

## Organizadores

Alana Nogueira Godinho  
Anderson Weiny Barbalho Silva

# CIÊNCIAS BÁSICAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DIÁLOGOS INTERDISCIPLINARES



Editora  
**SER  
TÃO  
CULT**  
10 anos



## ORGANIZADORES



**Alana Nogueira Godinho**

Médica veterinária, Doutora em Fisiologia Humana pela Universidade Estadual do Ceará. Responsável Técnica pelo Biotério da Universidade Federal do Ceará Campus Sobral. Vice-coordenadora do projeto Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável: Diálogos Interdisciplinares em Senador Sá e Miraíma, Ceará da 20ª SNCT. E-mail para correspondência: [alana.godinho@sobral.ufc.br](mailto:alana.godinho@sobral.ufc.br)



**Anderson Weiny Barbalho Silva**

Docente-orientador, Biólogo, Mestre e Doutor em Biotecnologia, coordenador de Pesquisa e Extensão da Faculdade Luciano Feijão. Coordenador do projeto Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável: Diálogos Interdisciplinares em Senador Sá e Miraíma, Ceará da 20ª SNCT. E-mail para correspondência: [anderson.weiny@flucianofejiao.com.br](mailto:anderson.weiny@flucianofejiao.com.br)

## Organizadores

Alana Nogueira Godinho  
Anderson Weiny Barbalho Silva

# CIÊNCIAS BÁSICAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DIÁLOGOS INTERDISCIPLINARES

## Autores

Anderson D. F. Pedrosa / Pablo Gordiano Alexandre Barbosa  
Fátima Itana Chaves Custódio Martins / Ernando Igo Teixeira de Assis  
Felipe Ferreira da Silva / Miguel Fernandes De Lima Neto  
Francisco Amílcar Moreira Junior / Marcus Vinicius Freire Andrade  
Jordana Alves Melo / Ana Beatriz Oliveira Marques dos Santos  
Daniele Paula Alves Mouta / Íris Araújo Rodrigues Braz  
Anderson Weiny Barbalho Silva / Sueline Cavalcante Chaves Costa  
Alana Nogueira Godinho / Anelise Maria Costa Vasconcelos Alves  
Maurício Francisco Vieira Neto / Jordânia Marques de Oliveira Freire  
Jairla Sousa Marcelino / Ellen Maria Moreira Machado  
Anna Railissa Ponte Veras Magalhães / Francisco Breno de Sousa Nobre  
Rhanna Karyne Rodrigues Muniz/ Raimundo Pedro Justino de Orlanda  
Izabelly de Matos Ferreira Orlanda

Sobral-CE  
2024

Editora  
**SER  
TÃO  
CULT**  
10 anos



Editora  
**SER  
TÃO  
CULT**

10 anos

Rua Maria da Conceição P. de Azevedo, 1138  
Renato Parente - Sobral - CE  
(88) 3614.8748 / Celular (88) 9 9784.2222  
contato@editorasertaocult.com.br  
sertaocult@gmail.com  
www.editorasertaocult.com.br

**Coordenação Editorial e Projeto Gráfico**  
Marco Antonio Machado

**Coordenação do Conselho Editorial**  
Antonio Jersson Lins de Freitas

**Conselho Editorial**  
Antonio Marcos Tosoli Gomes  
Cristiane da Silva Monte  
Francisco Ari de Andrade  
Francisco Ricardo Miranda Pinto  
Israel Rocha Brandão  
João Silveira Muniz Neto  
Percy Antonio Galimberti  
Raul Max Lucas da Costa

**Revisão**  
Karoline Viana Teixeira

**Diagramação e capa**  
João Batista Rodrigues Neto

**Catálogo**  
Leolgh Lima da Silva - CRB3/967

C559 Ciências básicas para o desenvolvimento sustentável: diálogos interdisciplinares. /  
Organizado por Alana Nogueira Godinho e Anderson Weiny Barbalho Silva. - Sobral,  
CE: Sertão Cult, 2024.

176 p.

ISBN: 978-65-5421-186-4 - papel  
ISBN: 978-65-5421-187-1 - E-book  
Doi: 10.35260/54211871-2024

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Educação ambiental. 3. Inovação tecnológica. 4. Diálogo interdisciplinar. I. Godinho, Alana Nogueira. II. Silva, Anderson Weiny Barbalho. III. Título.

CDD 363,7

# APRESENTAÇÃO

---

A 20ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, realizada em 2023, trouxe à tona o tema “Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável”. Esta iniciativa destacou a importância das ciências fundamentais na construção de um futuro sustentável, em que o conhecimento científico serve como base para soluções inovadoras e práticas para os desafios globais.

Nosso e-book, *Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável: Diálogos Interdisciplinares*, nasce desse contexto e é resultado de um esforço coletivo de pesquisadores, educadores e profissionais de diversas áreas do conhecimento, que se uniram para explorar como as ciências básicas podem contribuir para o desenvolvimento sustentável em comunidades locais, com foco especial nas cidades de Senador Sá e Miráima, no Estado do Ceará.

Por diferentes aspectos e disciplinas, o livro propõe uma abordagem interdisciplinar e integrada, explorando temas como a química verde, a física aplicada à energia renovável, a biologia na conservação da biodiversidade, a matemática na modelagem de sistemas sustentáveis, entre outros. Além disso, o material construído destaca a importância da educação científica e do engajamento comunitário como pilares fundamentais para a implementação de práticas sustentáveis.

Este e-book é uma celebração do poder transformador das ciências básicas e um chamado à ação para integrar esse conhecimento em todos os aspectos de nossas vidas. Esperamos que ele inspire outros a explorar e implementar soluções sustentáveis em suas próprias comunidades, contribuindo para um futuro mais justo e equilibrado para todos.



# SUMÁRIO

---

## Capítulo 1

**Integrando biologia e matemática para a sustentabilidade:  
Explorando as fronteiras da conservação da biodiversidade.....7**

*Anderson D. F. Pedrosa*

## Capítulo 2

**Química: A Ciência Central para o Desenvolvimento Sustentável....17**

*Pablo Gordiano Alexandre Barbosa*

*Fátima Itana Chaves Custódio Martins*

## Capítulo 3

**Uso racional de recursos da área da saúde.....43**

*Ernando Igo Teixeira de Assis*

*Felipe Ferreira da Silva*

*Miguel Fernandes de Lima Neto*

## Capítulo 4

**Tratamento de Material Orgânico Via Mecanismo de Biodigestão.....57**

*Francisco Amílcar Moreira Junior*

*Marcus Vinicius Freire Andrade*

## Capítulo 5

**Competências verdes e a formação em saúde: diálogos entre ensino,  
pesquisa e extensão.....69**

*Jordana Alves Melo*

*Ana Beatriz Oliveira Marques dos Santos*

*Daniele Paula Alves Mouta*

*Íris Araújo Rodrigues Braz*

*Anderson Weiny Barbalho Silva*

## Capítulo 6

**Horta Escolar e Sustentabilidade: Promovendo Alimentação  
Saudável.....91**

*Sueline Cavalcante Chaves Costa*

## Capítulo 7

### **Ciências básicas e o uso de animais para desenvolvimento de pesquisa sustentável: o uso dos 3Rs.....99**

*Alana Nogueira Godinho*

*Anelise Maria Costa Vasconcelos Alves*

*Maurício Francisco Vieira Neto*

*Jordânia Marques de Oliveira Freire*

*Anderson Weiny Barbalho Silva*

## CAPÍTULO 8

### **Biotecnologia na perspectiva da pesquisa farmacológica para o desenvolvimento sustentável ..... 121**

*Jairla Sousa Marcelino*

*Ellen Maria Moreira Machado*

*Íris Araújo Rodrigues Braz*

*Alana Nogueira Godinho*

*Anderson Weiny Barbalho Silva*

*Jordânia Marques de Oliveira Freire*

## CAPÍTULO 9

### **A importância da Medicina na implementação de estratégias para o controle da poluição do ar em atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável na sociedade ..... 137**

*Anna Railissa Ponte Veras Magalhães*

*Francisco Breno de Sousa Nobre*

*Rhanna Karyne Rodrigues Muniz*

*Jordânia Marques de Oliveira Freire*

*Alana Nogueira Godinho*

*Anderson Weiny Barbalho Silva*

## Capítulo 10

### **Empreendedorismo sustentável no Ceará: Um estudo sobre práticas, impactos e desafios.....149**

*Raimundo Pedro Justino de Orlanda*

*Izabelly de Matos Ferreira Orlanda*

## Capítulo 11

### **O papel da mulher no cotidiano da produção científica ..... 163**

*Alana Nogueira Godinho*

## INTEGRANDO BIOLOGIA E MATEMÁTICA PARA A SUSTENTABILIDADE: EXPLORANDO AS FRONTEIRAS DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

*Anderson D. F. Pedrosa<sup>1</sup>*

### 1. Introdução

Galileu Galilei (1567-1642) entendeu a matemática como uma ferramenta universal e fundamental para compreender o mundo ao nosso redor quando nos deixou a reflexão: "A matemática é a linguagem em que Deus escreveu o universo". No contexto da ecologia, a matemática se torna indispensável para decifrar e interpretar os complexos processos e interações que ocorrem na natureza. A interdisciplinaridade entre biologia e matemática tem revelado novos horizontes no campo da sustentabilidade, permitindo uma abordagem mais precisa e eficiente na conservação da biodiversidade.

A integração de modelos matemáticos em estudos ecológicos não é apenas uma tendência, mas uma necessidade. Modelos como os de crescimento populacional exponencial e logístico, além dos modelos de interação entre espécies, como os de Lotka-Volterra, são exemplos de como a matemática pode ajudar a prever dinâmicas populacionais, entender relações ecológicas e fornecer insights valiosos para a gestão e preservação de ecossistemas. Essas ferramentas matemáticas permitem que cientistas ecológicos testem hipóteses, façam previsões e tomem decisões informadas com base em dados quantitativos.

---

<sup>1</sup> Docente do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Sobral, Ceará, Brasil. E-mail para correspondência: anderson.pedrosa@ifce.edu.br.

Ao explorar as fronteiras da conservação da biodiversidade, é essencial adotar uma abordagem interdisciplinar que combine conhecimentos de biologia e matemática. A utilização de modelos matemáticos não só facilita a compreensão das dinâmicas ecológicas, mas também ajuda a desenvolver estratégias sustentáveis para a conservação de espécies e habitats. Integrar esses conhecimentos pode revelar soluções inovadoras e eficazes para os desafios ambientais que enfrentamos hoje.

Neste capítulo, discutiremos como a aplicação de modelos matemáticos pode melhorar nossas práticas de conservação e promover a sustentabilidade. Vamos explorar estudos de caso que demonstram a eficácia dessa abordagem interdisciplinar, bem como destacar a importância de uma colaboração contínua entre biólogos e matemáticos. Ao unir essas duas disciplinas, podemos avançar em direção a um futuro mais sustentável, em que a conservação da biodiversidade é alcançada com base em dados sólidos e análises precisas.

## **2. Modelos matemáticos aplicados à ecologia**

### *2.1 Modelagem da dinâmica populacional*

A modelagem da dinâmica populacional é uma área fundamental da ecologia matemática. Esta utiliza ferramentas matemáticas para descrever e prever o comportamento de populações biológicas ao longo do tempo. O livro *Mathematics for Ecology and Environmental Sciences*, em tradução livre “Matemática para Ecologia e Ciências Ambientais”, aborda essa temática ao explorar tanto os modelos de crescimento populacional quanto os modelos de interação entre as espécies. Um exemplo são os modelos exponenciais. Esses modelos são usados para descrever o crescimento populacional em condições ideais, em que os recursos são ilimitados e não há restrições ambientais significativas. A equação básica do modelo exponencial é dada por:

$$dN/dt = rN$$

Onde:

- $dN/dt$  é a taxa de variação do tamanho da população ao longo do tempo
- $N$  é o tamanho da população
- $r$  é a taxa de crescimento per capita

Nesse modelo, a população cresce continuamente a uma taxa proporcional ao seu tamanho atual, resultando em um crescimento exponencial. Embora este modelo seja simples e idealizado, ele fornece uma base importante para entender o crescimento populacional em situações em que os recursos não são limitantes.

Por outro lado, os modelos logísticos introduzem a ideia de capacidade de carga do ambiente ( $K$ ), que é o tamanho máximo da população que o ambiente pode sustentar. A equação do modelo logístico é dada por:

$$dN/dt = rN(1 - N/K)$$

Onde:

- $K$  é a capacidade de carga do ambiente

Nesse outro modelo, a taxa de crescimento populacional diminui à medida que a população se aproxima da capacidade de carga do ambiente. Inicialmente, o crescimento pode ser quase exponencial, mas eventualmente desacelera e se estabiliza quando  $N$  se aproxima de  $K$ . O modelo logístico é mais realista para muitas populações naturais, pois considera as limitações ambientais.

## *2.2 Modelos de interação entre espécies*

Neste subtópico, trataremos dos modelos de Lotka-Volterra. Esses modelos são usados para descrever as interações entre duas espécies. Eles são amplamente aplicados para estudar predação, com-

petição e mutualismo. As equações básicas para predação (modelo presa-predador) são:

$$\begin{aligned}dN_1/dt &= r_1 N_1 - aN_1N_2 \\dN_2/dt &= -r_2 N_2 + bN_1N_2\end{aligned}$$

Onde:

- $N_1$  é a população da presa
- $N_2$  é a população do predador
- $r_1$  é a taxa de crescimento da presa na ausência de predadores
- $r_2$  é a taxa de decaimento do predador na ausência de presas
- $a$  é a taxa de predação per capita
- $b$  é a eficiência de conversão das presas em novos predadores

No modelo presa-predador, a população de presas cresce exponencialmente na ausência de predadores, enquanto a população de predadores decai. A interação entre predadores e presas resulta em oscilações cíclicas, onde o aumento na população de presas leva ao aumento na população de predadores, que então reduz a população de presas, resultando em uma diminuição subsequente na população de predadores.

Já para modelos de competição, as equações de Lotka-Volterra são modificadas para incluir os efeitos competitivos entre duas espécies que competem pelos mesmos recursos:

$$\begin{aligned}dN_1/dt &= r_1N_1(1 - (N_1 + aN_2)/K_1) \\dN_2/dt &= r_2N_2(1 - (N_2 + bN_1)/K_2)\end{aligned}$$

Onde:

- $a$  e  $b$  são os coeficientes de competição que medem o impacto de uma espécie sobre a outra

Por fim, os modelos de mutualismo são usados para descrever interações em que ambas as espécies se beneficiam da presença uma da outra. As equações são semelhantes às da competição, mas os termos de interação têm sinais positivos, indicando um benefício mútuo.

Em suma, a aplicação desses modelos permite prever mudanças nas populações, avaliar o impacto de diferentes fatores ecológicos e desenvolver estratégias eficazes para a conservação e manejo de recursos naturais.

### *2.3. Teoria dos jogos em ecologia*

A teoria dos jogos foi inicialmente desenvolvida na economia para estudar decisões estratégicas em situações de conflito e cooperação. Em ecologia, ela é usada para entender como os organismos interagem uns com os outros e com o ambiente, tomando decisões que afetam sua sobrevivência e reprodução. Ao modelar as interações entre organismos como jogos estratégicos, os ecologistas podem obter insights sobre a evolução das estratégias comportamentais, as dinâmicas populacionais e as interações interespecíficas. Essa abordagem interdisciplinar é essencial para entender a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas naturais.

Os conceitos básicos são os de jogador, estratégia e pagamento. Os **jogadores** são organismos ou espécies que interagem entre si. **Estratégias** são comportamentos ou ações que os organismos podem adotar. Por exemplo, comportamentos de predação, defesa, competição por recursos ou cooperação. Os **pagamentos** representam os resultados das interações, medidos em termos de fitness, ou seja, de sucesso reprodutivo.

A teoria dos jogos pode ser usada para entender como comportamentos cooperativos podem evoluir em populações de organismos. Modelos como o Dilema do Prisioneiro Iterado demonstram como a cooperação pode ser mantida através de estratégias como a tit-for-tat (equidade recíproca). Tal dilema é usado para modelar a evolução

da cooperação. Nele, indivíduos repetem interações e podem ajustar suas estratégias com base no histórico de interações anteriores.

Modelos de jogos competitivos são usados para analisar como as espécies competem por recursos limitados. A dinâmica de "gavião-pomba" é um exemplo clássico: estratégias agressivas e pacíficas são analisadas em termos de seus custos e benefícios. Esse modelo analisa a competição entre indivíduos agressivos (gaviões) e não-agressivos (pombas). O equilíbrio do jogo é determinado pelo custo da agressão e pelo benefício da vitória.

A teoria dos jogos pode modelar interações predador-presa, em que presas desenvolvem estratégias de defesa e predadores desenvolvem estratégias de ataque. A evolução de mimetismo e camuflagem em presas, bem como a adaptação de técnicas de caça em predadores, podem ser analisadas nesse contexto.

Comportamentos altruístas, quando um organismo sacrifica parte do seu sucesso reprodutivo para beneficiar outros, podem ser explicados pela seleção de parentesco. A teoria dos jogos ajuda a modelar essas interações e a entender as condições sob as quais o altruísmo pode evoluir.

Destacam-se dois modelos matemáticos na teoria dos jogos em ecologia, a saber: a) **Equilíbrio de Nash**: uma estratégia de equilíbrio em que nenhum jogador tem incentivo para mudar sua estratégia, dado que os outros jogadores não mudam as suas estratégias e b) **Estratégias Evolutivamente Estáveis**: uma estratégia que, se adotada por uma população, não pode ser invadida por nenhuma estratégia alternativa.

A fim de entender melhor, analisemos um exemplo prático da aplicação dessa teoria no modelo gavião-pomba, que descreve a competição por recursos entre indivíduos de uma mesma espécie.

Imagine uma população de animais que competem por um recurso limitado, como alimento ou território. Os indivíduos dessa população podem adotar uma de duas estratégias:

**Gavião:** Uma estratégia agressiva, em que o indivíduo luta pelo recurso até ganhar ou se machucar seriamente.

**Pomba:** Uma estratégia pacífica, em que o indivíduo evita a luta e foge se confrontado por um gavião.

### Pagamentos

Os pagamentos são os resultados dessas interações, medidos em termos de fitness (sucesso reprodutivo):

- Se dois gaviões se encontram, eles lutam até que um deles se machuque. O vencedor ganha o benefício ( $V$ ), e o perdedor sofre um custo ( $C$ ).
- Se um gavião encontra uma pomba, o gavião ganha o recurso sem luta (benefício  $V$ ) e a pomba foge (custo  $0$ ).
- Se duas pombas se encontram, elas dividem o recurso sem luta (benefício  $V/2$ ).

**Tabela de pagamentos**

	Gavião	Pomba
Gavião	$(V - C) / 2$	$V$
Pomba	$0$	$V / 2$

Supondo que o benefício  $V$  corresponde a 10 unidades de fitness e o custo  $C$  a 20 unidades de fitness:

- Gavião x Gavião: Cada um tem uma chance de 50% de ganhar, então o pagamento médio é  $(10-20)/2 = -5$
- Gavião x Pomba: O gavião sempre ganha, então seu pagamento é 10, e a pomba ganha 0.
- Pomba x Pomba: Elas dividem o recurso, então cada uma recebe 5.

### A tabela de pagamento com estes valores é:

	Gavião	Pomba
Gavião	-5	10
Pomba	0	5

O equilíbrio do jogo, conhecido como Equilíbrio de Nash, ocorre quando nenhuma estratégia tem um incentivo para mudar sua escolha, dado que os outros jogadores não mudam suas estratégias.

Se a população é composta majoritariamente de gaviões, os payoffs (pagamentos, resultados) para os gaviões serão baixos devido às lutas frequentes. Isso favorece a invasão de pombas.

Por outro lado, se a população é composta majoritariamente de pombas, os payoffs para as pombas serão mais baixos, pois as pombas que encontram gaviões perdem sempre. Isso favorece a invasão de gaviões.

O equilíbrio é atingido quando ambas as estratégias coexistem em uma proporção específica que iguala os pagamentos.

### 3. Considerações finais

Observamos como a matemática, uma linguagem universal, desempenha um papel crucial na compreensão dos processos ecológicos complexos. A integração de modelos matemáticos com a biologia não só facilita a interpretação de interações e dinâmicas populacionais, como proporciona ferramentas essenciais para a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas.

Os modelos de crescimento populacional, como os exponenciais e logísticos, oferecem uma visão detalhada das variações no tamanho das populações em resposta a diferentes condições ambientais. Os modelos de interação entre espécies, como os de Lotka-Volterra, ampliam essa análise ao explorar relações ecológicas fundamentais, como predação, competição e mutualismo. A aplicação desses mo-

delos matemáticos em ecologia permite prever tendências populacionais e desenvolver estratégias de manejo eficazes.

A teoria dos jogos, introduzida na ecologia, revela como os organismos tomam decisões estratégicas que influenciam sua sobrevivência e reprodução. Exemplos práticos, como o modelo gavião-pomba, demonstram a utilidade dessa abordagem para entender comportamentos competitivos e cooperativos dentro das populações. A teoria dos jogos também fornece uma base para explorar como estratégias evolutivamente estáveis podem surgir e se manter em ambientes naturais.

Ao longo deste capítulo, ficou evidente a importância da interdisciplinaridade entre biologia e matemática. A colaboração contínua entre as áreas do conhecimento é essencial para enfrentar os desafios ambientais atuais e futuros. Ao unir os métodos quantitativos da matemática com as observações da biologia, podemos avançar significativamente na conservação da biodiversidade e no desenvolvimento de práticas sustentáveis.

Em suma, a integração de biologia e matemática não só enriquece nossa compreensão dos ecossistemas, mas também abre novas possibilidades para a conservação e a sustentabilidade. A aplicação prática dos conceitos teóricos discutidos demonstra o potencial transformador dessa abordagem interdisciplinar, proporcionando uma base sólida para a preservação dos recursos naturais e a promoção de um futuro mais equilibrado e sustentável.

## Referências

ANDRADE, R. F. S.; SANTOS, J. E. dos; ANGELO, H. **Modelagem Matemática em Ecologia: Conceitos, Métodos e Modelos**. São Paulo: Editora Roca, 2007.

