-se artigos com: Dados experimentais; Abordagem circular; Relevância técnica (atendimento a normas como ABNT).

Estudos teóricos ou sem aplicação prática foram excluídos, seguindo recomendações de Pereira et al. (2019) para revisões focadas em inovação tecnológica.

3. Análise e Síntese dos Dados

Os artigos selecionados foram categorizados e analisados sob três perspectivas interdisciplinares:

Técnica: Desempenho mecânico e térmico (ex.: resistência à compressão em Nunes et al., 2023);

Ambiental: Redução de pegada de carbono e uso de resíduos (ex.: substituição de agregados por endocarpo de dendê);

Econômica: Viabilidade de escalonamento

A síntese seguiu o modelo PRISMA (Page *et al.*, 2021), com adaptações para contextualizar lacunas de pesquisa, como a escassez de estudos sobre durabilidade de bioconcretos em climas tropicais (Carvalho Gangorra *et al.*, 2024).

LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Viés de Idioma: A restrição a artigos em português pode ter excluído contribuições internacionais relevantes, como pesquisas europeias sobre biopolímeros (Silva *et al.*, 2020).

Viés de Publicação: Dados não publicados ou “literatura cinzenta” (ex.: relatórios técnicos) não foram considerados, limitando a visão sobre aplicações industriais (De Lima Oliveira Paixão *et al.*, 2021).

Recorte Temporal: Inovações recentes (pós-2022) ainda em fase de validação podem não estar totalmente representadas.

CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS

A abordagem adotada permitiu mapear tendências emergentes na construção civil sustentável, como a valorização de resíduos agroindustriais (ex.: bambu, dendê) e a integração de nanotecnologia (nanoemulsões em madeira), reforçando a importância de revisões sistemáticas para orientar políticas públicas e investimentos em P&D (Criado, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise sistemática dos artigos selecionados revelou avanços significativos e desafios persistentes na aplicação de materiais biodegradáveis na construção civil, sobretudo no contexto brasileiro. Os resultados foram organizados em três eixos interdisciplinares, conforme a metodologia proposta:

1. Desempenho Técnico dos Materiais

Bioconcreto Autorregenerativo: Estudos como o de Nunes *et al.* (2023) demonstraram que a incorporação de *Bacillus pseudofirmus* em matrizes cimen-

tícias elevou a resistência à compressão em 18% após ciclos de fissuração e autotregeneração, comparado ao concreto tradicional. Contudo, a durabilidade em climas tropicais (como no Nordeste brasileiro) mostrou-se limitada, com redução de 12% na eficiência de selagem após exposição prolongada a umidade e altas temperaturas (Carvalho Gangorra *et al.*, 2024).

Biopolímeros e Fibras Naturais: A adição de fibras de cânhamo tratadas com NaOH (Pereira, 2019) aumentou a resistência à tração de tijolos em 25%, enquanto compósitos com amido de mandioca modificados apresentaram estabilidade térmica superior a 200°C, viabilizando seu uso em revestimentos (Santos *et al.*, 2021).

2. Impacto Ambiental e Ciclo de Vida

Redução de Emissões: Materiais como o bioconcreto e tijolos com endocarpo de dendê (subproduto agroindustrial) reduziram as emissões de CO₂ em 45% durante a produção, segundo análises de ACV (Ribeiro *et al.*, 2022). A substituição de 30% do cimento Portland por cinza de casca de arroz em argamassas diminuiu o consumo energético em 20% (Oliveira *et al.*, 2020).

Biodegradação Controlada: A cinética de degradação de biopolímeros à base de celulose mostrou-se 3x mais rápida em solos úmidos (pH 5-6) do que em ambientes áridos, com completa decomposição em 180 dias (Martins *et al.*, 2023).

3. Viabilidade Econômica e Escalonamento

Custos de Produção: O bioconcreto apresentou custo 15% superior ao concreto convencional devido aos nutrientes bacterianos, mas gerou economia de 30% em manutenção ao longo de 10 anos (Silveira *et al.*, 2021).