BRITO, A. C. **Modelagem Matemática em Biologia**. São Paulo: Editora Blucher, 2006.

EDELSTEIN-KESHET, Leah. **Mathematical Models in Biology**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005.

LOPES, A. M.; BRAGA, L. M. **Aplicações da Matemática na Biologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

MESTRINER, M. A. **Introdução à Modelagem Matemática em Biologia e Ciências Ambientais**. Campinas: Editora UNICAMP, 2012.

OTTO, S. P.; DAY, T. **A Biologist's Guide to Mathematical Modeling in Ecology and Evolution**. Princeton: Princeton University Press, 2007.

TAKEUCHI, Y.; IWASA, Y.; SATO, K. (Org.). **Mathematics for Ecology and Environmental Sciences**. Berlin: Springer, 2016.

# QUÍMICA: A CIÊNCIA CENTRAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

*Pablo Gordiano Alexandre Barbosa<sup>1</sup>  
Fátima Itana Chaves Custódio Martins<sup>2</sup>*

### 1. Introdução

O nosso planeta é um sistema químico que funciona através de processos que ocorrem ciclicamente. A natureza e o meio ambiente desenvolveram-se como um sistema de processos físico-químicos cíclicos, em que matéria e energia fluem continuamente entre o ambiente físico e os seres vivos. Na natureza, não há resíduos ou rejeitos. É interessante observar que essa percepção é claramente consolidada em uma das leis mais fundamentais da Química, enunciada por Antoine Laurent Lavoisier: “Na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”. Nesse cenário, durante a evolução da sociedade humana como uma civilização industrial, com maior ênfase, a partir da Revolução Industrial no séc. XVIII, houve um desenvolvimento e utilização de recursos naturais e de processos industriais um tanto quanto desarmonicos com a lógica do meio ambiente. Essa desarmonia está centrada no fato de que esses processos foram concebidos e conduzidos com base em um sistema linear de funcionamento. Ou seja, extração de recursos, processamento e transformação, utilização e descarte dos resíduos.

---

1 Docente efetivo dos cursos de graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental, Agronomia e Especialização em Gestão Ambiental, Eixo Ambiente, Saúde e Segurança do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Sobral, Ceará, Brasil. E-mail para correspondência: pablo.barbosa@ifce.edu.br.

2 Doutora em Química (Área de concentração: Química Analítica) pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil.

Como destaca Fritjof Capra: “Hoje em dia, um dos fatos que mais opõe economia à ecologia é que os ecossistemas da natureza são cíclicos, ao passo que nossos sistemas industriais são lineares” (Capra, 2002, p. 242). Nessa perspectiva, a química se apresenta como uma ciência protagonista no projeto e na realização de uma sociedade mais sustentável. Os conhecimentos da ciência química são fundamentais para o desenvolvimento de tecnologias mais alinhadas com o padrão de funcionamento dos ecossistemas, com a lógica cíclica natural. A Química, aliada a ciências afins e engenharias, possibilitará a transição de uma economia linear para uma economia cíclica, assim, catalisando o desenvolvimento sustentável (Guarrieiro *et al.*, 2022a).

Neste capítulo, abordaremos uma perspectiva crítica de alguns dos setores-chave, nos quais acreditamos que a química já possibilitou grandes avanços e ainda possuem potencial de desenvolvimento para cenários tecnológicos mais sustentáveis. Esses setores são energias, agricultura e indústria. No setor de energia, exploraremos a importância da química para os avanços na tecnologia do hidrogênio verde (H2V) e da energia solar fotovoltaica. Na agricultura, vamos abordar a técnica sustentável de controle de pragas baseada no uso de feromônios e pesticidas naturais. Finalmente, no setor industrial, abordaremos processos químicos de produção mais limpa (P + L).

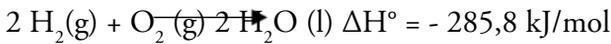
## **2. Química e avanços no setor de energia**

### *2.1 Hidrogênio Verde*

O gás hidrogênio,  $H_2(g)$ , é uma substância incolor, inodora, insípida e inflamável. Está presente no ar atmosférico em concentrações-traço, em torno de 0,000055% em volume. Adicionalmente, grande parte da abundância do elemento se traduz na sua presença em outros compostos químicos, de natureza mineral ou orgânica, como ácidos, bases, proteínas, carboidratos, carvão, petróleo, gás na-

tural, e claro, na água, H<sub>2</sub>O (Girard, 2011; Derisio, 2014; Atkins, Jones e Laverman, 2018).

A energia contida na ligação química entre os átomos de hidrogênio na molécula desse gás (H<sub>2</sub>) pode ser convertida em energia elétrica ou calor. A reação de combustão do gás hidrogênio é significativamente exotérmica, liberando elevada quantidade de energia quando comparada à energia liberada por outros combustíveis. Abaixo, é apresentada a equação química de combustão do gás hidrogênio e a quantidade de energia liberada no processo (variação de entalpia) (Chang; Goldsby, 2011; Guarieiro *et al.*, 2022b).



Embora a temperatura de chama do H<sub>2</sub>(g) seja semelhante à de outros compostos combustíveis, na presença de oxigênio no ambiente, sua propagação, fluuabilidade e velocidade de queima laminar são relativamente mais elevadas. Além das características relacionadas à energia de sua combustão, como via de transformação energética, obtendo-se energia térmica a partir de energia química, também existe a abordagem de produção de energia elétrica a partir da energia química da ligação H-H em sistemas de células eletroquímicas (células de combustível), em que o H<sub>2</sub> é oxidado em um eletrodo de difusão gasosa, enquanto no eletrodo oposto, O<sub>2</sub>, sofre redução, havendo produção de H<sub>2</sub>O.

Além de seu alto poder calorífico, o hidrogênio é o gás reativo mais leve, com obtenção mais econômica a partir de rotas específicas, com a principal vantagem de seu processo de conversão energética produzir emissões livres de carbono (GEE - gases de efeito estufa). Tais vantagens têm destacado nos últimos anos o gás hidrogênio como uma alternativa verde muito promissora para a matriz energética mundial futura e, consequentemente, para uma economia mais sustentável, sendo este denominado “hidrogênio verde” ou simplesmente H2V (Guarieiro *et al.*, 2022b).

### 2.1.1 Por que “hidrogênio verde”?

No campo tecnológico da obtenção de  $H_2(g)$  e dos processos envolvidos, há um padrão de classificação baseado em um “sistema de cores”. Cada cor está relacionada com uma via energética, processo industrial e pegada de gases de efeito estufa (GEE). Na tabela 8.1, temos a síntese desta classificação, de maneira que o “hidrogênio verde” (H2V) é definido como o gás hidrogênio produzido através do processo de eletrólise da água, com tal sistema eletrolítico utilizando fontes de energia elétrica renováveis, como a eólica e a solar. O  $H_2(g)$  produzido dessa maneira também é considerado um produto de emissões mínimas de carbono (GEE), ou mesmo de emissão zero (Gei, 2024).

### **Entendendo a eletrólise**

A eletrólise é um processo no qual reações químicas são promovidas através da aplicação de corrente elétrica no sistema. Esse processo é um tema estudado na grande área da físico-química, mais especificamente no campo da eletroquímica. Os sistemas em que são conduzidos esses processos químicos são denominados de células eletrolíticas. Esses tipos de células eletroquímicas são configurados geralmente com dois eletrodos (ânodo e cátodo) mergulhados em um mesmo eletrólito (solução iônica ou água), conectados a uma fonte de diferença de potencial (d.d.p.). Os íons presentes na solução eletrolítica conduzem a corrente elétrica através da solução, ocorrendo reações eletroquímicas (reações redox) na interface eletrodo-eletrólito (Chang; Goldsby, 2011; Atkins; Jones; Laverman, 2018).

**Tabela 1** - Sistema de classificação do hidrogênio quanto à tecnologia de produção, fonte energética e pegada de carbono/gases de efeito estufa (GEE)

Classificação	Tecnologia de produção	Fonte de energia elétrica	Pegada de GEE
H <sub>2</sub> Verde	Eletrólise	Eólica/solar/geotérmica	Mínima
H <sub>2</sub> Rosa	Eletrólise	Nuclear	Mínima
H <sub>2</sub> Amarelo	Eletrólise	Energia de rede mista	Média
H <sub>2</sub> Azul	Reforma do gás natural / carvão + CCUS	Gás natural / carvão	Baixa
H <sub>2</sub> Turquesa	Pirólise	Gás natural	Média (subproduto sólido de carbono)
H <sub>2</sub> Cinza	Reforma do gás natural	Gás natural	Média
H <sub>2</sub> Marrom	Gaseificação do carvão	Carvão marrom (lignito)	Alta
H <sub>2</sub> Preto	Gaseificação do carvão	Carvão negro	Alta

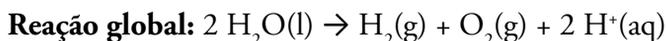
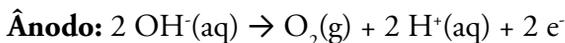
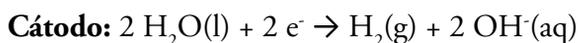
**Fonte:** adaptado de Global Energy Infrastructure – GEI. <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/>

O ânodo é o eletrodo em que ocorrem os processos de oxidação, denominado como polo positivo (+), enquanto os processos de redução ocorrem no cátodo, sendo este o eletrodo denominado como polo negativo da célula (-). As meias-reações em cada eletrodo, somadas, formam a reação química total do processo. Cada uma das reações possuem o seu potencial de eletrodo em volts, resultando no potencial da célula eletrolítica (volts) da reação total. As reações conduzidas via processo eletrolítico são não espontâneas, de maneira que, para que ocorram, a diferença de potencial gerada pela fonte externa deve ser maior do que a diferença de potencial que seria produzida pela reação inversa (Chang; Goldsby, 2011; Atkins; Jones; Laverman, 2018).

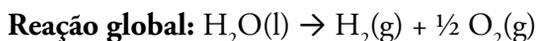
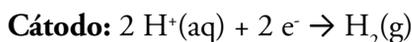
No caso da produção de hidrogênio verde, esse processo é conduzido na água (H<sub>2</sub>O), utilizando energia elétrica proveniente de

unidades eólicas e/ou fotovoltaicas solares, podendo ser conduzido em meio alcalino (eletrólise alcalina) ou meio ácido (eletrólise ácida). Abaixo são apresentadas as semirreações e reações globais nessas diferentes abordagens de reatores:

*Eletrólise alcalina:*



*Eletrólise ácida:*

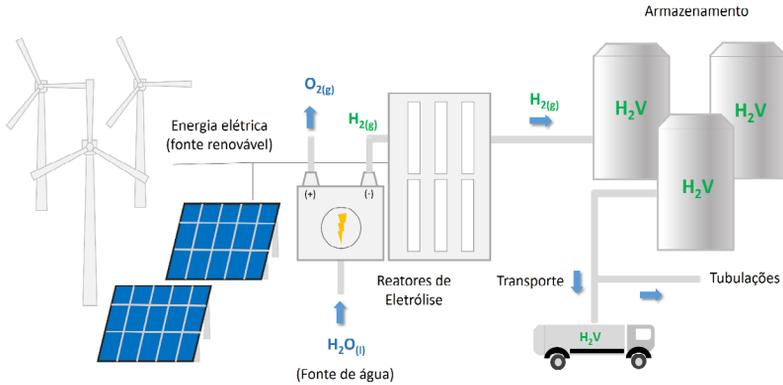


Muito tem-se pesquisado na área de química industrial, engenharia química, biotecnologia, harmonizadas com estudos nos campos das energias renováveis, para avaliar diversas abordagens tecnológicas alternativas para a produção de hidrogênio verde como vetor energético. Entretanto, atualmente, a eletrólise se apresenta como a tecnologia mais viável para produzir gás hidrogênio a partir da água, sendo a tecnologia de produção escolhida para as unidades de produção de hidrogênio verde em matrizes energéticas sustentáveis (Guarieiro *et al.*, 2022b).

A eletrólise, sendo um processo eletroquímico no qual reações químicas são processadas a partir da introdução de energia elétrica no sistema, levanta uma questão importante a ser considerada no campo da produção de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ): qual tipo de fonte de energia elétrica é utilizado no processo? Como abordado na Tabela 8.1, o hidrogênio verde é o hidrogênio gasoso obtido por uma abordagem tecnológica baseada em fontes de energia ambientalmente amigáveis

e renováveis, como energia eólica e solar. Nesse sentido, surge outro aspecto a ser destacado: o fato de que o hidrogênio verde, na verdade, se trata de um “vetor energético” eficiente e limpo, e não de uma fonte de energia propriamente dita. As fontes de energia de fato são a eólica e/ou solar.

**Figura 1** - Representação simplificada do fluxo de produção de H<sub>2</sub>V



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

### 2.1.2 Aplicações do H<sub>2</sub>V

Após sua produção, o hidrogênio verde pode ser armazenado como gás, líquido pressurizado ou absorvido em materiais. O hidrogênio final tem potencial para diversos usos que podem conferir um perfil mais renovável para a matriz energética e para a economia. Sendo um vetor energético versátil, não poluente, a energia química contida no H<sub>2</sub>V tem a possibilidade de ser convertida em diferentes tipos de energia, incluindo a elétrica, fonte de energia para indústrias químicas de base e de transformação, assim como ser usado como combustível no setor de transportes (terrestre, aviação e marítimo). Essa adaptabilidade do H<sub>2</sub>V permitiria a cada região/país utilizar da forma econômica e ambientalmente mais adequada à sua realidade (Portal da Indústria, 2024).

O H<sub>2</sub>V é promissor para ser reconvertido em energia elétrica a partir de células de combustível ou em usinas de turbinas a gás.

Entretanto, é ainda um desafio tornar o sistema de H<sub>2</sub>V viável para ligação direta à rede elétrica, no que se refere à eficiência do sistema, considerada ainda pouco atraente. Com certas melhorias tecnológicas, poderá futuramente substituir fontes energéticas baseadas em combustíveis fósseis. Dentro dessa perspectiva, a possibilidade futura é o estoque de energia excedente de fontes eólicas e/ou fotovoltaicas, a partir do armazenamento de H<sub>2</sub>V, evitando assim a ativação de usinas termelétricas baseadas em carvão mineral, óleo ou gás natural (Guarrieiro *et al.*, 2022b; Portal do Hidrogênio Verde, 2024).

Para além do uso como vetor energético, a tecnologia de produção de hidrogênio verde pode ser uma via sustentável para obtenção de gás hidrogênio H<sub>2</sub> voltada para a aplicação em diversos setores industriais. Como, por exemplo, na produção de amônia na indústria de fertilizantes, indústria farmacêutica, petroquímica (em processos de hidrogenação), siderúrgica, indústria de cimento, vidro, cerâmica e diversos outros setores (Portal do Hidrogênio Verde, 2024).

Em síntese, com base no que os especialistas têm sugerido, o hidrogênio verde é uma alternativa sustentável promissora para ser aplicado na geração de energia elétrica, energia térmica, como matéria-prima industrial e como combustível no setor de transportes. Porém, alguns desafios científicos e tecnológicos precisam ser contornados. A seguir, serão enumerados alguns deles.

### 2.1.3 Desafios para a viabilidade do H<sub>2</sub>V

Para além dos avanços que destacam o H<sub>2</sub>V como alternativa viável para o futuro da matriz energética e economia do planeta, alguns desafios ainda estão a dificultar um início de transição de um sistema baseado em combustíveis fósseis para um sistema baseado em hidrogênio verde. Dentre os principais desafios, podemos citar:

**Armazenamento e distribuição:** Considerada uma questão chave, ainda há entraves práticos no armazenamento de H<sub>2</sub>(g) devido a sua alta volatilidade e inflamabilidade. Uma alternativa para esses

riscos seria seu armazenamento na forma líquida (pressurizado), diluído em gás natural ou mesmo agregado através de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Dessa forma, poderia ser viável a distribuição via tubulações similares às de gás natural.

**A tecnologia de produção ainda é cara:** Ainda são necessários melhoramentos científicos e tecnológicos para tornar a produção e uso do  $\text{H}_2\text{V}$  competitivo economicamente frente a outras vias energéticas. A pesquisa e o desenvolvimento na área química e de engenharia são indispensáveis para isso, sendo necessários para obter sistemas de eletrólise mais eficientes, assim como abordagens mais seguras e eficientes para os usos do hidrogênio nos setores potenciais citados aqui.

**Disponibilidade de matéria-prima:** Para que a via de produção por eletrólise da água seja possível, é indispensável a pesquisa e desenvolvimento na área química para viabilizar a eletrólise a partir de água do mar ou águas residuárias, tendo em vista a escassez de água doce e a importância desse recurso para outros usos sociais, econômicos e ambientais.

## *2.2 Energia Solar Fotovoltaica*

A energia solar é a fonte de energia mais básica para o planeta; porém, ainda não se enquadra como a mais amplamente usada pela sociedade. Apesar da significativa evolução e utilização da energia solar nas últimas décadas, essa modalidade energética possui vantagens ambientalmente interessantes, mas também limitações tecnológicas ainda em estudo.

Dentre as abordagens utilizadas para geração de energia elétrica via energia solar, destaca-se a energia solar fotovoltaica. Nessa tecnologia, a eletricidade é gerada a partir da radiação solar, com a conversão baseada no “efeito fotovoltaico”. Tudo ocorre nas estruturas de um sistema constituído de material semicondutor, em que uma voltagem (d.d.p.) é gerada a partir da absorção de luz solar

pelo material, produzindo corrente elétrica no interior do sistema. As unidades desse sistema são denominadas de células fotovoltaicas, com um conjunto de células fotovoltaicas constituindo os painéis fotovoltaicos, que são parte essencial do aparato tecnológico para a geração elétrica (Portal Solar, 2024).

É nesse ponto que temos o protagonismo da ciência química, mais especificamente das pesquisas sobre química de materiais, embasando a pesquisa e desenvolvimento de materiais semicondutores e otimizações para a aplicação mais eficiente dessa tecnologia.

### *2.2.1 Semicondutores e mecanismo das células fotovoltaicas*

Os semicondutores são materiais sólidos, condutores eletrônicos, que diminuem sua resistência à condução com o aumento da temperatura. Esses materiais têm possibilitado grandes avanços na indústria eletrônica em geral, aplicados principalmente na fabricação de chips e microchips, como também das células fotovoltaicas.

Um dos nichos de pesquisa crucial nesse setor, em que a ciência química, com o conhecimento em química de materiais, desempenha um papel fundamental, é a otimização dos semicondutores para aumentar sua eficiência na condução de corrente elétrica. A capacidade de um semicondutor em transportar corrente elétrica pode ser melhorada através de modificações químicas no material, denominadas de dopagem. Essas modificações consistem em adicionar pequenas quantidades de “impurezas” (elementos químicos que aumentam a disponibilidade de elétrons dentro do material) no sólido semicondutor, potencializando a corrente elétrica quando for gerada uma d.d.p. (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

## 2.2.2 Principais materiais semicondutores em células e painéis fotovoltaicos

No início do desenvolvimento das células fotovoltaicas, o elemento químico silício (Si) foi o material predominante na estruturação desses dispositivos. Com a evolução das pesquisas, foram observadas e utilizadas diferentes formas de silício: silício monocristalino, silício policristalino e silício amorfo. Também resultaram desses estudos os materiais denominados “filmes finos”, os quais possibilitaram melhorias em relação às células cristalinas de silício, pois requerem menor quantidade de energia em seu processo de fabricação, assim como células solares orgânicas, constituídas por compostos orgânicos ligados a elementos metálicos (Lima *et al.*, 2019).

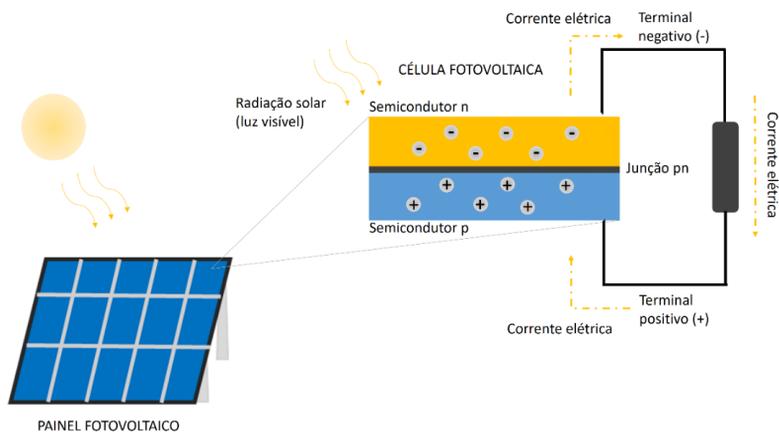
Assim, outros materiais foram usados na constituição das células fotovoltaicas, como as células de arseneto de gálio (GaAs), telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre e índio (CuInSe<sub>2</sub>). No campo de pesquisa da química, foram estudados e desenvolvidos diferentes processos químicos para síntese desses materiais, visando à alta pureza e eficiência energética (Portal Solar, 2024).

Dentre os principais elementos químicos aplicados como dopantes, destacam-se os elementos fósforo (P) e boro (B). Os dopantes são classificados em dois grupos: “dopantes n” e “dopantes p”, com o fósforo sendo denominado dopante n (-), pois é um elemento doador de elétrons para o processo de condução eletrônica na célula fotovoltaica, e o elemento boro sendo denominado dopante p (+), já que atua como receptor de elétrons na condução. Outro elemento utilizado como dopante n é o arsênio (As), assim como o elemento índio (In) pode ser utilizado como dopante p (Atkins; Jones; Laverman, 2018; Portal Solar, 2024).

Para um entendimento básico da estrutura da célula fotovoltaica, certa quantidade de átomos de dopante n (como o fósforo) é adicionada a uma estrutura constituída de silício, produzindo um semicondutor tipo n (-), contendo excesso de elétrons (cargas nega-

tivas). Da mesma forma, uma certa quantidade de átomos de dopante p (como o boro) é adicionada a outra estrutura paralela de silício, produzindo um semicondutor tipo p (+), contendo o que se denomina de “lacunas”, que funcionam como “compartimentos” que possibilitam o transporte de elétrons provenientes da estrutura do semicondutor tipo n. Essas lacunas equivalem à presença de cargas positivas (+). A junção de uma camada de semicondutor tipo n com uma camada de semicondutor tipo p forma uma célula fotovoltaica, permitindo que a corrente elétrica flua na direção do semicondutor n para o semicondutor p, quando a radiação solar (luz visível) promove a excitação dos elétrons. A soma de milhares dessas células, em uma macroestrutura unificada, forma o painel fotovoltaico (Lima *et al.*, 2019).

**Figura 2** - Geração de energia elétrica via energia solar (mecanismo na célula fotovoltaica)



**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Muitas pesquisas ainda são conduzidas para melhorar a eficiência energética desses sistemas, visando tornar a energia solar fotovoltaica ainda mais atrativa do ponto de eficiência energética, e, consequentemente, torná-la economicamente mais interessante para atuar como alternativa sustentável para a matriz energética dos países. Como podemos ver, a pesquisa científica no desenvolvimento e melhoria dos materiais semicondutores, englobando os conhecimentos

e tecnologias da química de materiais, situa a química como ciência estratégica para esse campo.

### 3. Química e potencialidades na agricultura sustentável

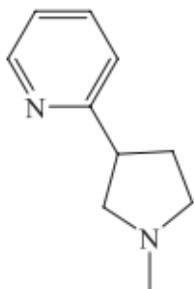
#### 3.1 *Pesticidas Naturais*

O Brasil possui liderança mundial no setor de agronegócios. Em contrapartida, cresce anualmente sua dependência por produtos importados, incluindo agrotóxicos sintéticos. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a utilização de produtos químicos para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas mais que dobrou em dez anos. Esses dados preocupam os diversos segmentos da sociedade e têm levado a uma demanda crescente por alternativas mais sustentáveis (EMBRAPA, 2024).

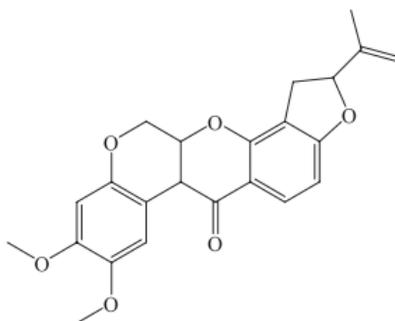
O uso de inseticidas naturais no controle de pragas agrícolas é uma prática com grande potencial de sustentabilidade no setor, pois permite a produção de alimentos isentos de substâncias tóxicas sintéticas, combinando uma prática ambientalmente amigável com a produção de alimentos mais seguros. O emprego de pesticidas naturais combina ações químicas e biológicas para o controle da plantação de maneira mais sustentável.

É importante destacar que, desde a época do Império Romano, são utilizados extratos de plantas como inseticidas. Como exemplos, podemos destacar as piretrinas extraídas de flores do crisântemo, os rotenoides, preparados a partir de algumas espécies de *Faboideae*, e a nicotina, de plantas do gênero *Nicotiana* (Ahmed *et al.*, 2021). A nicotina, extraída das folhas de fumo (*Nicotiana tabacum*), começou a ser usada para controlar insetos em jardins, prática realizada até hoje. Já a rotenona é isolada de raízes de *Derris elliptica*, planta comum na Malásia e na Indonésia, bem como de espécies de *Lonchocarpus* existentes na África e América do Sul. A rotenona é utilizada desde o final do século XIX para o controle de lagartas.

**Figura 3** - Representações estruturais das moléculas de pesticidas naturais nicotina e rotenona



Nicotina



Rotenona

Nesse sentido, existe uma variedade de plantas cujas atividades inseticidas têm sido investigadas, apresentando potencial de efeitos variados, podendo ser tóxico ao inseto-alvo, repelente ou ter poder esterilizante. Em particular, as plantas tropicais constituem rica fonte de substâncias com ação inseticida. O mesmo efeito ocorre em plantas de regiões áridas e semiáridas (Aylara *et al.*, 2023).

Um exemplo de planta que com potencial inseticida é o nim, uma árvore procedente da Índia que se adaptou bem ao Brasil. Diversas pesquisas nos últimos anos têm constatado a presença de compostos com ação contra determinados insetos. Tais pesquisas já identificaram em torno de 150 substâncias de interesse comercial presentes nas folhas e nos frutos do nim indiano. O nim indiano, para uso como inseticida natural, é um exemplo prático e eficiente de controle de pragas que promove uma agricultura sustentável e segura. Ao minimizar o uso de produtos químicos sintéticos, o nim ajuda a proteger o meio ambiente e a saúde humana, ao mesmo tempo que mantém a eficácia no controle de pragas agrícolas. O nim é empregado no controle de pragas nas lavouras de milho e feijão. Trata-se de uma espécie com múltiplos usos nos setores agrícola, florestal e industrial (Cotticelli *et al.*, 2023; Formentini; Alves; Schapovaloff, 2017).

O extrato das folhas do nim não é tóxico para os seres humanos nem agride o meio ambiente. Segundo o pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Belmiro Pereira Neves, o nim combate, de forma eficiente, mais de 120 espécies de insetos. As folhas dessa árvore podem ser utilizadas para produzir inseticida natural, através de um processo simples e barato (EMBRAPA, 2024).

Para a aplicação efetiva desses compostos no controle de pragas em lavouras, é necessário a condução de processos de extração, em espécies vegetais ricas desses bioativos, sendo implementados procedimentos de trituração e maceração. Tais procedimentos não oferecem riscos de degradação química dos componentes bioativos, que serão usados como pesticidas naturais. Entretanto, processos de extração que envolvem temperaturas elevadas só devem ser implementados se houver evidências de que os compostos não são termicamente sensíveis (Formentini; Alves; Schapovaloff, 2017).

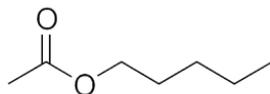
Nesse ponto, as pesquisas em química de produtos naturais, um importante campo da química orgânica, são fundamentais para o estudo e identificação de novos compostos naturais com potencial inseticida, assim como para o desenvolvimento de métodos mais eficientes de obtenção dessas substâncias em escalas viáveis.

### 3.2 Controle de pragas usando feromônios

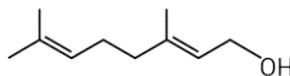
Os feromônios são compostos orgânicos naturais, secretados por alguns seres vivos para comunicar informações entre indivíduos da mesma espécie, como atrair um parceiro (feromônios sexuais), marcar território ou indicar a presença de alimento (Mori, 2010). Um exemplo clássico é o das abelhas, que fazem uso de feromônios para alertar sobre a ocorrência de algum sinal de perigo, sinalizar onde contém água, ou mesmo a rota do néctar das flores até a colmeia. A seguir são apresentadas as representações estruturais químicas de moléculas de feromônios liberadas pelas abelhas da espécie *Apis mellifera*. Um destes compostos, o acetato de isoamila, que é um composto classificado

no grupo funcional dos ésteres, é liberado como sinalizador químico de perigo, enquanto o outro composto, o 3,7-dimetil-oct-2,6-dienol, um álcool insaturado, é liberado para indicar a localização de água ou a trilha até o néctar das flores (Mishra *et al.*, 2020).

**Figura 4** - Representações estruturais das moléculas de feromônios de abelhas *Apis mellifera*.



Acetato de isoamila



3,7-dimetil-oct-2,6-dienol

Do exposto anteriormente, é interessante destacar o fato de que compostos com estruturas moleculares diversas promovem ação de sinalização também diversa, ao mesmo tempo e, que possuem especificidade de comunicação química ativa apenas em indivíduos da mesma espécie (Mishra *et al.*, 2020).

Uma vez que pesquisadores nas áreas de química orgânica, química de produtos naturais, entomologia e agronomia consolidaram conhecimentos sobre essas moléculas e suas atividades, novas técnicas de controle de pragas em culturas agrícolas utilizam os próprios feromônios de insetos predadores dessas culturas. Pesquisas, geralmente nas áreas de química orgânica e química de produtos naturais, têm conduzido estudos para isolamento e identificação estrutural desses feromônios, que são, em seguida, sintetizados em laboratório e utilizados nos aparatos de captura em campo (Souza *et al.*, 2023).

O controle de pragas usando feromônios é uma abordagem inovadora e ambientalmente amigável, que tem alcançado popularidade na agricultura e no controle de pragas em ambientes urbanos. Essas técnicas usam os feromônios para interromper o ciclo de reprodução dos insetos-alvo, reduzindo a necessidade de pesticidas químicos (Zarbin *et al.*, 2009).

A abordagem técnica usada é geralmente do tipo “armadilha química” ou dispensadores. Um exemplo tradicional, os controles ba-

seados em feromônios sexuais são utilizados para atrair os insetos machos para armadilhas ou dispensadores. Os feromônios sexuais das fêmeas são sintetizados e liberados em armadilhas ou dispositivos, distribuídos estrategicamente para atrair os machos, em uma área específica. Os machos são naturalmente atraídos pelo odor dos feromônios, pois interpretam isso como um sinal de uma fêmea pronta para o acasalamento. Esses indivíduos são capturados ou expostos a substâncias que os tornam estéreis, reduzindo assim a população reprodutiva. Alternativamente, os feromônios podem ser usados para confundir os machos, interferindo na capacidade de encontrar fêmeas para o acasalamento. Ambas as técnicas, atração sexual e confusão sexual, visam interromper o ciclo reprodutivo dos insetos-alvo na área da cultura agrícola, reduzindo os danos à produtividade da lavoura (Zarbin *et al.*, 2009).

Os avanços dos métodos sustentáveis na agricultura dependem do conhecimento de química para identificar, sintetizar e aplicar essas substâncias de maneira eficaz. Técnicas analíticas avançadas, como cromatografia gasosa e líquida (CG e CL), espectrometria de massa (EM) e espectrometria de ressonância magnética nuclear (RMN), são utilizadas para identificar e quantificar feromônios a partir dos insetos secretores, em formulações e no ambiente. As pesquisas nas áreas de isolamento e identificação de compostos orgânicos, síntese de compostos orgânicos e química analítica, são essenciais para novas descobertas e desenvolvimento de tecnologias no campo de controle de pragas usando feromônios.

## **4 Química e processos industriais de produção mais limpa (P + L)**

### *4.1 P + L (Produção Mais Limpa)*

O conhecimento de química desempenha um papel crucial na busca por processos industriais e laboratoriais mais sustentáveis, especialmente através do conceito de produção mais limpa. Aqui

estão algumas maneiras simples de como a química pode contribuir para isso:

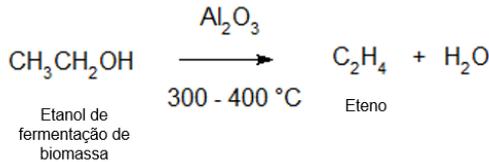
### **Design de processos eficientes**

O design de processos eficientes na química é crucial para a sustentabilidade da indústria química. A abordagem tem como pilares a minimização de resíduos, a eficiência energética e o uso de recursos renováveis e segurança, visando desenvolver processos que não só atendam às necessidades econômicas, mas também protejam o meio ambiente e promovam a saúde pública. Adotar esses princípios é essencial para a criação de uma indústria química mais verde e sustentável.

A produção de polietileno é um exemplo significativo de um processo químico industrial que evoluiu para ser altamente eficiente e adaptável às necessidades de mercado e sustentabilidade. Com avanços contínuos em catalisadores e processos de polimerização, a indústria está se movendo em direção a métodos de produção mais ecológicos e energeticamente eficientes, como exemplificado pelo desenvolvimento do polietileno verde (Azeko *et al.*, 2023).

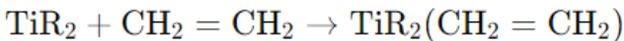
O polietileno (PE) é um dos plásticos mais utilizados no mundo, encontrado em produtos como sacolas plásticas, embalagens, garrafas e muitos outros itens. Tradicionalmente, o polietileno é produzido a partir de eteno derivado do petróleo. Embora reciclável, a taxa de reciclagem do polietileno ainda é relativamente baixa, levando ao acúmulo de resíduos plásticos e aumento da poluição ambiental. Com o crescente foco na sustentabilidade, a indústria de polietileno tem se concentrado na produção de polietileno através de uma rota química alternativa, usando como matéria-prima biomassa renovável (como cana-de-açúcar) sintetizada a partir do etanol. Um processo sustentável que reduz significativamente a pegada de carbono desse subsetor industrial (Kikuchi *et al.*, 2013).

As etapas do processo envolvem fermentação, desidratação do etanol e polimerização do eteno. A biomassa, no caso a cana-de-açúcar, é colhida e processada para extrair os açúcares. Esses açúcares são fermentados por leveduras para produzir etanol. O etanol é desidratado para formar eteno ( $C_2H_4$ ), o principal monômero usado na produção de polietileno. A desidratação é feita passando o etanol por um catalisador, como alumina ( $Al_2O_3$ ), a altas temperaturas ( $300-400^\circ C$ ), produzindo eteno e água, conforme reações a seguir:

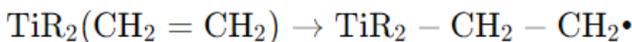


O eteno obtido é então polimerizado em um reator de polimerização para formar polietileno. Esse processo de polimerização pode ser feito por diversos métodos (polimerização em fase gasosa, em solução, ou em suspensão) utilizando catalisadores específicos, como o catalisador Ziegler-Natta ou catalisadores de metaloceno. Os catalisadores Ziegler-Natta são utilizados para a produção de polietileno de alta densidade (HDPE) e polietileno linear de baixa densidade (LLDPE). Esses catalisadores permitem maior controle sobre a estrutura do polímero, resultando em polímeros lineares. A seguir, uma descrição das etapas do processo químico da polimerização:

**Coordenação:** O eteno se coordena ao centro metálico do catalisador (geralmente titânio ou zircônio em combinação com alquilalumínio).



**Inserção:** A inserção da molécula de eteno na ligação metal-carbono.



**Propagação:** A repetição da inserção de eteno para alongar a cadeia polimérica.



**Terminação:** O processo de terminação pode ocorrer de várias maneiras, como a transferência de hidrogênio ou a reação com outro monômero.

O polietileno verde, assim como o polietileno convencional, não é biodegradável, isto é, não é degradado por micro-organismos, como fungos e bactérias. Assim, quando são descartados, eles acabam permanecendo no meio ambiente por décadas e até séculos, agravando ainda mais o problema de acúmulo de lixo e poluição da água, solo e ar. Apesar disso, entre os benefícios do polietileno verde, podemos destacar que a cana-de-açúcar absorve  $\text{CO}_2$  da atmosfera durante seu crescimento, o que compensa as emissões de  $\text{CO}_2$  durante o processamento do etanol e a produção do polietileno, resultando em uma pegada de carbono menor em comparação ao polietileno tradicional. Além disso, o etanol é produzido a partir de biomassa renovável, como a cana-de-açúcar, em vez de petróleo. A produção de polietileno por esta vi, apresenta-se como um caso marcante de design de processos eficientes na indústria química (Kikuchi *et al.*, 2013).

### Uso eficiente de água e energia

Um excelente exemplo de como a química pode ajudar no uso eficiente de água e energia em processos industriais mais sustentáveis é a implementação de catálise heterogênea em reações químicas industriais. A catálise heterogênea é um processo cinético no qual os reagentes e o catalisador encontram-se em fases diferentes. No geral, o catalisador, empregado para acelerar o processo reacional, é um sólido e os reagentes são gases ou líquidos. Na indústria química, esse é

o tipo mais importante de catálise, pois está especialmente associado à síntese de produtos químicos essenciais (Chang; Goldsby, 2011). Além disso, é um processo amplamente utilizado industrialmente devido à sua eficiência e sustentabilidade.

O emprego de catálise heterogênea em processos de oxidação de compostos orgânicos torna possível o uso de catalisadores sólidos, como óxidos metálicos, permitindo a oxidação em condições mais suaves e com menos solventes. Na produção de biodiesel a partir de óleos vegetais ou gorduras animais com álcoois, por transesterificação, utilizam-se catalisadores sólidos, reduzindo a necessidade de lavagem e tratamento de efluentes aquosos, o que também permite a operação contínua do processo, minimizando o uso intermitente de água para limpeza e manutenção. Como produtos dessa reação temos o biodiesel e o glicerol, um subproduto que pode ser usado em várias aplicações industriais, como na indústria de cosméticos, para produção de hidratantes de cremes dentais. Os benefícios associados ao processo estão relacionados tanto à redução no consumo de água — já que a utilização de menos solventes líquidos reduzem a demanda por água — como à geração de menos resíduos aquosos, o que reflete uma diminuição da carga de efluentes líquidos sobre as instalações de tratamento de água. Pode-se acrescentar ainda que o uso de catalisadores sólidos evita a formação de subprodutos tóxicos que podem surgir com catalisadores homogêneos, além de serem frequentemente menos tóxicos e mais amigáveis ao meio ambiente (Behera; Mishra, 2023).

### **Substituição de substâncias perigosas**

Um exemplo de como substituir substâncias tóxicas para tornar processos industriais e mesmo laboratoriais mais sustentáveis é a substituição do cromo hexavalente (Cr VI) por alternativas menos tóxicas, como o cromo trivalente (Cr III), em processos de galvanização.

plastia, para aplicação de revestimentos protetores de metais, como a cromagem decorativa.

A cromagem decorativa é um tipo de revestimento metálico que tem como objetivo melhorar a aparência estética de peças ou objetos. Esse procedimento consiste em aplicar uma camada fina de cromo sobre um metal base, como ferro, aço, alumínio ou latão. A camada de cromo confere brilho, cor e resistência à corrosão aos objetos, sendo utilizada em diversos setores.

O processo de cromagem se dá por meio de um banho eletrolítico, no qual a peça ou objeto a ser revestido é imerso em uma solução aquosa contendo sais de cromo. Uma corrente elétrica é aplicada entre a peça e um ânodo (eletrodo positivo), fazendo com que os íons de cromo se depositem sobre a superfície da peça, formando uma camada uniforme e aderente. O objeto a ser recoberto (metal ou plástico coberto por grafite) é o cátodo, e o eletrólito é uma solução, em água, de um sal do metal a ser depositado. O metal é depositado no cátodo pela redução dos íons da solução do eletrólito, que são fornecidos pelo sal adicionado ou através da oxidação do ânodo, feito do metal de deposição (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

Um serviço de cromagem decorativa deve seguir as boas práticas de produção e gestão ambiental, pois o processo de cromagem gera resíduos que podem ser tóxicos para o meio ambiente e para a saúde humana. Tradicionalmente, o Cr (VI) costumava ser usado em processos de galvanoplastia para aplicar revestimentos protetores em metais. No entanto, por se tratar de um metal altamente tóxico e carcinogênico, e causar riscos para o meio ambiente, o Cr (III) tem sido promovido como uma alternativa mais segura e ecológica para o Cr (VI) em processos de revestimento de metais. Pode-se acrescentar que a substituição do cromo hexavalente por cromo trivalente minimiza ou mesmo elimina uma etapa necessária, que é a de tratamento de efluentes líquidos e sólidos gerados, outro aspecto muito importante no que se refere à otimização da sustentabilidade do processo.

## 5. Considerações finais

A contribuição da ciência química para a consolidação de uma sociedade ambientalmente sustentável, através da pesquisa e desenvolvimento de processos que fortaleçam a economia cíclica, transcendendo os tópicos explanados neste capítulo. Entretanto, acreditamos que os casos abordados apresentam exemplos de impacto em setores estratégicos como energia, agricultura e indústria, trazendo clareza sobre a centralidade da pesquisa e desenvolvimento em química e tecnologias químicas para o propósito da sustentabilidade.

O hidrogênio verde é hoje pauta mundial como uma alternativa para a matriz energética renovável, guardando potencial de revolucionar esse setor, que é a uma força motriz da economia. Os avanços nas pesquisas por pesticidas naturais e técnicas ambientalmente amigáveis de controle de pragas, como as armadilhas químicas com feromônios, são, igualmente, um caminho a ser fortalecido na busca por uma produção agrícola harmonizada com o meio ambiente e mais segura para a produção de alimentos, incluindo os alimentos industrializados.

Por fim, os avanços em pesquisas para otimização de rotas químicas mais limpas para a indústria de base e transformação, com o conceito de produção mais limpa (P + L), consolidam a proposta de esclarecimento da centralidade da química para o desenvolvimento sustentável.

## Referências

AHMED, N. *et al.* Botanical Insecticides Are a Non-Toxic Alternative to Conventional Pesticides in the Control of Insects and Pests. **Global Decline of Insects**. 2021. DOI: 10.5772/intechopen.100416

ATKINS, P.; JONES, L., LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

AYILARA, M. S. *et al.* Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1040901.

AZEKO, S.T. *et al.* Eco-friendly green composites reinforced with recycled polyethylene for engineering applications. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 25, n. 4, p. 2431-2441, 2023. DOI: 10.1007/s10163-023-01701-z.

BEHERA, N., MISHRA, A. Green Chemistry and Catalysis: Current Challenges and Future Perspectives. In: BASKAR, C., RAMAKRISHNA, S., DANIELA LA ROSA, A. (eds.). **Encyclopedia of Green Materials**. Singapore: Springer Nature, 2023. DOI: 10.1007/978-981-16-4921-9\_227-1.

CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. Tradução de Marcelo Brandão Cipolla. São Paulo: Cultrix, 2005.

CHANG, Raymond; GOLDSBY, Kenneth A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COTTICELLI, A.; MATERA, R.; PISCOPO, N.; BOSCO, A.; CLAPS, S.; DEL SERRONE, P.; ZORATTI, A.; CASTALDO, E.; VENEZIANO, V.; RUFRANO, D.; *et al.* Efficacy and Safety of Neem Oil for the Topical Treatment of Efficacy and Safety of Neem Oil for the Topical Treatment of Bloodsucking Lice *Linognathus stenopsis* in Goats under Field Conditions. **Animals**, v. 13, 2023. DOI: 10.3390/ani13152541.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

PROSA RURAL. Uso do nim indiano no controle de pragas do milho e do feijão. **Embrapa**, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2619742/prosa-rural---uso-do-nim-indiano=-no-controle-de-pragas-do-milho-e-do-feijao#:~:text=O%20nim%20pode%20ser%20utilizado,nos%20frutos%20do%20nim%20indiano>. Acesso em: 12 maio 2024.