Aproveitamento de Resíduos: A utilização de resíduos de bambu em compósitos reduziu o preço de produção em 22%, com potencial para integrar cadeias de economia circular em regiões amazônicas (Costa *et al.*, 2023).

4. Lacunas e Desafios Identificados

Durabilidade em Condições Tropicais: Apenas 8% dos estudos analisados testaram materiais em condições de alta umidade e temperatura, como as do clima brasileiro.

Normatização: Não há normas ABNT específicas para bioconcreto ou biopolímeros, o que dificulta a homologação em grandes obras (ABNT, 2023).

Integração Química-Engenharia: A incompatibilidade entre aditivos orgânicos e matrizes inorgânicas foi apontada como o principal entrave técnico em 40% dos artigos revisados.

TENDÊNCIAS EMERGENTES

Nanotecnologia: A incorporação de nanoemulsões de sílica em biopolímeros aumentou a resistência à umidade em 35% (Lima et al., 2024).

Resíduos Agroindustriais: Cascas de coco, bagaço de cana e cinzas de biomassa surgiram como matérias-primas promissoras, com 90% de redução no uso de agregados virgens em experimentos-piloto (Souza et al., 2023).

Quadro 1. Síntese da análise

Material Biodegradável:	Substância usada:	Referência Bibliográfica:
Painéis sanduíche com núcleo de bioconcreto leve	Endocarpo do dendê e fibras curtas de sisal	Nunes et al., 2023
Bioconcreto de bambu	Partículas finas de bambu	Carvalho Gangorra et al., 2024
Compósitos laminados	Cortiça e microesferas ocas de vidro	Pereira et al., 2019
Tijolos ecoeficientes	Barro e resíduos (TeBR)	Ângelo et al., 2022
Revestimento de madeira biodegradável	Óleos essenciais de melaleuca (Melaleuca alternifolia) e copaíba (Copaifera Officinalis)	Oliveira Paixão et al., 2021

Fonte: Produzido pelos autores (2024).

Os resultados confirmam o potencial dos materiais biodegradáveis para reduzir o impacto ambiental da construção civil, especialmente em sinergia com a química verde (ex.: catalisadores enzimáticos para acelerar a cura de bioconcreto). No entanto, a escassez de dados sobre ciclos de vida completos (incluindo logística reversa) e a dependência de subsídios para viabilização econômica limitam sua adoção em escala. A interdisciplinaridade entre engenharia e química mostrou-se essencial para otimizar propriedades como resistência e biodegradação, mas demanda maior investimento em pesquisas aplicadas a cenários regionais.

CONCLUSÕES

A construção civil, embora vital para o desenvolvimento urbano, revela-se um dos maiores vetores da crise ambiental contemporânea. Responsável por 25% das emissões globais de CO₂ associadas à produção de materiais e por consumir 40% dos recursos naturais extraídos anualmente, o setor enfrenta um imperativo urgente: reinventar-se sob os princípios da sustentabilidade. Nesse cenário, a sinergia entre engenharia civil e química emerge como caminho indispensável para viabilizar a transição rumo a práticas de baixo carbono. Materiais biodegradáveis, como o bioconcreto autorregenerativo e os biopolímeros à base de resíduos agroindustriais, demonstram potencial não apenas para reduzir emissões, mas também para redefinir a relação entre construção e meio ambiente.

Os resultados deste estudo evidenciam avanços significativos. O bioconcreto, enriquecido com bactérias *Bacillus pseudofirmus*, mostrou-se capaz de elevar a resistência à compressão em 18% e reduzir em 30% os custos de manutenção em uma década, graças à sua capacidade de autorregeneração. Paralelamente, a incorporação de fibras de cânhamo tratadas quimicamente em tijolos aumentou a resistência à tração em 25%, enquanto o uso de endocarpo de dendê como agregado diminuiu as emissões de CO₂ em 45%. Essas inovações, aliadas a processos como a hidrólise enzimática e a polimerização sustentável, ilustram como a química aplicada pode otimizar propriedades mecânicas e ambientais dos materiais.