FORMENTINI, M. A.; ALVES, L. F.; SCHAPOVALOFF, M. E. Insecticidal activity of neem oil against *Gyropsylla spegazziniana* (**Hemiptera: Psyllidae**) nymphs on Paraguay tea seedlings. **Braz. J. Biol.**, São Carlos, v. 76, n. 4, p. 951-954, 2017.

GIRARD, James E. **Principles of environmental chemistry**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GLOBAL ENERGY INFRASTRUCTURE (GEI). **Hydrogen data telling a story**. *Global Energy Infrastructure*, 10 mar. 2021. Disponível em: <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/>. Acesso em: 12 maio 2024.

GUARIEIRO, L. L. N. *et al.* Reaching Circular Economy through Circular Chemistry: The Basis for Sustainable Development. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 33 n. 12, p. 1353-1374, 2022a. Disponível em: [https://jbc.sbcq.org.br/pdf/2021-0359RV\\_ChemSustainDev](https://jbc.sbcq.org.br/pdf/2021-0359RV_ChemSustainDev). Acesso em: 10 maio 2024.

GUARIEIRO, L. L. N. *et al.* Technological Perspectives and Economic Aspects of Green Hydrogen in the Energetic Transition: Challenges for Chemistry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 33 n. 8, p. 844-869, 2022b. Disponível em: [https://jbc.sbcq.org.br/pdf/2021-0359RV\\_ChemSustainDev](https://jbc.sbcq.org.br/pdf/2021-0359RV_ChemSustainDev). Acesso em: 10 maio 2024.

KIKUCHI, Y., *et al.* Environmental Performance of Biomass-Derived Chemical Production: A Case Study on Sugarcane-Derived Polyethylene. **Journal of Chemical Engineering of Japan**, v. 46, n. 4-7, p. 319-325, 2013.

LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8d-MHk7CDmSfs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2024.

MISHRA, S. S. *et al.* Insect Pheromones and Its Applications in Management of Pest Population. In: KUMAR, D., SHAHID, M. (eds.). **Natural Materials and Products from Insects: chemistry and applications**. Cham: Springer, 2020.

MORI, KENJI. Chemical Synthesis of Hormones, Pheromones and Other Bioregulators. Chichester: **John Wiley & Sons**, Ltd. 2010.

NASCIMENTO, R. F. do *et al.* **Cromatografia gasosa**: aspectos teóricos e práticos. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2018. 334 p.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Indústria de A a Z – Hidrogênio verde**. Disponível em: [https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/hidrogenio-verde/#:~:text=Benef%C3%ADcios%20do%20Hidrog%C3%AAnio%20Verde%3A%20Fonte,processos%20prejudiciais%20ao%20meio%20ambiente](https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/hidrogenio-verde/#:~:text=Benef%C3%ADcios%20do%20Hidrog%C3%AAnio%20Verde%3A%20Fonte,processos%20prejudiciais%20ao%20meio%20ambiente.). Acesso em: 16 maio 2024.

PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE ALIANÇA BRASIL-ALEMANHA. **Aplicações do hidrogênio verde no Brasil**. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br/noticia/aplicacoes-do-hidrogenio-verde-no-brasil/>. Acesso em: 10 maio 2024.

PORTAL SOLAR. **Células solares: o que são e como funcionam**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celulas-solares>. Acesso em: 20 maio 2024.

SOUZA, J. P. A., *et al.* Recent advances in the synthesis of insect pheromones: an overview from 2013 to 2022. **Natural Product Reports**, v. 40, p. 866-889, 2023.

ZARBIN, P. H.G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009.

### USO RACIONAL DE RECURSOS DA ÁREA DA SAÚDE

*Ernando Igo Teixeira de Assis<sup>1</sup>  
Felipe Ferreira da Silva<sup>2</sup>  
Miguel Fernandes De Lima Neto<sup>2</sup>*

#### 1. Introdução

A gestão de recursos em saúde é uma prática administrativa que visa melhorar o funcionamento das organizações, combinando de forma eficiente os recursos disponíveis. Por meio de ações eficientes, eficazes e efetivas, busca garantir que a instituição atinja seus objetivos (Vieira *et al.*, 2023). Estima-se que 10% a 30% dos cuidados de saúde em todo o mundo são desperdiçados, de pouco ou nenhum valor ou prejudiciais para os pacientes. A utilização de recursos escassos para prestar cuidados de baixo valor é uma preocupação importante do sistema de saúde, com implicações em termos de custos de oportunidade, pelo que os recursos poderiam ter sido atribuídos a cuidados alternativos com benefícios potencialmente maiores. Identificar áreas de cuidados de baixo valor é um primeiro passo antes da implementação de estratégias para resolver a questão (Tyack *et al.*, 2024).

Globalmente, os sistemas de saúde enfrentam o desafio de maximizar o valor dos recursos financeiros, mantendo ou melhorando a qualidade e a eficiência dos cuidados, mesmo com orçamentos reduzidos ou de crescimento lento. Esses desafios incluem a subutilização de serviços benéficos, o uso inadequado de serviços que são úteis em alguns contextos, mas não em outros, e o uso excessivo de serviços (Ellen *et al.*, 2018).

---

1 Biomédico, Doutorando em biotecnologia pela RENORBIO/UFC.

2 Mestre em biotecnologia. Doutorando em biotecnologia pela RENORBIO/UFC. E-mail para correspondência: ernandoigor@gmail.com.

A educação em saúde exige o desenvolvimento de um pensamento crítico e reflexivo, permitindo a compreensão da realidade e a proposição de ações transformadoras que conduzam o indivíduo à autonomia e emancipação como sujeito histórico e social. Isso capacita as pessoas a participarem nas decisões de saúde, cuidando de si, de suas famílias e da comunidade. Essa postura crítica é essencial para o uso racional de recursos, representando um componente fundamental na promoção de boas práticas na área da saúde (Bernardo, 2023).

A pandemia causada pelo SARS-CoV-2 representa um dos maiores eventos de saúde desde a gripe espanhola de 1918, com efeitos sociais, econômicos e humanitários mais amplos do que a pandemia de HIV/AIDS na década de 1980 (Guedes *et al.*, 2023). O uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) é essencial para evitar ou reduzir a transmissão de microrganismos durante a assistência ao paciente. Num primeiro momento, a desinformação e o pânico ocorreram na compra e estocagem descontrolada desses produtos pela população, resultando em deficiências e comprometendo a proteção de quem realmente precisava. Além disso, o uso irracional dos EPIs afetou a realização de atividades em hospitais e clínicas. Já o descarte inadequado desses materiais impactou o meio ambiente. Portanto, torna-se evidente a importância do uso racional de recursos essenciais para garantir a segurança e a qualidade no fluxo de atividades na área da saúde (Silva Pinheiro *et al.*, 2023).

## **2. Cenário atual do uso de recursos na saúde em diferentes contextos**

Em se tratando do uso de recursos na saúde, um assunto muito relevante para o tema deve ser abordado: a Avaliação das Tecnologias em Saúde (ATS). A ATS é uma prática científica e tecnológica que busca avaliar a segurança, a eficácia e a efetividade das tecnologias de saúde, como medicamentos, materiais e equipamentos. Originou-se nos sistemas de saúde dos países desenvolvidos da Europa Ocidental, a partir dos anos 1970, e se disseminou globalmente nas últimas décadas. No Brasil, a ATS também desempenha um papel importante na incorporação de tecnologias nos sistemas de saúde (Novais; Soares, 2020).

Entretanto, mesmo atualmente, ainda enfrentamos desafios do passado, como a dificuldade em garantir os recursos públicos necessários, principalmente financeiros, para o setor. Essa limitação impõe restrições à garantia de atenção adequada para toda a população. Além disso, estamos passando por uma transformação no paradigma da saúde, buscando evitar doenças em vez de apenas tratá-las. As grandes inovações do século, incluindo avanços tecnológicos e a resposta à pandemia de Covid-19, impactam diretamente o uso de recursos na saúde (Szwarcwald *et al.*, 2021).

Para 2024, algumas tendências e desafios se destacam. O sistema atual está focado no tratamento da doença, mas é necessário priorizar a prevenção (Campbell *et al.*, 2022). A falta de coordenação entre os níveis de atenção à saúde leva a gastos desnecessários e duplicação de esforços. A centralização do tratamento em doenças estabelecidas pode ser vista como uma abordagem reativa, em que os recursos são alocados predominantemente para lidar com problemas de saúde após seu surgimento, ao invés de evitar que eles ocorram em primeiro lugar (Carnut *et al.*, 2020).

Historicamente, os sistemas de saúde foram estruturados em torno da resposta a doenças agudas e crônicas. Essa estrutura resulta em uma alta concentração de recursos em hospitais e serviços especializados, em que a atenção está voltada para intervenções médicas, cirurgias e tratamentos farmacológicos. Esse modelo é altamente eficaz em emergências e para o manejo de doenças graves e complexas, mas apresenta limitações significativas quando se trata de enfrentar desafios de saúde pública de forma sustentável e a longo prazo (Menicucci, 2014).

### **3. Diretrizes e políticas nacionais e internacionais que promovem o uso racional de recursos na saúde**

A saúde sempre foi um fator importante para a sociedade. Através dos índices de saúde da população, é possível fazer inferências a respeito do desenvolvimento e bem-estar social. Por isso, os investimentos em saúde estão entre os principais enfoques, tanto de forma

positiva quanto negativa, nas discussões políticas. Fator determinante para a eficiência e sustentabilidade dos serviços prestados à população, é fundamental haver o uso racional dos recursos destinados à saúde (Moreira, 2013).

No Brasil, diversas políticas e programas vêm sendo implementados, objetivando melhorar a aplicação de recursos destinados à saúde. Como exemplos de políticas voltadas a essa finalidade, tem-se a Política Nacional de Promoção da Saúde (PNPS) e a Estratégia Saúde da Família (ESF) (Murta *et al.*, 2021). A PNPS é uma ação desenvolvida de forma a impulsionar ações de prevenção e promoção da saúde e, dessa forma, reduzir a necessidade de intervenções mais onerosas. Nesse sentido, a ESF busca maximizar o uso racional de recursos de saúde na atenção básica brasileira. Esta tem a sua atenção focada na prevenção e cuidado continuado, o que, por sua vez, contribui de forma significativa na redução da sobrecarga dos serviços de emergência nos hospitais (Pimentel *et al.*, 2022).

No âmbito internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS) vem desempenhando um papel fundamental no estabelecimento de diretrizes voltadas ao uso racional de recursos na saúde. Nesse quesito, a Carta de Genebra enfatiza que a saúde é uma escolha política e os governos detêm o papel de desempenhar essa promoção (OMS, 1986). Assim, entende-se que é necessário haver governos comprometidos com a garantia da saúde de suas populações. Entendendo-se a saúde como um direito humano e um dos mais importantes determinantes da equidade e do bem-estar social (Saadati; Nadrian, 2024).

Além disso, a cooperação entre diferentes níveis de governo e a colaboração com organismos internacionais ajudam a fortalecer as políticas de saúde, garantindo que estejam alinhadas com as melhores práticas globais. Esse alinhamento facilita a troca de experiências e conhecimentos, contribuindo para a construção de um sistema de saúde mais sustentável e eficiente (Carvalho *et al.*, 2022).

#### **4. Estratégias para uso racional de recursos e iniciativas bem-sucedidas**

O uso de recursos e insumos na área da saúde é algo inerente à própria atividade. No dia a dia, os profissionais de saúde precisam utilizar diferentes métodos de proteção individual através do uso de toucas, máscaras, luvas, aventais cirúrgicos, entre outros. Além disso, as atividades requerem a utilização de diferentes insumos hospitalares, em sua maioria de uso único e descartável. Todos os resíduos gerados dessas atividades precisam ser adequadamente destinados, visando, principalmente, à segurança pública e proteção à saúde. Mas, apesar de as políticas e dos métodos de descarte de resíduos hospitalares já serem amplamente difundidos e estabelecidos, existem outras formas de uso mais sustentável desses materiais e insumos, visando diminuir essa geração? Ademais, os setores da saúde objetivam, principalmente, proteger a saúde da população, mas estariam estes preocupados e planejados em estabelecer estratégias para a diminuição da emissão de poluentes ambientais que impactam diretamente a própria saúde que visam proteger?

Hospitais, por exemplo, são ambientes com rotina e demandas intensas com funcionamento integral e alto padrão de consumo de recursos, como alimentos, energia e água. A alta demanda de atividades possui grande potencial na geração de resíduos e poluentes. Nesse sentido, é importante que haja ações voltadas à sustentabilidade hospitalar. Entre práticas sustentáveis comuns em hospitais, podem ser destacados o uso de fontes de captação de água, reuso da água e utilização de energias renováveis, como a energia solar. Em relação ao gerenciamento de resíduos, diferentes ações podem ser tomadas, como reciclagem e tratamento de efluentes. Ter uma estação própria de tratamento dos efluentes hospitalares evita o despejo na rede de esgotos de possíveis contaminantes e ainda possibilita o reuso da água para práticas não potáveis, como lavagem e irrigação.

No entanto, nenhuma prática sustentável pode ser implementada sem que haja conscientização e preocupação ambiental pelos ges-

tores, o que implica em como a equipe deve ser motivada a apoiar as metas de sustentabilidade de suas organizações. As medidas de sustentabilidade nas estruturas de saúde precisam garantir que a qualidade dos serviços prestados não seja comprometida. O projeto “Sou responsável — Racionalizando Recursos por um Hospital Universitário sustentável” é uma iniciativa do Hospital Universitário da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). Seu objetivo principal é conscientizar sobre a importância do uso racional dos insumos utilizados nas rotinas de trabalho para garantir a manutenção da sustentabilidade hospitalar, por meio da criação e implementação do “Plano de Racionalização de Consumo”. Nesse sentido, é estimulado que todos os setores que compõem a unidade de saúde analisem suas atividades e busquem estratégias que possibilitem o uso mais racional dos recursos e materiais. Mais informações sobre a iniciativa podem ser encontradas no site do projeto [assessoriahuunivas.wixsite.com/souresponsavel](http://assessoriahuunivas.wixsite.com/souresponsavel).

No Brasil, já existem iniciativas e estratégias adotadas por hospitais quando se trata de sustentabilidade na área da saúde. Porém, a sustentabilidade nas instituições hospitalares ainda está em processo de amadurecimento. Oliveira (2019) destaca a crescente demanda de hospitais brasileiros buscando a sustentabilidade e a redução de custos operacionais. O autor coloca a incorporação do chamado *Green Healthcare*, que consiste no alcance de diversos princípios ambientalmente sustentáveis. No entanto, segundo o autor, esses princípios ainda não foram totalmente alcançados por unidades de saúde. Além disso, destaca que as ações e estratégias utilizadas priorizam a gestão de resíduos, energia e estrutura física das unidades. Em relação a essas estruturas físicas, é importante a utilização de grandes janelas de ventilação, áreas verdes, locais abertos e arejados. Não obstante, deve-se reforçar a utilização de materiais sustentáveis nos projetos dos edifícios hospitalares (Alves, 2017). A Rede Sarah Kubistchek é um exemplo de estrutura verde no Brasil, demonstrando como a arquitetura pode ter função terapêutica, preenchida por luz e ventilação natural, conforto ambiental e de economia de

energia, sendo referência nacional e reconhecida internacionalmente (Paris; Souza; Souza, 2016). Referências internacionais são o Hospital Infantil de Seattle, nos Estados Unidos, no sentido de redução dos impactos ambientais, e o hospital *Ospedale Dell'Angelo*, na Itália, o qual prioriza jardins e paisagismo (Brasil, 2015).

Uma revisão recente apresentou o estado atual da arte e os cenários futuros de pesquisa sobre saúde sustentável através da análise de publicações científicas entre os anos de 2013-2022 (Berniak-Woźny; Rataj, 2023). Constatou-se que o conceito de sustentabilidade na área da saúde vem se popularizando, mas revelou lacunas nas questões levantadas. Por exemplo, no que diz respeito à gestão de recursos, o foco está principalmente na gestão de resíduos, como pelo gerenciamento dos Resíduos Sólidos de Saúde (RSS) fundamentado pela legislação brasileira através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Mas, para Gomes (2015), ainda existem fragilidades em unidades hospitalares brasileiras quando se trata da reutilização, reciclagem e destinação adequada dos resíduos. No mais, pouca ou nenhuma pesquisa foi encontrada sobre gestão de energia, gestão da água, transporte e alimentos. Embora existam iniciativas e profissionais para o setor de sustentabilidade em saúde, elas representam pouco em relação a todas as necessidades. Nesse sentido, a chave e o ponto principal para implementação de estratégias e medidas sustentáveis e uso racional de recursos devem se concentrar, principalmente, na gestão de energia, água, transporte e alimentos.

Uma investigação no setor de alimentação e nutrição de quatro hospitais brasileiros destacou as medidas adotadas para a promoção da sustentabilidade ambiental, como através de treinamentos, infraestrutura física e logística dos insumos e resíduos (Silva; Carneiro; Cardoso, 2022). No entanto, estes não realizavam práticas simples, como iluminação adequada, realização do controle de temperatura dos alimentos, aproveitamento integral de alimentos e controle de

restos, o que pode impactar diretamente no desperdício e destinação correta dos resíduos gerados.

Outro estudo recente destaca os desafios na sustentabilidade para dispositivos médicos (Hinrichs-Krapels *et al.*, 2022). Segundo os pesquisadores, a saúde é um dos setores mais intensivos na emissão de gases causadores de efeito estufa e poluentes atmosféricos tóxicos causados pela fabricação, uso e/ou descarte desses dispositivos. Nesse sentido, o cenário ideal envolveria a compra de dispositivos médicos e consumíveis ambientalmente sustentáveis e com baixo consumo elétrico, mas as realidades de alcançar isso são desafiadoras e exigem muitas reflexões e orientações. Assim, para esta e outras questões relacionadas, fazem-se necessários conscientização e conhecimento acerca das legislações pela gestão hospitalar e fiscalização pelos órgãos competentes. É imprescindível a atuação de comissões internas e externas nas intervenções educativas e na incorporação das ações ambientais, utilizando a liderança estratégica associada à vigilância em saúde para promover mudanças na organização, redução de custos e aproveitamento de recursos (Gomes, 2015).

Recentemente, enfrentamos um grave problema de saúde pública desencadeado pela pandemia de Covid-19 e a prevenção tornou-se uma parte fundamental no controle e efeitos da doença. Os equipamentos de proteção individual foram uma parte importante na prevenção e controle da pandemia. Porém, sua alta demanda em todo o mundo fez com que houvesse um maior controle e otimização do uso para racionamento. Dentre as estratégias utilizadas, incentivou-se o uso pela população de máscaras não médicas feitas de material têxtil. Apesar de não apresentarem alta eficiência de proteção, foram úteis para diminuir a propagação do vírus, principalmente quando associado a outras medidas de precaução (NCIRD, 2020). Além disso, devido à escassez dos equipamentos de proteção, os profissionais de saúde foram desafiados a reutilizar e/ou desinfetar os itens que deveriam ser descartáveis e de uso único. Porém, não há eficácia comprovada dessas práticas, além de que o reuso e a descontaminação inadequada podem trazer riscos para o profissional (Mahmood

*et al.*, 2020). Para os autores, estratégias gerais incluíam seguir as orientações do fabricante para desinfetar e reprocessar o EPI. A inspeção de rotina do material de proteção deveria ser realizada, juntamente com a substituição do equipamento se a integridade estivesse comprometida. De todo modo, apesar da devastação causada, as estratégias e iniciativas tomadas auxiliaram no controle da pandemia.

Alcançar a sustentabilidade nos cuidados de saúde é um enorme desafio para esta geração. Uma grande questão é que, além de todas as dificuldades comuns a prestadores de serviços na área da saúde, as unidades de saúde ainda têm também o desafio de fomentar ações sustentáveis, tornando-se um grande desafio econômico e social para os serviços de saúde. No entanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido para que haja de fato um uso racional, eficiente e consciente dos recursos da área da saúde.

## **5. Benefícios no uso racional de recursos**

O uso de recursos e insumos na área da saúde é algo inerente à própria atividade.

A gestão de recursos na área da saúde pode ser determinada pelo uso de tecnologias com ênfase na atenção centrada no paciente, por meio de equipes multiprofissionais de cuidado. A aplicação desse sistema em ambientes hospitalares beneficia diretamente o paciente, que pode receber tratamento de forma rápida e eficaz, possibilitando seu pronto restabelecimento e retorno à comunidade (Barela *et al.*, 2020).

Os avanços tecnológicos na área da saúde, incluindo a introdução da tecnologia e o desenvolvimento de aparelhos modernos e sofisticados, trouxeram consideravelmente benefícios na luta contra as doenças. Essas inovações, criadas para servir ao ser humano, resolveram problemas anteriormente insolúveis e melhoraram significativamente as condições de vida e saúde dos pacientes. Além disso, a tecnologia moderna reduz o uso de papel, minimizando o impacto ambiental associado ao descarte desses materiais (Barra *et al.*, 2009).

No contexto brasileiro, o uso racional de medicamentos é definido como o processo que engloba a prescrição adequada, a disponibilidade oportuna, a dispensação correta e o consumo conforme as doses, intervalos e períodos indicados de medicamentos eficazes, seguros e de qualidade. Considerando que os medicamentos representam uma parcela significativa dos gastos públicos e não são substâncias isentas de risco, promover o uso adequado desses recursos é crucial para racionalizar os custos e melhorar a qualidade dos tratamentos em saúde, além de evitar o uso indevido ou o descarte inadequado (Monteiro; Lacerda, 2016).

A educação dos usuários sobre o uso de medicamentos é essencial para promover mudanças de comportamento e atitudes que melhorem as condições de saúde. As ações de educação em saúde envolvem a aprendizagem sobre diferentes aspectos das doenças e fazem parte da promoção da saúde, considerando os conhecimentos e práticas da população. Isso cria um vínculo entre a maneira de pensar e agir no cotidiano, não apenas em situações de doença, e garante que os medicamentos estejam disponíveis para aqueles que realmente precisam (Dandolini *et al.*, 2012).