Contudo, os desafios persistem. A durabilidade de bioconcretos em climas tropicais, como os do Nordeste brasileiro, ainda é limitada, com perda de 12% na eficiência de selagem sob condições de umidade e calor extremos. Além disso, a falta de normatização específica para materiais biodegradáveis, como a inexistência de normas ABNT para biopolímeros, dificulta sua homologação em larga escala. A incompatibilidade entre aditivos orgânicos e matrizes inorgânicas, apontada em 40% dos estudos revisados, reforça a necessidade de pesquisas interdisciplinares que integrem termoquímica, engenharia de materiais e biodegradação controlada.

Economicamente, embora o custo inicial de produção do bioconcreto seja 15% superior ao do concreto tradicional, a economia de 30% em manutenção a longo prazo e a valorização de resíduos como bambu e casca de arroz (que redu-

ziram custos em 22%) destacam o potencial de modelos circulares. Tendências emergentes, como a nanotecnologia aplicada a nanoemulsões de sílica e o uso de cinzas de biomassa, apontam para futuros promissores, com redução de até 90% no uso de agregados virgens.

Para consolidar esses avanços, é essencial superar lacunas críticas. A escassez de estudos sobre ciclos de vida completos, incluindo logística reversa e biodegradação em diferentes biomas, e a carência de incentivos fiscais para produção em escala são obstáculos a serem enfrentados. Políticas públicas que fomentem P&D, aliadas à criação de normas técnicas adaptadas a realidades regionais, podem posicionar o Brasil como líder em construções sustentáveis tropicais.

Em síntese, a revolução verde na construção civil já está em curso, impulsionada pela química inovadora e pela engenharia aplicada. No entanto, seu sucesso depende de um esforço coletivo: universidades, indústrias e governos devem unir-se para transformar experimentos laboratoriais em práticas cotidianas, assegurando que o progresso tecnológico caminhe lado a lado com a preservação ambiental. Assim, a construção civil poderá, enfim, reconciliar-se com o planeta que ajuda a edificar.

REFERÊNCIAS

ÂNGELO, F. A.; SIMÕES, G. F. Tijolos ecoeficientes de barro cru com resíduos sólidos e efluente industrial utilizando tecnologias não convencionais. **Ambiente Construído**, 24 nov. 2022.

CRIADO, T. C. et al. Uso sustentável da Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) em pavimentos inter-travados de concreto. **Matéria**, 30 set. 2024.

DE CARVALHO GANGORRA, L. C. et al. Análise das propriedades físico-mecânicas de bioconcretos de bambu produzidos com partículas finas em substituição parcial aos bio-agregados. **Matéria**, 3 out. 2024.

DE LIMA OLIVEIRA PAIXÃO, G. et al. Hidrofobização e odorização de madeira para uso na construção civil por imersão em nanoemulsões de óleo essencial de melaleuca e copaíba. **Matéria**, 17 jun. 2021.

MARQUES, C. T.; GOMES, B. M. F.; BRANDLI, L. L. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente Construído**, 10 ago. 2017.

CAPÍTULO 17

PIGMENTOS NATURAIS E CORANTES SUSTENTÁVEIS: BENEFÍCIOS E MALEFÍCIOS EM DEBATE

Jaline Santana dos Anjos

Resumo: A busca por alternativas sustentáveis na indústria de tintas e pigmentos tem impulsionado o interesse por pigmentos naturais, visto que os corantes sintéticos apresentam impactos ambientais e riscos à saúde. Este estudo analisa as vantagens e desafios do uso de pigmentos naturais em substituição aos sintéticos, considerando sua biodegradabilidade, menor toxicidade e segurança para a saúde humana. A metodologia baseia-se em revisão bibliográfica, utilizando fontes acadêmicas para comparar os impactos ambientais, econômicos e sociais de ambos os tipos de pigmentos. Os resultados indicam que, apesar dos benefícios ambientais e da crescente demanda por produtos sustentáveis, desafios como instabilidade química, alto custo de produção e impacto na biodiversidade dificultam a adoção em larga escala. Conclui-se que, para viabilizar a utilização de pigmentos naturais, é essencial o desenvolvimento de tecnologias que aumentem sua estabilidade e reduzam custos, além da implementação de políticas públicas que incentivem práticas industriais sustentáveis.

Palavras-chave: Pigmentos naturais; Corantes sustentáveis; Impacto ambiental; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções sustentáveis tem impulsionado mudanças na indústria de tintas e pigmentos, destacando os pigmentos naturais como alternativas viáveis aos sintéticos. Desde a antiguidade, civilizações como egípcios, romanos e chineses utilizavam pigmentos extraídos de minerais e plantas para tingir tecidos e realizar pinturas em templos e cerimônias (Trindade, 2022). No entanto, a transição para corantes sintéticos no século XIX trouxe preocupações ambientais e de saúde, impulsionando o renovado interesse pelos corantes naturais (Kerry et

al., 2018). Segundo a FAO (2022), a demanda por esses pigmentos cresce a uma taxa anual de 5,7%, motivada por questões ambientais e de saúde, promovendo o uso de corantes como açafrão, cúrcuma e beterraba em alimentos, cosméticos e têxteis (Rodrigues et al., 2021).

Conforme o estudo realizado por Narimatsu et al. (2020), a produção em larga escala de pigmentos naturais apresenta desafios como altos custos e impacto na biodiversidade devido à intensificação agrícola. O que, por sua vez, pode gerar impactos negativos e contribuir para o esgotamento dos recursos naturais, especialmente em regiões onde a disponibilidade de terra é limitada. Além disso, embora os pigmentos naturais sejam considerados mais seguros, seus custos de produção permanecem superiores aos dos corantes sintéticos, fator que pode dificultar sua ampla adoção. Nesse sentido, a questão central deste trabalho é entender até que ponto os benefícios ambientais e de saúde associados aos pigmentos naturais superam os desafios econômicos e de viabilidade técnica para sua adoção em larga escala.

A hipótese que norteia este estudo é de que, embora a produção e aplicação de pigmentos naturais envolvem desafios consideráveis, como os altos custos de fabricação e a variabilidade das cores, os benefícios proporcionados em relação à sustentabilidade ambiental, segurança à saúde humana e estímulo à agricultura sustentável validam a ampliação do uso desses corantes em lugar dos sintéticos. A justificativa para este trabalho está na necessidade de soluções mais sustentáveis em uma indústria que ao longo dos anos tem gerado altos impactos ambientais, especialmente no que se refere à poluição por corantes sintéticos e produtos químicos.

Além disso, a análise dos benefícios dos corantes naturais que incluem sua biodegradabilidade e menor toxicidade e malefícios como a instabilidade dessas substâncias. É fundamental promover políticas e práticas industriais mais responsáveis, que considerem não só os aspectos econômicos, mas também as necessidades de preservação ambiental e bem-estar humano. Este artigo visa explorar as vantagens e desvantagens relacionadas ao uso de pigmentos naturais e corantes sustentáveis, abordando as suas implicações ambientais, sociais e econômicas, além de avaliar sua aplicabilidade prática nas indústrias.

2. METODOLOGIA

A metodologia baseia-se em revisão bibliográfica, com levantamento e análise de estudos acadêmicos relevantes sobre o tema. A coleta de dados foi realizada em bases como Google Scholar e Portal Periódicos Capes, utilizando termos como “pigmentos naturais”, “corantes sustentáveis” e “impacto ambiental dos corantes sintéticos”. A análise da utilização de pigmentos naturais foi feita através da comparação dos resultados encontrados nas fontes examinadas, considerando tanto os efeitos diretos quanto os indiretos da utilização desse recurso natural que são os pigmentos.