## **6. Considerações finais**

A gestão racional de recursos na área da saúde é essencial para garantir a sustentabilidade e a eficiência dos sistemas de saúde, beneficiando tanto os pacientes quanto a sociedade. A utilização de tecnologias avançadas e equipes multiprofissionais permite tratamentos rápidos e eficazes, facilitando o restabelecimento dos pacientes. Os avanços tecnológicos, incluindo a informática e os aparelhos modernos, revolucionaram o combate às doenças, melhoraram as condições de vida e contribuíram para a sustentabilidade ambiental ao reduzir o uso de papel. No Brasil, o uso racional de medicamentos otimiza os gastos públicos e melhora a qualidade dos tratamentos. A prescrição adequada e o consumo correto de medicamentos eficazes e seguros são essenciais para evitar desperdícios.

cios e garantir a melhor utilização dos recursos. Portanto, uma gestão racional de recursos em saúde, aprimorada por políticas eficazes, educação e avanços tecnológicos, é fundamental para construir um sistema de saúde sustentável, eficiente e equitativo, que atenda às necessidades da população e promova o bem-estar social.

## Referências

ALVES, H. S. **Métodos e práticas de sustentabilidade no edifício hospitalar 8DJU**. 2017, Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2019.

BARELA, J. *et al.* Sistema kanban e o uso racional de recursos em unidades de internação de um hospital público/ Sistema Kanban e o uso racional de recursos em unidades hospitalares públicas. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 11, p. 92699-92717, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-617.

BERNARDO, A. L. O. **Promover a educação em saúde através da orientação sobre o uso racional de medicamentos: um projeto de extensão no ensino tecnológico em farmácia**. 2023, Dissertação (Mestrado). Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2023.

BERNIAK-WOŹNY, J.; RATAJ, M. Towards Green and Sustainable Healthcare: A Literature Review and Research Agenda for Green Leadership in the Healthcare Sector. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 2, p. 908, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20020908.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2015). **Qualificação e sustentabilidade das construções dos estabelecimentos assistenciais de saúde**. Ministério da Saúde, Organização Pan-Americana da Saúde. Brasília: Ministério da Saúde.

CAMPBELL, N.R.C. *et al.* Diretrizes de 2021 da Organização Mundial da Saúde sobre o tratamento medicamentoso da hipertensão arterial: repercussões para as políticas na Região das Américas. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 46, 2022. DOI: 10.26633/RPSP.2022.55.

CARNUT, L.; MENDES, Á.; LEITE, M. G. Metodologias para alocação equitativa de recursos financeiros em saúde: uma revisão integrativa. **Saúde em Debate**, v. 126, p. 902-918, 2020. ISSN 2358-2898. DOI: 10.1590/0103-1104202012624.

CARTA DE OTTAWA PARA PROMOÇÃO DA SAÚDE. **Promoção Internacional da Saúde**, v. 1, n. 4, p. 405, 1986. DOI: 10.1093/heapro/1.4.405.

CARVALHO, F.; AKERMAN, M.; COHEN, S. A dimensão da atenção à saúde na Promoção da Saúde: apontamentos sobre a aproximação com o cuidado. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 3, e210529pt, 2022.

DA SILVA PINHEIRO, M. *et al.* Pandemia de covid-19: uso racional de equipamentos de proteção individual (EPI). In: **Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares**. 2023.

DANDOLINI, B. W. *et al.* Uso racional de antibióticos: uma experiência para educação em saúde com escolares. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 1323-1331, 2012.

ELLEN, M. E. *et al.* Abordando o uso excessivo de serviços de saúde nos sistemas de saúde: uma síntese interpretativa crítica. **Política de Pesquisa de Sistemas de Saúde**, v. 16, p. 48, 2018. DOI: 10.1186/s12961-018-0325-x.

GOMES, J. S. **Entre “rejeitos”, riscos e resíduos: perspectivas e desafios no gerenciamento de resíduos em hospitais públicos do Estado do Pará**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2015.

GUEDES, H. C. dos S. *et al.* Tecnologias de informação como suporte organizacional para ações de enfrentamento da COVID-19: discurso de enfermeiros. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 31, p. e3855, 2023.

HINRICHS-KRAPELS, S.; DIEHL, J. C.; HUNFELD, N.; VAN RAAIJ, E. Towards sustainability for medical devices and consumables: The radical and incremental challenges in the technology ecosystem. **Journal of Health Services Research & Policy**, v. 2, n. 4, p. 253-254, 2022. DOI: 10.1177/13558196221110416.

MAHMOOD, S. U. *et al.* Strategies for Rational Use of Personal Protective Equipment (PPE) Among Healthcare Providers During the COVID-19 Crisis. **Cureus**, v. 12, n. 5, e8248, 2020. DOI: 10.7759/cureus.8248.

MENICUCCI, T. M. G. História da reforma sanitária brasileira e do Sistema Único de Saúde: mudanças, continuidades e a agenda atual. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 1, p. 77-92, 2014. DOI: 10.1590/S0104-59702014000100004.

MONTEIRO, E. R.; LACERDA, J. T. Promoção do uso racional de medicamentos: uma proposta de modelo avaliativo de gestão municipal. **Saúde em Debate**, v. 40, p. 101-116, 2016.

MOREIRA, L. M. A. **A prevalência de alterações e emoções a sua relação com o bem-estar físico e qualidade de vida nos usuários da Clínica Pedagógica de Fisioterapia da Universidade Fernando Pessoa**. 2013, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Fisioterapia). Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2013.

MURTA, S G. *et al.* **Promoção da Saúde e Prevenção de Agravos à Saúde**: diálogos de Norte a Sul. Porto Alegre: Rede Unida, 2021.

NATIONAL CENTER FOR IMMUNIZATION AND RESPIRATORY DISEASES (U.S.). DIVISION OF VIRAL DISEASES. **Use of cloth face coverings to help slow the spread of COVID-19**. (Coronavirus Disease 2019 - COVID-19). 2020.

NOVAES, H. M. D.; SOÁREZ, P. C. D. A Avaliação das Tecnologias em Saúde: origem, desenvolvimento e desafios atuais. Panorama Internacional e Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 9, e00006820, 2020. DOI: 10.1590/0102-311X00006820.

OLIVEIRA, K. B. **Identificação e sistematização de boas práticas e dificuldades no desenvolvimento dos princípios do green healthcare em organizações hospitalares**. 2019, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Guaratinguetá, SP, 2019.

PARIS, P.; SOUZA, C. R. B.; SOUZA, D. B. Arquitetura hospitalar: diretrizes para avaliação de qualidade, conforto e sustentabilidade. **Revista Thêma et Scientia**, v. 6, n. 2, p. 8-33, 2016.

PIMENTEL, V. R. de M.; SOUSA, M. F. de; MENDONÇA, A. V. M. Comunicação em saúde e promoção da saúde: contribuições e desafios, sob o olhar dos profissionais da Estratégia Saúde da Família. **Physis: Revista de SAÚDE COLETIVA**, v. 03, 2022. DOI: 10.1590/S0103-73312022320316.

SAADATI, F.; NADRIAN, H. Governança da promoção da saúde: Uma estrutura para operacionalizar os mecanismos da Carta de Ottawa na governança do sistema de saúde. **Política Médica e de Saúde Mundial**, v. 95-105, 2024. DOI: 10.1002/wmh3.583.

SENA, D. B. de C. *et al.* Iniciativas de hospitais brasileiros em sustentabilidade ambiental: uma revisão narrativa: Initiatives of brazilian hospitals in environmental sustainability: a narrative review. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 5, n. 5, p. 18068-18086, 2022. DOI: 10.34119/bjhrv5n5-021.

SILVA, K. S.; CARNEIRO, A. C. L. L.; CARDOSO, L. M. Práticas ambientalmente sustentáveis em unidades de alimentação e nutrição hospitalares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. 1-11, 2022.

SZWARZWALD, C. L. *et al.* Mudanças no padrão de utilização de serviços de saúde no Brasil entre 2013 e 2019. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 2515–2528, 2021. DOI: 10.1590/1413-81232021266.1.43482020.

TYACK, Z. *et al.* Processos multicomponentes para identificar e priorizar cuidados de baixo valor em ambientes hospitalares: uma revisão do escopo. **BMJ Open**, v. 4, e078761, 2024. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-078761.

VIEIRA, R. V *et al.* A influência da gestão hospitalar eficiente na promoção da saúde: como está a relação entre administração e saúde atualmente? **Revista PSIPRO**, v. 4, p. 16-41, 2023.

# TRATAMENTO DE MATERIAL ORGÂNICO VIA MECANISMO DE BIODIGESTÃO

*Francisco Amílcar Moreira Junior<sup>1</sup>*

*Marcus Vinicius Freire Andrade<sup>2</sup>*

## 1. Introdução

Atualmente, a busca por alternativas sustentáveis e ambientalmente conscientes tornou-se uma prioridade global. Entre os desafios enfrentados, a gestão adequada dos resíduos sólidos destaca-se como uma área de grande atenção. Estima-se que uma porcentagem considerável dos resíduos sólidos urbanos seja composta por materiais orgânicos, como restos de alimentos e resíduos de poda e capina. O descarte desses resíduos em locais inadequados não apenas contribui para a poluição do meio ambiente, mas gera uma série de impactos ambientais negativos.

Frente à fração orgânica dos resíduos sólidos produzidos, a biodigestão anaeróbia emerge como uma solução promissora para o tratamento desses resíduos. O processo ocorre por meio de microrganismos que decompõem a matéria orgânica na ausência de oxigênio, gerando biogás e biofertilizante como produtos. O biogás obtido, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, pode ser utilizado como fonte de energia renovável para geração de eletricidade e aquecimento, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

---

1 Docente do eixo Ambiente, Saúde e Segurança do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Sobral, Ceará, Brasil. Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). E-mail para correspondência: amilcar.moreira@ifce.edu.br.

2 Docente eixo Ambiente, Saúde e Segurança do IFCE Campus Sobral, Ceará, Brasil. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. E-mail para correspondência: marcus.andrade@ifce.edu.br.

Além dos benefícios energéticos, a biodigestão anaeróbia também contribui para a gestão sustentável dos resíduos orgânicos, diminuindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários e mitigando os impactos ambientais negativos.

## **2. Resíduos sólidos**

A questão ambiental relacionada aos resíduos sólidos tem se tornado um grave problema mundial. Um dos fatores relacionados a essa acentuada crise deve-se aos imensos volumes desses materiais, gerados diariamente pela população, e às formas inapropriadas para a destinação ou disposição final.

Não somente o volume dos resíduos sólidos contribui para esse precedente. As características inatas de alguns materiais que são descartados de forma inadequada nos recursos ambientais podem afetar intensivamente os índices de poluição ambiental, seja na atmosfera, nos rios ou nos solos. Infelizmente, algumas nações com altas taxas demográficas e que corroboram com o alto per capita na geração de resíduos sólidos ainda fazem pouco para sanar a problemática em suas esferas locais.

Alguns autores, como Barros (2012), por exemplo, ressaltam que, para se obter uma melhor correção do problema envolvido, faz-se necessário todo um conjunto de etapas que contemplem a melhor gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, ou seja, desde a etapa da coleta até o destino ambientalmente equilibrado. Para o autor, torna-se importante uma logística ideal de planejamento que leve em conta não somente as etapas envolvidas, mas também a correlação destas com o eficiente desempenho individual, sem esquecer, ao longo do trajeto de soluções, de perceber as premissas envolvidas no desenvolvimento sustentável.

Os impasses relacionados aos resíduos sólidos também têm sua ligação com o cenário de grandes avanços e mudanças na sociedade, frutos do ritmo acentuado do processo de globalização. Na opinião

de Grippi (2001), o aumento do contingente populacional, aliado às modificações nos hábitos diários de consumo da sociedade, torna-se um dos vários fatores que causam preocupação, não somente pelo aumento na produção de subprodutos, como os resíduos sólidos e rejeitos perigosos, por exemplo, mas também pela forma de descartá-los adequadamente. Isso leva a uma séria reflexão sobre até quando o meio ambiente terá capacidade de assimilar a tamanha geração de materiais a serem descartados e conseguir suportar a toxicidade ambiental de outros em seus recursos.

No contexto dos resíduos sólidos produzidos pela humanidade, é perceptível a geração de diferentes tipos de matérias e constituições, tanto por suas características biológicas, mas, também, por propriedades físico-químicas envolvidas. Assim, uma das maiores taxas dos constituintes envolvidos deve-se à fração dos resíduos sólidos orgânicos que podem representar, a depender das dinâmicas sociais, algo em torno de 45 a 55% da geração per capita.

Nesse quesito, os resíduos sólidos orgânicos, se não obtiverem o correto gerenciamento e tratamento, podem causar inúmeros impactos ao meio ambiente como cita Abrelpe (2018), ao elucidar que, se forem acumulados de forma desordenada, podem contribuir de forma significativa com a poluição da água, do ar e do solo, sem falar em questões envolvidas com a disseminação de vetores e doenças no âmbito epidemiológico.

Outro grave problema a ser relatado com o tema, e neste caso referindo-se ao Brasil, é que, infelizmente, ainda é possível perceber falhas nas políticas envolvidas na gestão dos resíduos sólidos em alguns municípios que, impensadamente, acabam por dispor tamanhas gerações diárias em depósitos a céu aberto, comumente chamados de “lixão”. Para Castilhos (2014), esses resíduos deveriam passar por um processo adequado de coleta seletiva ao invés de serem dispostos de forma tão inapropriada no solo. Tal ação colaboraria para que os riscos e impactos fossem atenuados, de forma que, com a reutiliza-

ção ou a reciclagem desses materiais, menores seriam os danos com a contaminação do solo e do lençol freático, por exemplo.

No entanto, apesar da alta geração e dos riscos ambientais associados à produção intensa de frações orgânicas, há também uma significativa oportunidade para reciclagem e reaproveitamento. Especialmente quando direcionados para usos como práticas na agricultura e agropecuária, tanto através da compostagem e melhora do solo, quanto por meio da biodigestão, com seu potencial para geração de energia limpa.

### **3. Biodigestão**

As frações orgânicas presentes nos resíduos sólidos representam uma quantidade significativa do total gerado, tornando crucial o uso de métodos que reduzam essa produção. Autores como Lacerda *et al.* (2020) enumeram vantagens do uso da compostagem na reciclagem orgânica. Um dos efeitos positivos dessa metodologia é a liberação de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e volumes de biomassa, conhecido como húmus. Além de contribuir para o ciclo de gases na atmosfera, o húmus também proporciona inúmeros benefícios na ciclagem de nutrientes do solo e na revitalização de ambientes degradados.

No entanto, o uso da compostagem tende a apresentar um potencial limitado para a geração energética. O mesmo não pode ser dito quando se utiliza a rota metabólica da biodigestão anaeróbia como mecanismo para degradar as frações orgânicas dos resíduos, gerando subprodutos como o metano, por exemplo.

Mesmo que o metano ( $\text{CH}_4$ ) seja um dos subprodutos mais esperados pela biodigestão dos resíduos orgânicos. Conforme Chen *et al.* (2008), a prática da digestão anaeróbia também gera um efluente rico em nutrientes e que poderia ser devidamente utilizado como um condicionador do solo. É válido citar que os principais agentes envolvidos tanto na prática da compostagem quanto na biodigestão são os próprios micro-organismos, comuns e abundantes na natu-

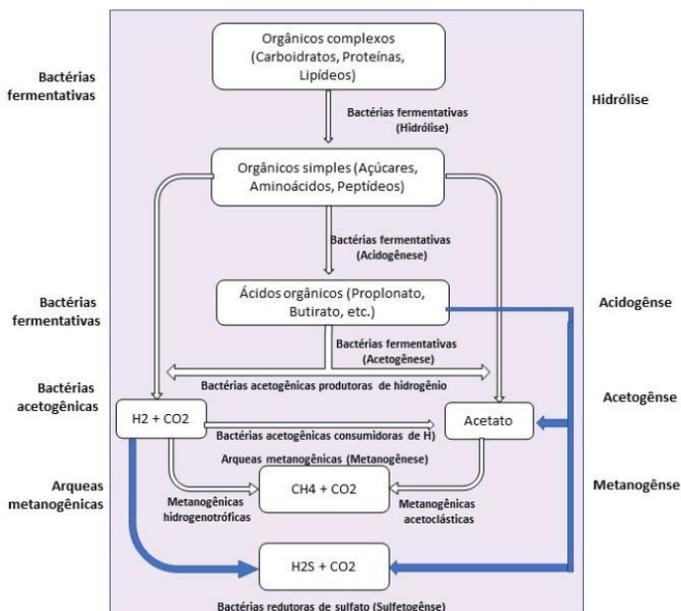
reza, cabendo ao ser humano empregar técnicas adequadas para aumentar a eficiência dos processos de tratamento e reciclagem.

De acordo com Fernandes, (2008) e Kunz *et al.*, (2004), as bactérias responsáveis pela atividade biológica de degradação são bastante comuns e estão dispostas na natureza nas mais diversas formas como, por exemplo, nos sedimentos de ambientes lânticos, nos aterros sanitários e no trato intestinal de animais, no caso quando expelidos no esterco. Para os autores, a prática da biodigestão, por se tratar de um processo anaeróbio, tem como uma de suas bases a ação fermentativa realizada por bactérias, multiplicadas dentro de um determinado ambiente isento de gás oxigênio. Tal fator se torna importante por desencadear rotas metabólicas diversas da compostagem e, com isso, ao invés de dióxido de carbono, tem-se a geração de metano como subproduto final, sendo de 23 a 24 vezes mais energético que o  $\text{CO}_2$ .

Entretanto, existe ao longo do processo de biodigestão anaeróbica a presença de fatores concorrentes e inibidores à geração de metano, como, por exemplo, os que estão ligados à presença de sulfato. Conforme Chernicharo (2017), o processo de sulfetogênese acontece por conta da presença de sulfato e outros compostos à base de enxofre, que são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Para o autor, essa rota metabólica envolve a biodigestão dos resíduos orgânicos por bactérias sulfetogênicas, ao invés das arqueas metanogênicas, o que pode resultar na diminuição da quantidade final de metano e, conseqüentemente, na redução da viabilidade energética do biogás.

De forma a melhor ilustrar como ocorre o processo e as rotas metabólicas envolvidas com a digestão anaeróbia, um esquema representativo e adaptado de Chernicharo (2017) é exposto na Figura 1, na qual é possível perceber o papel das arqueas metanogênicas (metanogênese) e a rota diversa pelas bactérias redutoras de sulfato (sulfetogênese).

**Figura 1** - Rotas Metabólicas durante o processo de Digestão Anaeróbica

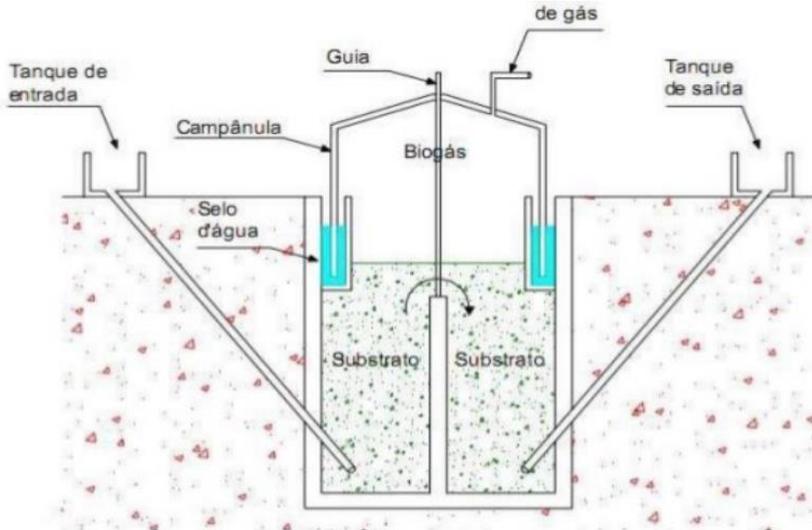


**Fonte:** Adaptado de Chernicharo (2017).

A prática do uso de biodigestores torna-se bastante comum em localidades ou comunidades na zona rural, onde se tem a dificuldade pelos habitantes de recursos energéticos, mesmo com grande potencial de resíduos orgânicos por meio das excretas dos animais presentes nas fazendas ou outros locais de criação. Comumente, são bastante utilizados para esta finalidade o esterco de suínos ou bovinos devido às altas concentrações de teor orgânico e o intrínseco potencial na geração de biogás. Nos últimos anos, tem-se adotado dois modelos de biodigestores bastante usuais para as zonas rurais, onde existe demasiada oferta de esterco para o biotratamento e a consequente geração de biogás.

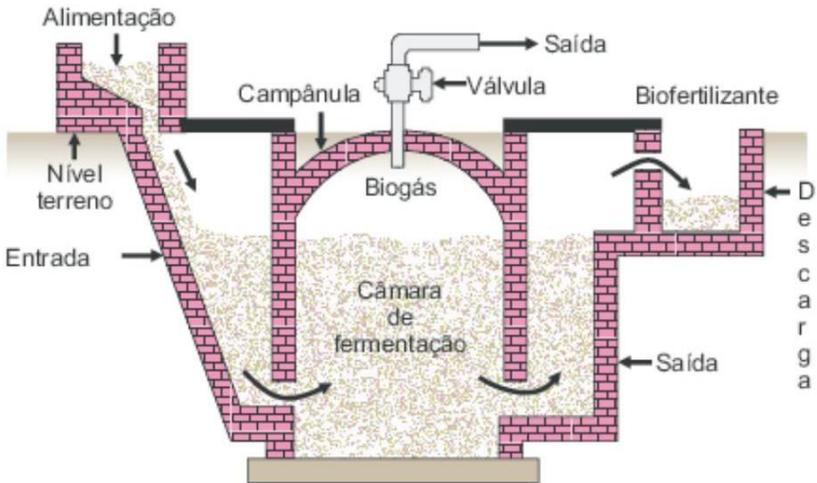
Os exemplos citados devem-se ao caso dos modelos indiano e chinês (Figura 2 e Figura 3). A grande viabilidade desses sistemas deve-se ao baixo custo e à simplicidade de operação, facilitando, portanto, a implantação e a atualização em comunidades mais carentes e com baixa acessibilidade a recursos sociais.