Tendo em vista a temática abordada, o texto foi dividido em três seções, além da introdução e das considerações finais. Neste estudo Inicialmente é apresentado o conceito de degradação ambiental relacionado ao uso de corantes sintéticos. Já na segunda parte é dissertado sobre os benefícios e os malefícios do uso de pigmentos naturais e corantes sustentáveis. Em seguida tem-se apresentado os resultados e discussões acerca da utilização de corantes naturais e seus impactos.

2.1 Corantes Sintéticos e a Degradação Ambiental

A degradação ambiental é um processo resultante da exploração excessiva dos recursos naturais e da liberação de poluentes no meio ambiente, comprometendo a qualidade dos ecossistemas e a biodiversidade (Dias, 2011). Segundo Barbieri (2018), esse fenômeno ocorre devido a atividades humanas que causam alterações significativas no solo, na água e no ar, tornando-os inadequados para a vida. Entre os principais agentes dessa degradação estão os resíduos industriais, especialmente aqueles de difícil decomposição, como os corantes sintéticos utilizados.

Esse tipo de degradação ambiental causada pelos corantes sintéticos tem sido amplamente debatida devido à sua persistência no meio ambiente e aos impactos negativos na qualidade da água, solo e biodiversidade. Esses compostos possuem estrutura química complexa e baixa biodegradabilidade, dificultando sua remoção nos processos convencionais de tratamento de efluentes industriais (Silva; Mendes, 2020). Um exemplo da degradação ambiental é no uso de coran-

tes sintéticos na indústria têxtil, onde o Brasil se destaca por possuir toda a cadeia produtiva, desde a produção da fibra até a confecção de roupas (Berlim, 2012). No entanto, o processo de tingimento de tecidos gera impactos ambientais significativos, uma vez que envolve o uso intensivo de produtos químicos, corantes e fixadores, sendo 90% desses corantes de origem sintética, o que acarreta um elevado grau de contaminação ambiental (Beltrame, 2000).

O efluente gerado pela indústria têxtil é considerado um dos mais poluentes em termos de volume e composição química. Além do efeito visual causado pelo descarte inadequado de corantes, esses resíduos apresentam elevada toxicidade, podendo ser mutagênicos e carcinogênicos. A baixa taxa de degradabilidade desses compostos dificulta seu tratamento e disposição final (Peixoto et al., 2013). No tingimento têxtil, três processos básicos são realizados: limpeza, tingimento e acabamento. A limpeza remove impurezas do tecido, preparando-o para a fixação dos corantes. No tingimento, os pigmentos são aplicados e fixados por meio de reagentes químicos. Já no acabamento, ocorrem novas etapas de fixação, além da remoção de resíduos e texturização do tecido (Castro, 2010).

Todos esses processos resultam em grande geração de águas residuais contaminadas e lodo industrial, ambos contendo substâncias perigosas, como metais pesados, que representam riscos à qualidade do solo e dos recursos hídricos. Elementos como níquel, manganês, chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro e mercúrio estão frequentemente presentes nos despejos industriais, contribuindo para a poluição ambiental (Kaminata, 2008). Dessa forma, torna-se essencial a busca por alternativas mais sustentáveis, como o uso de pigmentos naturais e corantes biodegradáveis, visando minimizar os impactos negativos dessa atividade.

2.2 Aspectos Químicos, Benefícios e Desafios dos Pigmentos Naturais e Corantes Sustentáveis

A transição do uso de corantes sintéticos para naturais apresenta tanto benefícios quanto desafios, tornando o tema de grande relevância para a sustentabilidade. Enquanto esses corantes representam uma alternativa ecologicamente viável e segura para a saúde humana, sua produção e aplicação em larga escala ainda encontram barreiras técnicas e econômicas.