**Figura 2 -** Modelo indiano de biodigestor



**Fonte:** DEGANUTTI *et al.*, 2002.

**Figura 3 -** Modelo chinês de biodigestor



**Fonte:** DEGANUTTI *et al.*, 2002.

Para um melhor entendimento dos dois modelos, Nogueira (1986) menciona que os estudos mais robustos e pioneiros sobre digestão anaeróbia ocorreram inicialmente na península indo-asiática. O modelo de biodigestor foi desenvolvido e difundido em Kampur,

na Índia, pelo Instituto de Gás de Esterco. Deublein e Steinhauser (2008) relatam que a continuação dessa tecnologia ocorreu na China em 1958. Até 1972, já havia 7,2 milhões deles implantados.

Nesse contexto, são modelos simples que têm sido utilizados há algum tempo como ferramentas de suporte em zonas rurais. No entanto, ainda se percebe uma dificuldade na disseminação e na acessibilidade dessa tecnologia para muitos moradores carentes de áreas tão distantes dos centros urbanos.

Barcelos (2009) reforça o entendimento sobre a biodigestão ao descrevê-la como um tratamento anaeróbico, em que ocorrem processos biológicos na ausência de oxigênio molecular. Diversos microrganismos realizam atividades metabólicas para converter material orgânico complexo (como carboidratos, proteínas e lipídios) em  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  e traços de outros gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Uma maneira de mensurar a taxa de produção desses gases, principalmente o metano, é através do procedimento da Atividade Metanogênica Específica (AME).

Autores como Aquino (2007) e Chernicharo (1997) têm desenvolvido diversos trabalhos sobre a AME e, segundo os autores, por meio de tal procedimento torna-se possível determinar a capacidade de produção de metano por micro-organismos em condições estabelecidas. A sua mensuração deve-se a rotas de decomposição de compostos ligados à Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além da finalidade enumerada acima, os estudos ligados à AME também são importantes para classificar o potencial da biomassa na conversão de substratos solúveis em metano e gás carbônico. Esses efluentes, ricos em nutrientes, tendem a apresentar uma grande viabilidade na recomposição de solos danificados por práticas da agropecuária, por exemplo.

No contexto da viabilidade da digestão dos resíduos orgânicos, esse processo de fermentação e uso dos micro-organismos da biomassa orgânica é descrito por Amaral *et al.* (2004) como uma excelente alternativa. Além de reduzir a taxa de poluição e contaminação

no ciclo produtivo, promove a geração de biogás, utilizado como fonte de energia térmica, mecânica e elétrica, e ainda permite o uso do resíduo final como biofertilizante.

No entanto, apesar do enorme potencial para solucionar problemas ambientais e apoiar ferramentas de sustentabilidade ambiental, ainda há dificuldades na disseminação e na construção de modelos em zonas rurais. O apoio em ferramentas e logísticas de acessibilidade, bem como o avanço das metodologias e técnicas de mensuração dos gases envolvidos, continua sendo algo não tão comum.

#### **4. Micro-organismos no tratamento de resíduos orgânicos**

Os microrganismos são frequentemente empregados para uma diversidade de atividades rotineiras que envolvem desde a indústria alimentícia à produção de insumos biotecnológicos. Do ponto de vista ambiental, os microrganismos podem ser empregados na biorremediação de áreas contaminadas, recuperação de recursos, produção de energia e tratamento de efluentes, por exemplo.

Frente aos resíduos de origem orgânica, os microrganismos exibem a capacidade de degradação dos seus constituintes, podendo ocorrer a mineralização dos compostos se forem adotadas condições ambientais adequadas (pH, temperatura). Na digestão anaeróbia, os principais grupos microbianos envolvidos são aqueles pertencentes aos domínios Bactéria e Archea, que atuam de forma sinérgica (Patel; Pandit; Chandrasekhar, 2017).

As bactérias estão envolvidas nas reações enzimáticas iniciais da biodigestão, que envolvem desde a hidrólise dos componentes orgânicos até a produção de acetato, hidrogênio e gás carbônico. Inicialmente, bactérias fermentativas promovem a quebra de compostos orgânicos complexos, como carboidratos, proteínas e lipídeos, através da hidrólise e fermentação, em compostos simples como

açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Gêneros como *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Proteus* e *Bacillus* exibem capacidade hidrolítica.

As bactérias acidogênicas, por sua vez, são capazes de fermentar esses componentes simples em ácidos orgânicos, hidrogênio e dióxido de carbono. Diversas bactérias como *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Butyrivacterium* e *Bacillus* são exemplos de bactérias acidogênicas e através de diversas rotas metabólicas podem produzir, ainda, ácido lático, ácido butírico e ácido propiônico.

Os ácidos orgânicos gerados, em sua maioria, serão substratos para as bactérias acetogênicas e para arqueias metanogênicas. Esses componentes são convertidos através de sucessivas reações oxidativas à acetato. Entretanto, há produção conjunta de hidrogênio, que é consumido por bactérias homoacetogênicas. Bactérias sintróficas, como as do gênero *Syntrophomonas*, *Thermoanaerobacter* e *Acetobacterium*, são exemplos de bactérias acetogênicas (Karekar *et al.* 2022).

As arqueias metanogênicas utilizam substratos, como acetato, hidrogênio e dióxido de carbono para a síntese do metano. Considerada a etapa final da digestão anaeróbia, a metanogênese utiliza, além desses compostos, metilaminas, metanol e formiato, porém em menor concentração, como aceptores de elétrons. Os microrganismos metanogênicos podem ser classificados em duas classes principais: arqueias metanogênicas acetoclásticas (por exemplo, *Methanosarcina*, *Methanosaeta*) e arqueias metanogênicas hidrogenotróficas (por exemplo, *Methanobacterium*, *Methanoculleus*) (Ray *et al.*, 2020).

## 5. Considerações finais

Estima-se que uma porcentagem considerável dos resíduos sólidos urbanos seja composta por materiais orgânicos, cujo descarte inadequado não apenas polui o meio ambiente, mas também impacta negativamente os ecossistemas naturais. Diante deste cenário, a biodigestão anaeróbia emerge como uma solução promissora para o tratamento dos resíduos orgânicos. Este processo, que ocorre na

ausência de oxigênio, utiliza microrganismos para decompor a matéria orgânica, gerando biogás e biofertilizante como produtos finais. O biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono, não só pode ser utilizado como fonte de energia renovável para eletricidade e aquecimento, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, como também contribui para a gestão sustentável de resíduos, minimizando a quantidade enviada para aterros sanitários e seus impactos ambientais negativos.

Apesar dos benefícios evidentes, a disseminação eficaz da tecnologia de biodigestão anaeróbia em áreas rurais continua sendo um desafio. A falta de acessibilidade e infraestrutura adequada ainda limita o potencial completo dessa tecnologia, apesar de seu enorme potencial para mitigar problemas ambientais e promover práticas sustentáveis em diversas comunidades ao redor do mundo, precisando ser incorporado nas estratégias de investimentos políticos para com a sociedade e o meio ambiente.

## Referências

- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n. 2, p. 192-201, 2007.
- AMARAL, C. C. *et al.* Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2018.
- BARROS, R, M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.
- CASTILHOS, J. A. **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Santa Catarina: ABES, 2003.

GRIPPI, Sidney. **Lixo, reciclagem e sua história**: guia para as prefeituras Brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4044-4064, 2008.

DEGANUTTI, Roberto *et al.* **Biodigestores rurais**: modelo indiano, chinês e batelada. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

DEUBLEINB, D., STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 368, 2008.

FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). **Bioresource Technology**, v. 99, n. 14, p. 6075-6080, 2008.

KAREKAR, S.; STEFANINI, R; AHRING, B. Homo-Acetogens: Their Metabolism and Competitive Relationship with Hydrogenotrophic Methanogens. **Microorganisms**, v. 10, n. 2, p. 397, 2022.

KUNZ, A. **Tratamento de dejetos**: desafio da suinocultura tecnificada. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2005.

LACERDA, K. A. P. *et al.* Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 40753-40763, jun. 2020.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão**: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.

PATEL, V., PANDIT, S., CHANDRASEKHAR, K. Basics of Methanogenesis in Anaerobic Digester. In: Kalia, V. (ed.). **Microbial Applications**, v. 2, Cham: Springer, 2017.

RAY, S., KUPPAM, C., PANDIT, S. *et al.* Biogas upgrading by hydrogenotrophic methanogens: an overview. **Waste and Biomass Valorization**, v. 14, p. 537-552, 2023.

# COMPETÊNCIAS VERDES E A FORMAÇÃO EM SAÚDE: DIÁLOGOS ENTRE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

*Jordana Alves Melo<sup>1</sup>*

*Ana Beatriz Oliveira Marques dos Santos<sup>1</sup>*

*Daniele Paula Alves Mouta<sup>1</sup>*

*Íris Araújo Rodrigues Braz<sup>2</sup>*

*Anderson Weiny Barbalho Silva<sup>3</sup>*

### 1. Introdução

O diálogo sobre a promoção da saúde e a sustentabilidade são necessários na construção de um futuro com soluções mais sustentáveis, conforme proposto pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). A integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com iniciativas de saúde pública podem reforçar a garantia de bem-estar para todos, bem como endossar a necessidade prioritária de preservar o meio ambiente e promover a equidade social. Este capítulo visa explorar a intersecção entre os campos dos saberes relacionados à saúde e sustentabilidade, destacando a relevância de abordagens integradas entre ensino, pesquisa e extensão para alcançar as metas globais de desenvolvimento sustentável.

A Agenda 2030, lançada em 2015, trata de um plano de ação global que compreende 17 ODS e 169 metas. Esses objetivos permeiam desde a erradicação da pobreza até a proteção do meio ambiente,

---

1 Graduada em Enfermagem na Faculdade Luciano Feijão.

2 Graduada em Odontologia na Faculdade Luciano Feijão.

3 Docente-orientador, biólogo, mestre e doutor em biotecnologia, coordenador de Pesquisa e Extensão da Faculdade Luciano Feijão. E-mail para correspondência: anderson.weiny@lucianofeijao.com.br.

com o intuito de assegurar um futuro sustentável e inclusivo para todas as nações. Dentre esses objetivos, os ODS 3, que se concentra em “Saúde e Bem-Estar”, destaca-se por seu compromisso em garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades (Taminato, 2023).

Uma das metas mais desafiadoras dos ODS 3 é a redução da mortalidade materna global para menos de 70 mortes por 100.000 nascidos vivos até 2030. No Brasil, essa meta é ainda mais ambiciosa, visando a uma redução para, no máximo, 30 mortes por 100.000 nascidos vivos. Outras metas incluem a eliminação das mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de cinco anos, além do combate a doenças transmissíveis, como AIDS e tuberculose, da redução da mortalidade prematura por doenças não transmissíveis, e do fortalecimento da prevenção e tratamento do abuso de substâncias (Schiavon, 2021).

A sustentabilidade, definida como o uso consciente dos recursos naturais sem comprometer o bem-estar das futuras gerações, está intrinsecamente ligada à promoção da saúde. Estudos como o de Chaves (2020) em Caapiranga-AM, demonstram o impacto positivo de práticas sustentáveis na saúde das comunidades locais. Iniciativas como a instalação de fossas sépticas sustentáveis não só melhoram as condições sanitárias e reduzem a propagação de doenças, mas também preservam os recursos naturais. Esse exemplo reforça a importância de soluções inovadoras que integrem saúde e sustentabilidade para promover o bem-estar das populações.

Ademais, a formação de profissionais de saúde com competências verdes é essencial para enfrentar os desafios contemporâneos. A educação sustentável em saúde deve ser interdisciplinar e promover a reflexão crítica sobre as interações entre saúde, meio ambiente e desenvolvimento econômico. A incorporação dos ODS nos currículos acadêmicos e nas políticas institucionais de ensino superior é necessária para preparar futuros profissionais, capazes de atuar em um mundo cada vez mais globalizado, interconectado e sustentável.

A extensão universitária e o engajamento comunitário são interações necessárias para promover a sustentabilidade e a saúde. Projetos de extensão que envolvam a comunidade em práticas sustentáveis podem educar e empoderar comunidades, promovendo a equidade e a justiça social (Martinazzo *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a integração dos ODS com a promoção da saúde é uma condição *sine qua non* para o sucesso da Agenda 2030 da ONU. A relação entre saúde, meio ambiente e desenvolvimento econômico suscita abordagens coordenadas que vão além dos cuidados em saúde preconizados nos currículos dos cursos de graduação na formação do profissional em saúde. Com isso, um esforço coletivo e estratégias integradas podem promover um futuro mais saudável, igualitário e sustentável. Destarte, o estudo abordará as relações existentes entre ensino, pesquisa e extensão, fornecendo reflexões importantes para práticas sustentáveis que possam ser aplicadas na promoção da saúde e cuidado ao meio ambiente.

## **2. Metodologia**

Este capítulo adota uma abordagem qualitativa e exploratória para investigar a integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com a promoção da saúde e a formação de profissionais de saúde sustentáveis, bem como os benefícios do engajamento comunitário e extensão verde em instituições de ensino superior, promovendo uma reflexão sobre a importância de ações de ensino, pesquisa e extensão. A metodologia inclui uma revisão bibliográfica, utilizando bases de dados acadêmicas, como PubMed, Scopus e Google Scholar, focando em artigos publicados entre 2010 e 2024. Os descritores utilizados foram “green skills”; “educação em saúde”; “promoção da saúde”; “sustentabilidade”; “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável”. Os operadores booleanos “AND”, “OR” e “NOT” foram utilizados para combinar esses descritores de forma a fortalecer as buscas e garantir a relevância dos resultados. Os cri-

térios de inclusão para os artigos revisados incluem relevância para os temas dos ODS, saúde sustentável e educação em saúde, bem como a disponibilidade em texto completo e publicação em periódicos revisados por pares. Adicionalmente, foi realizada uma análise documental de políticas e diretrizes de organizações, como a ONU e a OMS, visando mapear as recomendações e práticas vigentes relacionadas à sustentabilidade na formação de profissionais de saúde.

### **3. Resultados e Discussão**

#### *3.1 Integrando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a promoção da saúde: um olhar necessário para a Agenda 2030 da ONU*

A interseção entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a promoção da saúde surge como um tema de grande relevância na Agenda 2030, uma iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU) que busca estabelecer um compromisso global com o desenvolvimento sustentável. A agenda compreende 17 ODS, com um montante de 169 metas a serem alcançadas até 2030 (Moreira, 2019). Seu objetivo inclui a erradicação da pobreza, a preservação do meio ambiente e do clima, além da promoção da paz e prosperidade para todos, em todas as regiões do mundo.

Dentre os objetivos propostos, os ODS 3, intitulado “Saúde e Bem-Estar”, destaca-se por visar à garantia de uma vida saudável e promover o bem-estar para todas as pessoas, em todas as idades (ONU, 2015). Uma das metas específicas dos ODS 3 é a redução da taxa de mortalidade materna global para menos de 70 mortes por 100.000 nascidos vivos até 2030. No contexto brasileiro, essa meta é ainda mais ambiciosa, buscando reduzir a razão de mortalidade materna para, no máximo, 30 mortes por 100.000 nascidos vivos até o mesmo período. Além desses objetivos, há também o compromisso de eliminar mortes de recém-nascidos e crianças menores de cinco

anos que poderiam ser evitadas, enfrentar doenças infecciosas como a AIDS e a tuberculose, reduzir a mortalidade precoce por doenças crônicas não transmissíveis e fortalecer as estratégias de prevenção e tratamento do abuso de substâncias.

Nesse contexto, reconhece-se que a saúde é um componente essencial do desenvolvimento sustentável. O acesso a serviços de saúde de qualidade é fundamental para garantir uma vida digna e próspera para todos os cidadãos. No entanto, alcançar esse objetivo requer uma abordagem integrada e coordenada, que considere não apenas os determinantes tradicionais da saúde, como o acesso a cuidados médicos, mas também questões mais amplas relacionadas ao meio ambiente, educação, igualdade de gênero e justiça social.

Alinhando-se a essa temática, a sustentabilidade se caracteriza como a capacidade do uso consciente dos recursos naturais sem comprometer o bem-estar das gerações futuras (Marciano, 2024). Ela abrange a estreita interconexão entre a saúde humana, o meio ambiente e o desenvolvimento econômico, buscando não apenas abordar os determinantes sociais da saúde, mas também reconhecer a importância da preservação dos ecossistemas naturais e da biodiversidade para promover o bem-estar humano.

Mesquita (2012) traz uma discussão acerca da crescente relevância da relação entre saúde e ambiente, especialmente diante dos sinais evidentes de deterioração das condições ambientais em escala global. O pesquisador ressalta que a degradação progressiva dos ecossistemas, a contaminação crescente da atmosfera, solo e água, juntamente com o aquecimento global, são exemplos claros dos impactos das atividades humanas sobre o ambiente. Isso implica um diálogo necessário sobre o conceito de sustentabilidade e sua relação com a saúde e seus determinantes sociais.

Um estudo realizado por Chaves (2020) em Caapiranga (AM) demonstra o impacto e a relação intrínseca entre práticas sustentáveis e saúde. Ele teve como objetivo principal realizar ações de capa-

citação e instalação de fossas sépticas sustentáveis nas comunidades locais. Por meio deste, foram instaladas seis fossas sépticas biodigestoras, em parceria com associações, ONGs e famílias beneficiadas, além da realização de oficinas de capacitação e palestras sobre higiene sanitária com os comunitários.

Essas fossas sépticas sustentáveis representam uma solução inovadora e reconhecidamente sustentável que traz benefícios tanto para a saúde da população local quanto para o meio ambiente. Elas evitam a contaminação dos lençóis freáticos e reduzem a proliferação de mosquitos transmissores de doenças, como dengue, malária e zika vírus. Ao contrário das fossas negras tradicionais — um buraco sem nenhum tipo de revestimento e que representam um risco para a saúde pública devido à contaminação do solo —, as fossas sépticas sustentáveis utilizam um sistema simples de tratamento de esgoto (Chaves, 2020).

Esse exemplo demonstra como a adoção da sustentabilidade na saúde pode trazer benefícios significativos para as comunidades, promovendo a saúde pública e preservando o meio ambiente.

No contexto dos ODS 3, intervenções para alcançar metas globais de saúde sustentável são essenciais e a colaboração entre governos, organizações internacionais, setor privado e sociedade civil desempenham um papel crucial na implementação eficaz dessas intervenções (ONU, 2015). Governanças globais e nacionais devem garantir políticas e ações em dimensões variadas, tais como: formas de governo mais democráticas, participativas, inclusivas e eficientes, que coloquem a equidade social, econômica, ambiental e sanitária no centro de seus resultados; implementação de políticas redistributivas da riqueza global e nacional e de proteção social; melhores políticas fiscais, que estabeleçam incentivos a políticas e ações sustentáveis nos diversos setores e para os diferentes atores sociais; maior eficiência energética e no uso de recursos naturais, valendo-se de inovações tecnológicas apropriadas; garantias de segurança alimentar e nutricional universal; garantias de acesso equitativo a serviços de

água e saneamento; criação de empregos e trabalhos dignos, entre outras (Buss, 2012).

Desse modo, sugere-se implementar estratégias de educação em saúde, promover estilos de vida saudáveis e fortalecer os sistemas de saúde para assegurar que todos tenham acesso aos cuidados necessários. Além disso, a saúde é uma parte indispensável do diálogo sobre sustentabilidade, que inclui questões sociais e ambientais decorrentes da dinâmica do desenvolvimento, os quais têm impacto direto no estilo de vida da população, propiciando, assim, problemáticas relacionadas às condições de saúde e bem-estar.

Portanto, a promoção da saúde sustentável e o alcance das metas dos ODS 3 requerem ações urgentes e colaboração global, para que resultados significativos sejam alcançados. É importante reconhecer a interdependência entre saúde e desenvolvimento sustentável, adotar abordagens colaborativas e investir em intervenções que tratem de causas subjacentes às disparidades em saúde, a fim de tornar possível a construção de um futuro com uma sociedade mais igualitária, saudável e prezando pela sustentabilidade global.

Diante disso, a integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com a promoção da saúde é primordial para o sucesso da Agenda 2030 da ONU. A relação direta entre saúde, meio ambiente e desenvolvimento econômico aponta a necessidade de abordagens integradas e coordenadas, que vão além dos cuidados em saúde tradicionais. A implementação de práticas sustentáveis, como demonstrado no estudo de Chaves (2020), exemplifica como soluções inovadoras podem, simultaneamente, promover a saúde pública e preservar o meio ambiente. Assim, deve ser uma prioridade que governos, organizações internacionais, setor privado e sociedade civil trabalhem juntos para criar políticas inclusivas e eficientes, garantindo que todos os cidadãos tenham acesso a serviços de saúde de qualidade e a um ambiente sustentável. Somente com um esforço coletivo e estratégias integradas poderemos alcançar um futuro mais saudável, igualitário e sustentável para todas as gerações.

### *3.2 A integração das competências verdes na construção de profissionais de saúde sustentáveis*

Expandir a abordagem fundamentada em evidências, por meio da integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tem o potencial de proporcionar uma perspectiva mais consciente e equilibrada na tomada de decisões em saúde, considerando tanto as necessidades imediatas dos pacientes quanto as preocupações globais e futuras. O desafio que a formação em saúde enfrenta reside em como implementar um modelo educacional que capacite os profissionais a avaliarem criticamente e agir em sistemas complexos, diversos e dinâmicos frente à globalização e suas nuances (Steuernagel, 2024).

Para Brand (2020), os docentes das áreas da saúde têm a oportunidade de influenciar a próxima geração de profissionais de saúde, por meio da transmissão de conhecimentos, atitudes e habilidades centrados na saúde do planeta, integrados à formação e à saúde humana. No entanto, a incorporação da educação sustentável em cuidados de saúde é um desafio que requer uma abordagem interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar, que busque a reflexão de pensamentos sistêmicos para a ação em todo o setor da saúde e da educação. Dessa maneira, para fortalecer a capacidade interdisciplinar de integrar a educação sustentável, é necessário fomentar a liderança e a colaboração em diversos níveis, capacitar e valorizar a voz dos estudantes, desenvolver um currículo com enfoque na saúde do planeta; oferecer formação contínua para os docentes, orientadores e preceptores e, por fim, integrar esses aspectos nos padrões dos Planos Políticos Pedagógicos (PPC) dos cursos.

Frente ao cenário desafiador que foi a pandemia do COVID-19, evidenciou-se uma parcela expressiva da população desprovida de acesso a intervenções e cuidados de saúde, ressaltando a urgência com o compromisso de implementar ações concretas para alcançar os ODS. Nesse sentido, destaca-se o papel necessário da enfermagem no cumprimento das metas dos ODS 3, que visa assegurar uma vida saudável

e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. A atuação do profissional da enfermagem é essencial na redução da resistência antimicrobiana, uma questão que, embora não seja explicitamente abordada nos ODS 3, impacta diretamente o bem-estar, a longevidade e a qualidade de vida. Portanto, é necessário um compromisso dos enfermeiros, profissionais da enfermagem em formação e outros profissionais de saúde para aumentar a capacidade de vigilância e fornecer dados de qualidade, além de adotar medidas para assegurar o uso racional e preciso de antimicrobianos (Taminato, 2023).

É importante e necessária a implementação dos ODS nas universidades, centros universitários e faculdades para que suas metas sejam refletidas, planejadas e executadas junto à comunidade acadêmica. A (re)evolução das universidades em direção a construção do conhecimento científico que não apenas promove a pesquisa, mas também incentiva a prática, resulta em uma nova e significativa perspectiva socioeconômica frente aos ODS. Isso confere ao ensino superior um papel de destaque no futuro da inovação em saúde, na geração de empregos, no crescimento econômico e na sustentabilidade. Um estudo recente aponta que, por meio da extensão universitária, a instituição de ensino superior tem a oportunidade de disseminar o conhecimento e as práticas inter-relacionadas com os objetivos do desenvolvimento sustentável, permitindo, assim, atender demandas regionais, principalmente nas comunidades vulneráveis (Martinazzo *et al.*, 2020).

Do ponto de vista de Zanobini (2024), além dos limites do ambiente acadêmico, a compreensão do conceito de literacia em saúde (LS) não alcança a amplitude que deveria. A literacia em saúde é a capacidade dos indivíduos em obter, compreender, avaliar criticamente e utilizar informações sobre saúde para seu próprio cuidado ou de terceiros. Assim, iniciativas direcionadas à ampliação da conscientização sobre a literacia em saúde entre os formuladores de políticas, profissionais de saúde e o público em geral são, por conseguinte, fundamentais nos aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável. Além disso, é importante investir em pesquisas para pro-

duzir evidências mais consistentes e uniformes sobre o impacto da LS em diversos contextos. Facilitar colaborações entre formuladores de políticas, profissionais de saúde, educadores e comunidades é primordial para eliminar obstáculos em direção a uma sociedade com alto nível, bem como estabelecer um sistema de saúde sustentável. Esse é um desafio que requer esforços conjuntos, avaliação contínua e disposição para adaptar-se ao cenário em constante evolução dos cuidados de saúde.

A Orientação Global para a Educação para Empregos Verdes (Nishimura, 2021) enfatiza a necessidade de os docentes incorporarem conceitos de sustentabilidade. Além disso, salienta a necessidade de melhores ligações entre os centros formativos e o mundo do trabalho para transformar qualificações em empregos numa economia verde em crescimento.

O estudo destaca a importância de incorporar oportunidades de empregos verdes e os conjuntos de competências necessários nos currículos, bem como o desenvolvimento de uma interface entre empregadores orientados para o futuro, antigos alunos de programas e criadores de currículos para promover o diálogo e novos conjuntos de competências. Os currículos da formação de profissionais de saúde devem atender as necessidades das empresas e proporcionar o conhecimento acerca dos novos caminhos para meios de subsistência sustentáveis.

Nesse sentido, a orientação também aborda a necessidade de aconselhamento profissional, normas e acreditação, bem como o envolvimento dos empregadores na promoção de oportunidades de emprego verde e na melhoria das colocações profissionais. Também destaca a importância de integrar temas verdes nos critérios fundamentais e requisitos de acreditação, bem como organizar dias de carreira e candidaturas para proporcionar aos estudantes oportunidades de aprender sobre carreiras verdes e potenciais empregadores.

Diante disso, a integração das competências verdes na formação de profissionais de saúde é necessária para a construção de uma prática

em saúde que atenda tanto as necessidades imediatas dos pacientes quanto as demandas globais de sustentabilidade. A adoção de uma abordagem interdisciplinar e transdisciplinar, que fomente a liderança, a colaboração e a educação contínua, é necessária para capacitar os futuros profissionais de saúde no mundo do trabalho frente a todas as mudanças que acompanham a globalização. Exemplos como a instalação de fossas sépticas sustentáveis em comunidades vulneráveis demonstram o impacto das práticas sustentáveis na saúde pública e ambiental. Além disso, a inclusão dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nos currículos acadêmicos e nas políticas institucionais reforça o compromisso do ensino superior com a formação de profissionais conscientes e preparados para enfrentar os desafios de um mundo que sofre fortes consequências da globalização. Assim, promover a literacia em saúde, fortalecer as parcerias entre instituições de ensino e o mundo de trabalho, bem como incorporar a sustentabilidade nas práticas educacionais e profissionais, são passos necessários para alcançar um sistema de saúde mais equânime, eficiente e sustentável, alinhado às metas da Agenda 2030 da ONU.

### *3.3 Benefícios do engajamento Comunitário e Extensão Verde em Instituições de Ensino*

A extensão universitária atua como uma ferramenta de formação de cidadãos durante a trajetória acadêmica, de modo que articula ações de ensino e pesquisa, gerando assim novas práticas benéficas diante de diferentes contextos encontrados em meio à comunidade, focando não apenas a responsabilidade técnica do fazer científico, mas agregando saberes éticos, responsabilidade cidadã e compromisso social (De Brito e Silva, 2019). Essa interação entre ensino, pesquisa e extensão possibilita o desenvolvimento de novas práticas benéficas em diversos contextos comunitários, especialmente quando se trata de engajamento comunitário e extensão verde em instituições de ensino.

A Política Nacional de Extensão Universitária (2012, p. 9) fomenta-se diante dos objetivos a importância da extensão na promoção da educação ambiental e no desenvolvimento sustentável por meio de ações extensionistas. Essas iniciativas contribuem para a formação cidadã dos estudantes. Também buscam soluções para os grandes problemas sociais enfrentados pelo país. Frente à relação dialógica da extensão, os projetos de extensão podem impactar positivamente a elaboração de políticas públicas voltadas para questões sociais, promovendo inovações e disseminação de conhecimentos. Ao estimular atividades de extensão multidisciplinares e interprofissionais, previstas no objetivo 5 da Política Nacional de Extensão Universitária, as universidades, centros universitários e faculdades podem se engajar em projetos que abordem questões ambientais e promovam a sustentabilidade. Além disso, ao priorizar práticas voltadas para o desenvolvimento sustentável, perpassadas no objetivo 12 da Política Nacional de Extensão Universitária, as instituições de ensino contribuem para a conscientização ambiental e a adoção de comportamentos sustentáveis na comunidade.

Visando o objetivo 6 da Política Nacional de Extensão Universitária, por meio do engajamento comunitário e da extensão verde, as instituições de ensino podem criar oportunidades para a participação da universidade na elaboração de políticas públicas relacionadas ao meio ambiente. Essas ações promovem a preservação dos recursos naturais, bem como incentivam a inovação e o desenvolvimento tecnológico voltado para a sustentabilidade.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam um plano de ação global que tem como intuito eliminar a pobreza extrema, oferecer educação de qualidade, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas até 2030 (ONU, 2015). Desse modo, faz-se necessária a inserção de práticas baseadas nos princípios adotados e almejados por meio dos ODS, visando ao engajamento de instituições de ensino superior para a promoção de projetos baseados nos 17 objetivos sustentáveis vigentes no plano de ação da Organiza-

ção das Nações Unidas (ONU), com a finalidade de proporcionar o engajamento, envolvimento e participação comunitária nessa temática, que almeja resultados prósperos para o futuro.

As instituições de ensino superior atuam como disseminadoras de conhecimento no meio social, as quais devem prezar pela aplicação de práticas sustentáveis, visando à inclusão dos objetivos de desenvolvimento sustentável, fornecendo ações que contribuam para o equilíbrio social, econômico e ambiental. Assim, visando proporcionar o conhecimento e práticas acerca dos ODS, a extensão universitária atua como mediadora de ações que visem atender necessidades de demandas sociais locais, principalmente em comunidades vulneráveis (Martinazzo *et al.*, 2020). Observa-se que, com o reconhecimento do papel da extensão universitária na promoção dos ODS, e ao investir em iniciativas que atendam às necessidades das comunidades, as instituições de ensino superior podem desempenhar um excelente papel na construção de um futuro mais sustentável e inclusivo para todos.

Como alternativa para a implementação de ações extensionistas de cunho sustentável, ressalta-se a construção coletiva com a comunidade, por meio de um caminho educativo e solidário, priorizando a troca mútua de ensinamentos e saberes, objetivando assim a inserção de conhecimentos no meio social, bem como o estímulo de políticas extensionistas dentro do ensino superior, visando a uma ampliação da produtividade e alternativas de projetos voltados à temática (Reuter, 2012). Ademais, com o incentivo e apoio a iniciativas de extensão, as instituições de ensino superior podem ampliar significativamente sua produtividade acadêmica, ao mesmo tempo em que contribuem para o desenvolvimento sustentável das comunidades no entorno, proporcionando uma troca significativa entre comunidade e instituição.

A aplicação de políticas sustentáveis e ambientais no ensino superior é uma tendência no mundo, trazendo à tona o conceito de “universidades verdes”, destacando a importância de Instituições de

Ensino Superior (IES) priorizarem o desenvolvimento sustentável em suas políticas institucionais (Rohrich, 2019). Com isso, as IES atuam como agentes transformadores, preparando as gerações futuras para enfrentar os desafios ambientais e sociais do século XXI.

Entende-se que a extensão verde em instituições de ensino possibilita o engajamento social, fortalecendo o vínculo entre universidade e sociedade, bem como contribui significativamente para o desenvolvimento sustentável, promovendo conscientização ambiental, a responsabilidade social e a busca por soluções inovadoras para os desafios socioambientais.

Dessa forma, acredita-se que ações de extensão voltadas à sustentabilidade nas instituições de ensino possibilitam uma troca de experiências com a comunidade, bem como propicia o engajamento em políticas de desenvolvimento sustentável, as quais têm impacto direto no meio social, no mundo do trabalho, bem como nas condições de saúde e bem-estar.

### *3.4 Pesquisa sustentável e desenvolvimento social: interdisciplinaridade de saberes para um futuro mais saudável, sustentável e equânime*

A pesquisa sustentável abrange estudos sobre tecnologias limpas, eficiência energética, desenvolvimento de fontes renováveis de energia, entre outros. Já a sustentabilidade é uma abordagem que busca encontrar soluções para a manutenção da vida humana no planeta a longo prazo. Os estudos nessa área incluem investigações sobre sistemas de produção sustentável, conservação da biodiversidade, redução do consumo de recursos naturais, entre outros. Assim, as pesquisas em meio ambiente, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade são necessárias para a criação de políticas públicas e ações sociais que possam ajudar a reduzir os impactos ambientais e garantir um futuro mais sustentável para as próximas gerações (Silva, 2023).

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu por meio de estudos direcionados pela Organização das Nações Unidas acerca das mudanças climáticas, como resposta para a humanidade perante a crise socioambiental presente desde a segunda metade do século XX (Barbosa, 2008). No início da década de 1990, o desenvolvimento sustentável foi impulsionado devido a uma enorme expansão da qualidade e do volume de legislações ambientais, assim como os acordos internacionais, que além de estruturar um perfil nas alterações ambientais, também impulsionaram uma mudança na política global (Feil, 2017).

Acabada a Guerra Fria, na década de 1990, no Rio de Janeiro, foi realizada a terceira conferência marco, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento, mais conhecida como Rio-92 (Ribeiro, 2002). Da reunião foi gerada a Agenda 21, documento de 40 capítulos que apresenta um programa de ação e planejamento do futuro de forma sustentável. Além da Agenda 21, quatro acordos foram gerados: Declaração do Rio, com 27 princípios voltados para a proteção ambiental e para o desenvolvimento sustentável, entre eles o princípio do pagamento pela produção de poluição, embrião do Protocolo de Kyoto; Declaração de Princípios sobre o Uso das Florestas; Convenção sobre Diversidade Biológica e a Convenção sobre Mudanças Climáticas.

De acordo com Ethos, o termo *triple botton line* foi desenvolvido por John Elkington, cofundador da consultoria de negócios SustainAbility, em seu livro “Cannibal with Forks: the triple botton line of 21st century business” em 1997. Ele define que “a sociedade depende da economia, e a economia depende do ecossistema global, cuja saúde representa o pilar derradeiro”, os três podendo ser representados como placas sobrepostas, interferindo umas nas outras (Epelbaum, 2004).

Ao longo das discussões produzidas pelas diferentes conferências mundiais, foram apresentados os cinco princípios de sustentabilidade: (1) Natural Step, (2) Agenda 21, (3) Pacto Global, (4) Projeto Sigma e (5) Princípios Globais de Sullivan.

A escolha desses cinco princípios foi de uma forma determinada e proposital. Dois princípios foram originados de encontros das Nações Unidas (Agenda 21 e Pacto Global) e os outros três foram gerados por organizações internacionais (Natural Step, Projeto Sigma e Princípios Global de Sullivan) a partir da década de 1980. Importante ressaltar a existência de outros princípios gerados pela própria ONU, como as Metas do Milênio e a Carta da Terra; outros por organizações internacionais (Global Reporting Initiative e Princípios da OCDE) e nacionais, como o Balanço Social do Instituto Ethos.

Na perspectiva de unir os princípios da pesquisa sustentável e a prática, é indispensável o desenvolvimento de ações junto à comunidade, de forma a serem construídos novos e diferentes saberes, a partir da fusão do conhecimento popular com o científico (Divino, 2013), garantindo o intercâmbio de conhecimentos, o envolvimento com questões sociais e o desenvolvimento de ações de promoção da saúde a partir de um prisma holístico, em que as diversas visões de mundo sejam respeitadas.

Para que tal desafio saia do campo das ideias, é necessária a realização de projetos de largo alcance social, voltados para públicos diversificados e que sejam planejados para atender às reais necessidades da população-alvo, utilizando estratégias de captação de recursos financeiros e parcerias, sem que seja transgredido o princípio da educação gratuita nem se torne uma prática mercantilista (Silva, 2006).

Ao desenvolver práticas de extensão, é possível promover a saúde na comunidade por meio de ações que visam ao desenvolvimento sustentável. Em áreas economicamente vulneráveis, essas ações podem ajudar a reduzir a pobreza e aumentar o acesso a recursos, garantindo a promoção da saúde e melhorando a qualidade de vida. Ademais, sustentabilidade e desenvolvimento social estão estreitamente ligados à saúde, sendo fundamental o aproveitamento de recursos naturais locais para promover o desenvolvimento socioambiental, o combate à pobreza e a emancipação social, a partir da aplicação dos saberes populares na busca de soluções para os problemas enfrentados (Oliveira, 2015; Martins, 2015).

É importante que possam ser realizadas ações de desenvolvimento sustentável para promoção da saúde em comunidades vulneráveis e mostrar os benefícios dessas ações para a comunidade acadêmica e científica. Além disso, devido à falta de estudos sobre atividades de extensão focadas na promoção da saúde por meio do desenvolvimento sustentável, essas ações também ajudam a fortalecer a extensão no campo da saúde.

A EEUFBA, através do grupo de pesquisa Crescer, iniciou em 2003 sua articulação com as comunidades em estudo, por meio de atividades de educação em saúde. *A priori*, buscou-se gerar entre os pesquisadores e as comunidades uma aproximação, processo que contribuiu para a identificação dos líderes locais, para o direcionamento mais efetivo das atividades a serem desenvolvidas e, do mesmo modo, para o compartilhamento dos saberes científico e popular (Michel T, 2013). A primeira intervenção do grupo foi por meio de um projeto de extensão intitulado “De olho na saúde da população de Moreré e Monte Alegre”. Nessa atividade, foi identificado que um dos anseios da população era a busca de autossustentabilidade através do aproveitamento dos recursos naturais. Nesse contexto, a própria comunidade avaliou que, para a promoção da saúde, era necessário algo que possibilitasse a geração de renda. Dessa forma, sugeriram a formação de cooperativa de doces ou de reutilização de resíduos.

#### **4. Considerações finais**

Diante do exposto, é fundamental reconhecer que a pesquisa sustentável e o desenvolvimento social são alicerces indispensáveis para um futuro mais saudável, sustentável e equânime. A interrelação entre os saberes científicos e populares enriquece e fortalece as abordagens de promoção da saúde, bem como ajuda as comunidades a enfrentarem seus desafios socioambientais. Ao promover ações que visam ao desenvolvimento sustentável, especialmente em áreas vulneráveis, é possível buscar melhorias na qualidade de vida e na

saúde pública, além de fomentar a autonomia econômica local. Esse esforço coletivo, apoiado por políticas públicas e práticas de extensão universitária, é necessário para criar um ambiente onde a sustentabilidade e o bem-estar caminhem juntos, assegurando um cenário mais próspero e positivo para as próximas gerações, em busca da qualidade de vida e um mundo sustentável.

## Referências

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**, n. 4, v. 1, p. 1-11, 2008.

BRAND, G. *et al.* I teach it because it is the biggest threat to health: Integrating sustainable healthcare into health professions education. **Medical Teacher**, v. 43, 2020.

BRASIL. **Política Nacional de Extensão Universitária**: Fórum de Pró-Reitores das Instituições Públicas de Educação Superior Brasileiras. Manaus, maio de 2012. Disponível em: <https://proex.ufsc.br/files/2016/04/Pol%C3%ADtica-Nacional-de-Extens%C3%A3o-Universit%C3%A1ria-e-book.pdf>.

BUSS, P. M. *et al.* Governança em saúde e ambiente para o desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1479-1491, 2012.

CHAVES, M. do P. S. R. *et al.* SUSTENTABILIDADE & QUALIDADE DE VIDA: práticas sustentáveis de saúde em comunidades ribeirinhas no Amazonas. **Revista de Políticas Públicas**, v. 24, n. 1, p. 265, 24 jun. 2020.

DE BRITO E SILVA, A. L. *et al.* Importância da Extensão Universitária na Formação Profissional: Projeto Canudos. **Revista de Enfermagem UFPE on line**, v. 13, 24 out. 2019.

DIVINO, A. *et al.* A extensão universitária quebrando barreiras. **Cadernos de Graduação - Ciências Humanas e Sociais** [Internet], v. 1, n. 16, p. 135-140, 2013.

EPELBAUM, M. A influência da gestão ambiental na competitividade e no sucesso empresarial. **Dissertação de Mestrado**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção São Paulo, p. 190, 2004.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cad. EBAPE**, v. 14, n. 3, jul./set. 2017.

MARCIANO, I. *et al.* Tecendo a sustentabilidade: da conscientização ambiental à saúde planetária na escola. **Revista Enfermagem Atual In Derme**, v. 98, n. 1, p. e024264-e024264, 25 fev. 2024.

MARTINAZZO M. R. *et al.* CONTRIBUIÇÕES DE PROJETOS DE EXTENSÃO DE UMA UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA PARA SAÚDE E BEM-ESTAR (ODS 3). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 42-61, jan./abr., 2020.

MARTINS, L. A. *et al.* Promovendo a sustentabilidade em comunidades quilombolas e ribeirinhas. **Adolesc. Saúde.**, Rio de Janeiro [Internet], v. 12(supl. 1), p. 60-64, 2015. Disponível em: [http://www.adolescenciaesaude.com/detalhe\\_artigo.asp?id=492#](http://www.adolescenciaesaude.com/detalhe_artigo.asp?id=492#).

MESQUITA, J. *et al.* Sustentabilidade, desenvolvimento e saúde: desafios contemporâneos. **Saúde em Debate**, v. 36, n. spe1, p. 26-35, 1 jun. 2012.

MICHEL, T.; LENARDT, M. H. O trabalho de campo etnográfico em instituição de longa permanência para idosos. **Esc. Anna Nery** [Internet], v. 17, n. 2, p. 375-380, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-81452013000200024>.

MOREIRA, M. R. *et al.* O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS Brazil heading to 2030. **Saúde em Debate**, v. 43, n. 7, p. 22-35, 2019.

NATURAL STEP. Disponível em: <http://www.naturalstep.org>. Acesso em: 20 jun. 2024.

NISHIMURA, M.; ROWE, D. Global Guidance for Education on Green Jobs. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/explore-topics/education-environment/what-we-do/empregos-verdes-para-juventude>.

OLIVEIRA, E. F. *et al.* Promoting health in vulnerable communities: social technologies for poverty reduction and sustainable development. **Rev. Gaúcha Enferm.** [Internet], v. 36(spe), p. 200-206, 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-14472015000500200&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-14472015000500200&lng=en). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-1447.2015.esp.56705>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando o nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **Resolução A/RES/70/1**. Nova Iorque: UM, 2015. Acesso em: 15 março 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>.

PROJECT SIGMA. Disponível em : <http://www.projectsigma.com>. Acesso em: 20 maio 2024.

REUTER, E. *et al.* Práticas extensionistas no desenvolvimento sustentável da comunidade quilombola de Dourados, Mato Grosso do Sul. **DOAJ: Directory of Open Access Journals**, 1 dez. 2012.

RIBEIRO, Wagner Costa. O Brasil e a Rio + 10. Departamento de Geografia. **Revista do Departamento de Geografia USP**, n. 15, p. 37-44, São Paulo, 2002.

ROHRICH, S. S.; TAKAHASHI, A. R. W. Sustentabilidade ambiental em Instituições de Ensino Superior, um estudo bibliométrico sobre as publicações nacionais. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 2, 9 maio 2019.