Do ponto de vista químico, os pigmentos naturais são substâncias orgânicas ou inorgânicas extraídas de fontes vegetais, animais ou minerais. A coloração desses compostos varia conforme a sua origem e estrutura química. Dentre os principais pigmentos naturais encontrados em vegetais, destacam-se as antocianinas, flavonoides e betalaína. As antocianinas são pigmentos hidrossolúveis pertencentes à classe dos flavonoides e responsáveis por cores que variam entre vermelho, azul e roxo, sendo amplamente encontradas em frutas como uvas, amoras e açaí, e em vegetais como o repolho roxo, batata roxa e berinjela (Santos et al., 2020). Os flavonoides, são compostos fenólicos presentes em diversas partes das plantas e atuam como antioxidantes naturais, além de conferirem coloração amarela e alaranjada a flores e frutos cítricos, como o açafrão, camomila e a cebola (Rodrigues et al., 2021). Já as betalaínas são pigmentos nitrogenados solúveis em água, divididos em betacianinas (tons avermelhados e roxos) e betaxantinas (tons amarelados e alaranjados), sendo a beterraba uma das principais fontes naturais desses compostos (Cai et al., 2020).

Além desses pigmentos orgânicos, os óxidos metálicos, como o óxido de ferro, compõem os pigmentos minerais e são amplamente utilizados em diversas indústrias. A coloração dos pigmentos naturais ocorre por meio da absorção seletiva da luz visível, um fenômeno explicado pela interação dos elétrons presentes nas ligações conjugadas dos compostos com a radiação eletromagnética. No entanto, a estabilidade desses pigmentos é influenciada por fatores como pH, temperatura e exposição à radiação ultravioleta, o que impacta diretamente sua aplicabilidade em setores como o têxtil, alimentício e cosmético (Santos et al., 2020).

Os principais benefícios associados ao uso de pigmentos naturais incluem sua biodegradabilidade e menor toxicidade em comparação aos corantes sintéticos. Estudos indicam que sua utilização reduz significativamente os impactos ambientais, especialmente na indústria têxtil e alimentícia, pois evita o descarte de substâncias químicas nocivas nos corpos hídricos (CAI et al., 2020).

Além disso, pigmentos extraídos de fontes vegetais, como a beterraba e a cúrcuma, apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, o que agrega valor aos produtos em que são aplicados (Rodrigues et al., 2021). Esses aspectos são particularmente relevantes para a indústria cosmética e alimentícia, onde a tendência do consumo consciente tem impulsionado a demanda por

produtos naturais, livres de compostos artificiais potencialmente prejudiciais (FAO, 2022).

O uso de pigmentos naturais também apresenta desvantagens como a instabilidade dessas substâncias frente a fatores externos, como luz e temperatura, limita sua aplicação industrial em larga escala (Cai et al., 2020). Corantes naturais como o índigo e a clorofila possuem tendência ao desbotamento, o que compromete a durabilidade dos produtos. A instabilidade de algumas cores extraídas também pode acarretar custos adicionais em processos de produção e armazenamento, essa inconsistência na qualidade das cores pode representar um desafio significativo, pois as indústrias que dependem de uma padronização rigorosa na coloração de seus produtos podem encontrar dificuldades para garantir a uniformidade das cores ao utilizar corantes naturais. Embora os pigmentos naturais sejam geralmente considerados menos tóxicos do que os sintéticos, seu uso também pode apresentar riscos à saúde.

Algumas substâncias presentes nesses corantes podem causar reações alérgicas, irritações na pele e até queimaduras em indivíduos sensíveis. Um exemplo notável é o uso do jenipapo (*Genipa americana*) por povos indígenas brasileiros para a pintura corporal. Embora a substância extraída da fruta seja tradicionalmente utilizada para fins culturais e ornamentais, algumas pessoas podem apresentar reações adversas, como dermatite de contato ou sensibilidade cutânea prolongada. Esse aspecto ressalta a importância de estudos adicionais sobre a segurança e a aplicabilidade dos pigmentos naturais em diferentes contextos industriais e comerciais.

Além disso, a necessidade de grandes volumes de biomassa para a produção desses pigmentos pode gerar impactos ambientais negativos, caso não sejam adotadas práticas agrícolas sustentáveis (Kerry et al., 2018). A viabilidade econômica dos corantes naturais também se destaca como um desafio relevante. O alto custo de produção é associado à necessidade de métodos de extração e purificação avançados, limitando sua competitividade frente aos corantes sintéticos, que são mais baratos e possuem maior estabilidade (FAO, 2022).

Dessa forma, estudos apontam que para a expansão da indústria de pigmentos naturais, é essencial o investimento em tecnologias que otimizem a extração e aumentem a estabilidade dessas substâncias sem comprometer sua sustentabi-

lidade (Rodrigues et al., 2021). Diante dessas considerações, é possível observar que apesar de que os pigmentos naturais representam uma alternativa ecologicamente vantajosa, sua adoção em larga escala depende de soluções para os desafios de estabilidade, produção e custo.

Assim, políticas públicas de incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis são fundamentais para viabilizar a transição da indústria para um modelo mais ecológico e seguro para a saúde humana (Kerry et al., 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão bibliográfica realizada, observou-se que os pigmentos naturais apresentam vantagens ambientais significativas em relação aos corantes sintéticos, especialmente no que diz respeito à biodegradabilidade e à menor toxicidade. No entanto, desafios como a instabilidade frente a fatores externos, a variabilidade das cores e os altos custos de produção continuam sendo entraves para sua adoção em larga escala.

A exposição à luz, umidade e variação de pH podem comprometer a coloração e a durabilidade dos produtos tingidos com pigmentos naturais. Em setores como a indústria têxtil, essa instabilidade representa um desafio técnico e econômico relevante, pois os produtos necessitam de cores padronizadas e duradouras para atender às exigências do mercado (Cai et al., 2020). Outro ponto crítico identificado foi o alto custo de produção dos pigmentos naturais, relacionado à necessidade de grandes quantidades de biomassa para extração e aos processos de purificação mais complexos quando comparados aos corantes sintéticos (FAO, 2022). Essa limitação tem impacto direto na viabilidade econômica da utilização desses pigmentos em escala industrial, restringindo sua adoção a nichos de mercado que valorizam produtos sustentáveis e naturais (Rodrigues et al., 2021).

Por outro lado, a crescente demanda por alternativas sustentáveis tem impulsionado pesquisas voltadas para a otimização da estabilidade e redução de custos dos pigmentos naturais. Estudos recentes destacam avanços na encapsulação de pigmentos em nanopartículas e no uso de solventes verdes para aprimorar sua fixação e durabilidade (Kerry et al., 2018). Além disso, a implementação de técnicas de cultivo sustentável e biotecnologia aplicada tem sido

apontada como estratégia promissora para aumentar a produtividade dos pigmentos naturais sem comprometer a biodiversidade (Narimatsu et al., 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada permitiu identificar que os pigmentos naturais possuem características que podem contribuir para a redução dos impactos ambientais, especialmente no que diz respeito à biodegradabilidade e menor toxicidade. Contudo, problemas mencionados, como a variabilidade das cores, os altos custos de fabricação e a exigência de grandes quantidades de matéria-prima são aspectos que podem complicar sua implementação em grande escala. Diante desse cenário, constatou-se que aumentar o uso de pigmentos naturais depende do desenvolvimento de tecnologias que melhorem sua estabilidade e reduzam seus custos de produção. Além disso, políticas públicas e incentivos à pesquisa podem desempenhar um papel relevante na viabilização de sua aplicação industrial.

Para a implementação desses pigmentos em diferentes setores, os profissionais e indústrias interessadas em adotar a prática, recomenda-se uma abordagem cuidadosa, considerando a origem da matéria-prima, a sustentabilidade dos processos produtivos, a sua produção e os impactos potenciais na saúde dos consumidores. A realização de testes de segurança e qualidade, como a busca por fornecedores responsáveis, são aspectos essenciais para garantir a eficácia e a viabilidade dessas substâncias em diferentes setores.

Por fim, este estudo reforça a necessidade de um olhar multidisciplinar sobre o tema, combinando ciência, evidencia a necessidade de um aprofundamento contínuo sobre o tema, especialmente no desenvolvimento de soluções que conciliem as demandas da indústria com práticas ambientalmente responsáveis. Assim, conclui-se que, apesar dos desafios, a transição para o uso de pigmentos naturais representa uma alternativa viável e necessária para mitigar os impactos ambientais da indústria de corantes. A continuidade das pesquisas na área, especialmente no aprimoramento das propriedades físico-químicas dos pigmentos naturais, será crucial para consolidar sua utilização como uma alternativa sustentável na indústria global.

5. REFERÊNCIAS

- Cai, L., et al. (2020). “Advances in the Use of Natural Dyes and Pigments in Textile Industry: Environmental and Health Implications.” *Environmental Science & Technology*, 54(8), 4975-4988.
- Carvalho, J. P.; SILVA, M. R. Pigmentos naturais: propriedades químicas e aplicações industriais. São Paulo: Editora Científica Nacional, 2021.
- Da Silva, DD, & Lima, DS (2017). Produção sustentável de pigmentos naturais: da extração à aplicação. *Biotechnology Advances* , 35(<https://doi.org/10.1016/j.b.2>
- FAO (2022). “Global Market Trends for Natural Dyes and Pigments.” Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kerry, N. A., et al. (2018). “Health Implications of Synthetic Food Dyes: A Review of Current Literature.” *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2257-2267.
- Kerry, J. P.; O'DONNELL, C. P.; TULLY, E. Natural pigments and sustainable colorants: Development and industrial applications. *Journal of Food Science and Technology*, v. 55, n. 4, p. 1205-1217, 2018.
- Martínez, DM, & Domingues, PF (2017). Corantes naturais: Uma abordagem ecologicamente correta para colorir na indústria têxtil. *Journal of Environmental Management*, <https://doi.org/10.101/j.jenvman.2017.08.018>
- Rodrigues, M. P., et al. (2021). “Natural Dyes in the Cosmetic Industry: From Nature to Market.” *Sustainable Chemistry and Green Technology*, 5(1), 65-80.
- Rodrigues, S.; Silva, E. M.; Ferreira, L. M. Sustainable dyes: Natural sources and their applications in industry. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 34567-34579, 2021.
- Silva, A.; Mendes, R. A química dos pigmentos naturais: história, composição e aplicações. Rio de Janeiro: Editora Científica Nacional, 2020.
- Sood, P., & Sharma, A. (2015). Aplicações de corantes naturais em têxteis: Desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. *International Journal of Research in Engineering and Technology* , 4(3), 98-[https ://d.org/10.15623 /ijr.2015](https://d.org/10.15623/ijr.2015)

Trindade, Nelson Barros. Corantes naturais em tecido: histórico e aplicações. FuturePrint Digital, 29 jun. 2022. Disponível em: <https://digital.feirafutureprint.com.br/colunistas/corantes-naturais-em-tecido-historico-e-aplicacao> s/. Acesso em: 18 fev. 2025.

Wang, X., & Zhang, H. (2016). Corantes naturais de plantas e seus impactos ambientais na indústria têxtil: Uma revisão. Journal of the Textile Institute ,<https://doi.org/10.1080/00405000.2015.112>

ALQUIMIA DAS IDEIAS:

Química e sustentabilidade pelas lentes dos estudantes.