SCHIAVON, Isabel Cristina Adão. Saúde ambiental na formação de enfermeiros, à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela ONU. 2021. 286 f. Tese (Doutorado em Enfermagem). **Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto**, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

SILVA, C. D. D. Pesquisas em meio ambiente, desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. **Editora Atena**. 2023. DOI: 10.22533/at.ed.543231404.

SILVA, M.; Vasconcelos S. Extensão universitária e formação profissional: avaliação da experiência das ciências biológicas na Universidade Federal de Pernambuco. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 17, n. 33, p. 119-135, 2006. Disponível em: <http://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/ae/arquivos/1280/1280.pdf>.

STEUERNAGEL, C. R. Sustainability: a new paradigm in health-care education. **Cogitare Enferm.**, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/cogitare/article/view/94452>. Acesso em: 9 maio 2024.

TAMINATO, M; FERNANDES, H; BARBOSA, D. A. Enfermagem e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): Um Compromisso Essencial. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 76, n. 6, e760601, 2023.

ZANOBINI, P.; RICCIO, M. D; LIRINI, C.; BONACCORSI, G. Capacitando cuidados de saúde sustentáveis: o papel da alfabetização em saúde. **Sustentabilidade**, 2024.



# HORTA ESCOLAR E SUSTENTABILIDADE: PROMOVENDO ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL

*Sueline Cavalcante Chaves Costa<sup>1</sup>*

## 1. Introdução

O conceito de horta escolar vem ganhando destaque nos últimos anos como uma estratégia eficiente para promover a educação ambiental, a sustentabilidade e a alimentação saudável entre os estudantes. No contexto do interior do Ceará, onde fatores climáticos, econômicos e sociais influenciam diretamente a vida das comunidades, a implementação de hortas escolares adquire um significado ainda mais profundo. Este capítulo aborda a importância das hortas escolares no interior do semiárido, destacando suas contribuições para a sustentabilidade e para a promoção de hábitos alimentares saudáveis.

As hortas escolares funcionam como laboratórios vivos, onde os alunos podem aprender, na prática, conceitos de ecologia, sustentabilidade e ciências agrárias. Elas promovem uma vasta compreensão sobre o ciclo de vida das plantas, a importância da biodiversidade e o manejo sustentável dos recursos naturais. No interior do Ceará, onde a agricultura é uma atividade econômica fundamental, esse conhecimento é especialmente valioso.

A educação ambiental é um processo que busca despertar a consciência sobre os problemas ambientais, promovendo a compreensão sobre a interdependência do ser humano e o meio ambiente. A

---

<sup>1</sup> Bióloga pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), mestranda em biotecnologia pelo Programa de Pós-Graduação em biotecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Sobral.

importância reside na capacidade de formar cidadãos informados e engajados na defesa do meio ambiente. Em um contexto global de mudanças climáticas, perda de biodiversidade e degradação dos ecossistemas, a educação ambiental se torna uma ferramenta crucial para promover práticas sustentáveis e minimizar os impactos negativos das atividades humanas.

## **2. Componentes da educação ambiental**

A educação ambiental é um dos componentes a ser estudado para compor uma horta escolar adequada, pois visa conscientizar os alunos sobre a importância de cultivar alimentos de maneira ecológica e sustentável. Essa prática promove hábitos alimentares mais saudáveis, incentivando o consumo de alimentos frescos e orgânicos, cultivados por eles mesmos. Assim, uma base adequada para educação ambiental requer:

1. **Conhecimento e Compreensão:** A base da educação ambiental é fornecer conhecimento sobre os sistemas naturais, os processos ecológicos e os desafios ambientais. Isso inclui a compreensão dos ciclos biogeoquímicos, a importância da biodiversidade, as causas e consequências da poluição e as mudanças climáticas.

2. **Valores e Atitudes:** A educação ambiental busca promover valores como respeito, responsabilidade e empatia em relação ao meio ambiente. Desenvolver uma ética ambiental significa reconhecer o valor intrínseco da natureza e a necessidade de protegê-la para as futuras gerações.

3. **Habilidades e Ação:** Além do conhecimento teórico, é fundamental desenvolver habilidades práticas que permitam aos indivíduos agirem de maneira sustentável. Isso inclui habilidades de jardinagem, reciclagem, uso eficiente da água e energia, entre outras. A ação prática é essencial para transformar conhecimento em comportamentos sustentáveis.

## *2.1 A sustentabilidade no contexto da educação ambiental*

A sustentabilidade é um conceito que visa equilibrar as necessidades econômicas, sociais e ambientais da sociedade, garantindo que os recursos naturais sejam utilizados de maneira responsável e preservados para as futuras gerações. A ideia central da sustentabilidade é que o desenvolvimento deve ocorrer de maneira a não comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Dessa maneira, podemos citar os princípios da sustentabilidade:

1. Interdependência: Reconhecer que os sistemas naturais e humanos estão interligados e que as ações em um sistema têm impactos em outros;
2. Equidade: Garantir que os benefícios do desenvolvimento sejam distribuídos de maneira justa, tanto entre as pessoas quanto entre as gerações;
3. Prevenção: Adotar uma abordagem preventiva em relação ao meio ambiente, evitando ações que possam causar danos irreversíveis;
4. Responsabilidade: Assumir a responsabilidade pelas ações e seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

## *2.2 A educação ambiental nas escolas é um caminho para a sustentabilidade*

Integrar a educação ambiental no currículo escolar é fundamental para criar uma consciência ambiental desde cedo. Isso pode ser feito por meio de disciplinas específicas, como ciências ambientais, ou de maneira transversal, incorporando temas ambientais em disciplinas como geografia, biologia, química — e até mesmo história e literatura.

Projetos práticos, como a implementação de hortas escolares, são excelentes exemplos de como a educação ambiental pode ser vivenciada na prática. Esses projetos permitem que os alunos apliquem o conhecimento teórico em situações reais, desenvolvendo habilidades práticas e compreendendo a importância da sustentabilidade.

No entanto, a educação ambiental deve ir além dos muros da escola, envolvendo a comunidade local. Projetos que engajam pais, professores, líderes comunitários e organizações locais ajudam a criar um ambiente de aprendizado coletivo e a reforçar a importância da sustentabilidade em todas as esferas da vida.

Para que a educação ambiental seja eficaz, é essencial que os educadores estejam bem-preparados. Programas de formação continuada para professores devem incluir conteúdos atualizados sobre questões ambientais, bem como metodologias de ensino que incentivem a participação ativa e a reflexão crítica dos alunos.

### *2.3 A educação ambiental promove uma alimentação saudável*

O acesso a alimentos frescos e nutritivos é um desafio em muitas regiões do interior do Ceará. A inclusão de hortas nas escolas ajuda a suprir parte dessa demanda, fornecendo legumes, verduras e frutas cultivados localmente. Além disso, ao envolver os estudantes no processo de cultivo, colheita e preparação dos alimentos, as hortas escolares incentivam uma conexão direta com a comida que consomem, promovendo hábitos alimentares mais saudáveis e conscientes. Impactam social, econômica e ambientalmente na melhoria da qualidade de vida das comunidades ao redor.

As hortas podem fornecer alimentos frescos que complementam a merenda escolar, reduzindo a necessidade de alimentos processados e industrializados. Isso é especialmente importante em regiões onde a desnutrição e a obesidade coexistem devido à má qualidade da alimentação disponível.

## **3. Envolver a comunidade**

Para o sucesso das hortas escolares, é fundamental o envolvimento ativo da comunidade. Pais, professores, alunos e líderes comunitários devem trabalhar juntos para planejar, implementar e manter a

horta. Oficinas de capacitação e eventos comunitários podem fortalecer esses laços e garantir a continuidade do projeto. Vejamos alguns exemplos de hortas escolares que tiveram sucesso.

- Horta Escolar de Quixeramobim

Em Quixeramobim, uma cidade no interior do Ceará, uma escola municipal implementou o projeto de horta escolar que se tornou modelo na região. Com a participação ativa dos alunos e apoio da prefeitura, a horta produz uma variedade de vegetais que são utilizados na merenda escolar. O projeto inclui aulas práticas sobre técnicas de cultivo sustentável e nutrição, promovendo uma cultura de alimentação saudável entre os estudantes.

- Projeto Horta na Escola em Sobral

Em Sobral, o projeto Horta na Escola integra o currículo escolar com atividades práticas na horta. As crianças aprendem sobre compostagem, manejo integrado de pragas e a importância da biodiversidade. Além de melhorar a qualidade da alimentação escolar, o projeto fortalece a conexão dos alunos com o meio ambiente e a sustentabilidade (Figuras 1 e 2).

**Figura 1** - Implementação do Projeto Horta na Escola em Sobral, Ceará



**Fonte:** Arquivo próprio.

**Figura 2** - Implementação do Projeto Horta na Escola em Sobral, Ceará, com participação ativa dos discentes e docentes



**Fonte:** Arquivo próprio.

## 4. Desafios e oportunidades

### 4.1 Desafios

Dentre os diversos desafios observados, a escassez de recursos é um dos mais importantes, pois muitas escolas, especialmente em áreas rurais ou economicamente desfavorecidas, enfrentam a falta de recursos financeiros e materiais para implementar programas de educação ambiental. Ademais, a equipe que irá implementar a horta escolar pode perceber resistência à mudança, especialmente por parte de administradores escolares, professores e até mesmo dos pais em adotar novas abordagens educativas.

### 4.2 Oportunidades

O uso de tecnologias, como plataformas de aprendizado online, pode facilitar o acesso a materiais educativos e recursos didáticos inovadores. As colaborações com ONGs, universidades, empresas

e governos podem proporcionar suporte técnico e financeiro para programas de educação ambiental. É válido enfatizar que a crescente conscientização global sobre a importância da sustentabilidade oferece um ambiente favorável para a implementação de programas de educação ambiental.

## 5. Considerações finais

As hortas escolares no interior do Ceará representam uma poderosa ferramenta para promover a sustentabilidade, a educação ambiental e a alimentação saudável.

Adaptadas às condições locais e integradas à comunidade, elas têm o potencial de transformar a realidade das escolas e das comunidades ao redor, criando um futuro mais sustentável e saudável para todos. Por meio da educação prática e do envolvimento comunitário, as hortas escolares ensinam lições valiosas que vão além da sala de aula, inspirando uma geração de cidadãos conscientes e responsáveis. Investir na educação ambiental é, portanto, investir no futuro do planeta e na qualidade de vida das próximas gerações.

## Referências

BEVILACQUA, H. E. C. R. Classificação das hortaliças. *In: HORTA: cultivo de hortaliças*. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, p. 1-6, 2006.

BEZERRA, F. C. Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 22 p., 2003. 2 p.

BLAIR, D. A Criança no Jardim: Uma Revisão Avaliativa dos Benefícios da Jardinagem Escolar. **The Journal of Environmental Education**, v. 40, n. 2, p. 15-38, 2009.

FREIRE, P. Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa. São Paulo: **Paz e Terra**, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
Censo demográfico: interior do Ceará. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2020.  
BRASIL. Diretrizes para a Implementação de Hortas Escolares no  
Brasil. Brasília: **Ministério da Educação**, 2022.

# CIÊNCIAS BÁSICAS E O USO DE ANIMAIS PARA DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA SUSTENTÁVEL: O USO DOS 3Rs

*Alana Nogueira Godinho<sup>1</sup>*

*Anelise Maria Costa Vasconcelos Alves<sup>2</sup>*

*Maurício Francisco Vieira Neto<sup>3</sup>*

*Jordânia Marques de Oliveira Freire<sup>4</sup>*

*Anderson Weiny Barbalho Silva<sup>5</sup>*

## 1. Introdução

Neste capítulo são abordados, além de conceitos básicos sobre ciências e o uso de animais para experimentação, aspectos referentes à substituição, redução e refinamento do uso de animais, considerando a sustentabilidade na pesquisa animal.

### *1.1 A ciência e seu percurso com o uso de animais*

A ciência pode ser definida como o conjunto organizado de conhecimentos adquiridos pela pesquisa científica (Borba e Longo,

---

1 Médica Veterinária. Doutora em Fisiologia Humana pela Universidade Estadual do Ceará e responsável técnica pelo Biotério do Curso de Medicina da Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus Sobral, Ceará, Brasil. *E-mail* para correspondência: alana.godinho@sobral.ufc.br.

2 Médica Veterinária. Doutora em Microbiologia Médica pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Médica Veterinária da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

3 Médico Veterinário. Doutor em Ciências Veterinárias pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Responsável técnico pelo Biotério Central da Universidade Federal do Ceará (UFC), aluno de graduação em Medicina pelo Centro Universitário Christus (Unichristus).

4 Bióloga. Doutora em biotecnologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus Sobral. Docente da Faculdade Luciano Feijão (FLF), Sobral, Ceará, Brasil.

5 Biólogo. Doutor em biotecnologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus Sobral. Coordenador de Pesquisa e Extensão da Faculdade Luciano Feijão (FLF), Sobral, Ceará, Brasil.

1996), sendo classificada como pura (básica ou teórica) ou técnica (aplicada). A ciência básica fundamenta-se na aquisição de novos conhecimentos e pelo desenvolvimento de teorias. A ciência aplicada é voltada para a aplicação de conhecimentos já existentes para a aquisição de novos conhecimentos e resolução de problemas básicos (Shaw, 1930).

Os primeiros registros de uso de animais com finalidade científica são da Grécia Antiga, nos experimentos de Hipócrates, o “pai da medicina”, e de Alcméon, que em 500 a.C. comparava órgãos de animais e de humanos (D’Acampora, 2003). Herófilo (335-280 a.C.) e Erasístrato (310-250 a.C.), fisiologistas, também recorreram à experimentação animal com o intuito de obter informações acerca do funcionamento dos sistemas orgânicos (Baeder *et al.*, 2012). Aristóteles (384-322 a.C.) defendia a superioridade dos humanos em relação aos animais, alegando que os seres com menor capacidade de raciocínio deveriam beneficiar aqueles considerados mais racionais (Menezes, 2002).

No curso da nossa história, os aspectos éticos da utilização de animais são muito vagos, tendo citações escassas em livros religiosos como a Bíblia, dando a entender que os sacrifícios de animais deveriam ser feitos apenas por pessoas escolhidas, utilizando métodos rápidos e com pouca dor (Petroianu, 1996). Ainda dentro da religião, no século IV, Santo Agostinho recomendou que cada homem seguisse sua consciência (Augustinus, 1964). Na mesma época, São Crisóstomo sugeriu que os animais deveriam ser tratados de forma gentil, pois apresentavam a mesma origem que os humanos (Linzey, 1976). De acordo com o teólogo Pe. Ritchie, os animais poderiam ser igualados a objetos sem vida como madeiras, pedras, estando à disposição do homem para qualquer prática (Bowd, 1980).

No período do racionalismo moderno, no século XVII, quando a experimentação atingiu seu auge, a “teoria mecanicista” passou a ser defendida por René Descartes, o qual considerava os animais como seres desprovidos de espírito e, portanto, da capacidade de sentir

dor, diferenciando-se da espécie humana (Silva, 2008; Tinoco e Correia, 2010). Voltaire (1694-1778), contrapondo-se a essa ideia, considerava os animais seres sencientes e discordava do paradigma mecanicista de Descartes (Felipe, 2007). Mais tarde, Jeremy Bentham (1749-1832) lançou a base para os princípios morais e a legislação atualmente utilizada nas regulamentações éticas dos procedimentos de experimentação animal, defendendo que: “os animais não podem raciocinar nem falar, mas podem sofrer” (Bentham, 2000).

Em 1822, instituiu-se a Lei Inglesa Anticrueldade (*British Anticruelty Act*) para anular atos de tortura em animais, mas era aplicável somente aqueles domésticos de grande porte (Goldim; Raymundo, 1997). As primeiras manifestações sociais relacionadas às pesquisas que provocavam dor em animais vertebrados foram denominadas de *Cruelty to Animals Act*, ocorridas na cidade de Londres, em 1876. O objetivo do documento era autorizar o governo a liberar os pesquisadores, a fim de regular os experimentos e inspecionar as instituições que realizavam as pesquisas (Guerrini, 2003).

O Código de Nuremberg foi a declaração mais aceita internacionalmente, apresentando como terceiro princípio a afirmativa de que “o experimento com humanos deve ser baseado em resultados de experimentação com animais”, tendo sido incorporado e aceito pela maioria dos países (Osswald, 1992).

No ano de 1959, Russell e Burch publicaram o livro *The principles of humane experimental technique*, no qual afirmaram que a boa pesquisa com animais deve respeitar três Rs: *replacement, reduction e refinement* (substituição, redução e refinamento). O que passou então a ser conhecido como o princípio dos 3Rs repercutiu tão bem que foram incorporados ao *Royal Commission of Ethics* do Reino Unido. Também foram adotados pelo governo dos Estados Unidos para a liberação de verbas aos projetos de pesquisa em áreas biomédicas (Menezes, 2002).

Em 1978, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), durante evento realizado em Bruxelas,

firmou a Declaração Universal dos Direitos dos Animais, levando a sociedade a debater, de maneira ainda mais intensa, a experimentação animal (Mezadri; Tomaz; Amaral, 2004).

Apesar dos avanços significativos na aplicação dos princípios dos 3Rs, ainda existem desafios substanciais a serem superados. Um dos principais obstáculos é a resistência em áreas específicas da pesquisa, em que métodos alternativos ainda não conseguem replicar com precisão os resultados obtidos com o uso de animais. Por exemplo, em certos estudos toxicológicos e farmacológicos, a complexidade dos sistemas biológicos requer o uso de modelos animais para garantir a segurança e a eficácia dos produtos desenvolvidos (Ferreira, 2018).

Além disso, a falta de financiamento adequado para o desenvolvimento de novas alternativas científicas limita a expansão de métodos que poderiam substituir o uso de animais. A ausência de padrões globais uniformes também dificulta a implementação consistente dos 3Rs, pois diferentes países possuem regulamentos variados sobre o uso de animais em pesquisa (Silva; Oliveira, 2020). No entanto, a contínua pressão por práticas mais éticas, tanto da comunidade científica quanto da sociedade em geral, sugere que a busca por métodos alternativos deve continuar a crescer, promovendo uma maior integração dos 3Rs no futuro da pesquisa científica (Martins *et al.*, 2022).

## *1.2 Ética na experimentação animal*

Primeiramente, precisamos entender a diferença entre moral e ética. A moral é um conjunto de regras, costumes e formas de pensar de um grupo social, que define o que devemos ou não fazer em sociedade. Já a ética é um conceito com base filosófica, sendo um comportamento individual, tendo como referência um código de ética ou de conduta.

De acordo com Mezadri *et al.* (2004), ética é uma atitude cultural e crítica sobre valores e posições no momento de atuar. O homem moderno está procurando adotar um novo tipo de comportamento

e de ética frente à natureza, dado o processo de atuação humana na busca de equilíbrio e preservação do contingente natural remanescente. Assim, pode-se afirmar que verdadeira e consolidada atitude ética é saber que tanto os animais quanto os seres humanos nascem, crescem, reproduzem, sentem e morrem (Schaidter; Souza, 2003).

A ética permite que se realize pesquisa sem gerar sofrimento aos animais, pois não aceita atrocidades e abusos efetuados na utilização de seres vivos em experimentos. Dessa forma, a ética não deve se restringir às relações estritamente humanas, pois os direitos e as diferenças entre as espécies devem ser respeitados, no intuito da preservação natural (Chagas e D'Agostini, 2012).

Vale enfatizar que a ciência é essencial para o bem-estar da sociedade, desde medicamentos até tecnologias espaciais dependem de estudos com animais e os cientistas não podem ser considerados inimigos (Bernard, 2004). Ainda sobre a importância da sociedade, Garrafa (2003) afirma que a ciência é deveras importante, devendo ser realizada por cientistas e sociedade, trabalhando em conjunto para garantir a ética e o bem-estar.

Segundo Machado *et al.* (2009), é inegável que muitos avanços no conhecimento foram obtidos com o uso de animais, tendo as pesquisas científicas contribuído de forma significativa nas conquistas destinadas ao bem-estar da humanidade. Entretanto, para que o uso de cobaias animais para fins científicos seja moralmente aceitável, é necessário que o animal seja visto como um ser vivo, com hábitos, instintos e memórias próprios e independentes, até mesmo com aguçada suscetibilidade à angústia e à dor. Esse conceito é o que define ser senciante, ou seja, capaz de experimentar sensações e sentimentos de forma consciente, seja de forma positiva ou negativa.

O emprego de animais de laboratório, em conjunto com estudos realizados em humanos, permite compreender processos fisiológicos e patológicos importantes que, sem ele, não seria possível (Politi *et al.*, 2008). Conforme Rezende *et al.* (2008), cientistas que estudam

as reações dos animais reconhecem que eles possuem consciência e memória, são capazes de sofrer, sentir dor, ter medo e lutar pela vida. Logo, os experimentos devem ser planejados para evitar estresse, dor ou sofrimento desnecessários aos animais. A escolha dos delineamentos experimentais deve selecionar aqueles que utilizam menores quantidades de animais, que envolvem menor grau de sensibilidade neurofisiológica, estresse e prejuízos duradouros (Rezende; Peluzio; Sabarense, 2008). Sempre que viável, o uso de animais deve ser substituído, conforme será melhor explorado mais adiante.

A bioética propicia uma reflexão que considera os diferentes pontos de vista, levantados no passado e no presente, visando adequar a pesquisa aos fundamentos do respeito à vida, principalmente das pessoas, e da tolerância. Respeito à vida que dignifica o animal como merecedor de considerações éticas. Tolerância que traz consigo a possibilidade de manter a realização de experimentos, desde que adequadamente justificados e planejados com um mínimo de impacto sobre a vida dos animais participantes (Maschio, 2005).

Dessa maneira, a bioética, como um campo interdisciplinar, surge para mediar as questões éticas, filosóficas, jurídicas e sociais relacionadas ao uso de animais na pesquisa científica. Ela propõe uma reflexão crítica que vai além dos preceitos tradicionais da ética, considerando o bem-estar animal como um componente crucial para a legitimidade da prática científica. De acordo com Beauchamp e Childress (2001), os quatro princípios da bioética — autonomia, beneficência, não maleficência e justiça — podem ser aplicados à experimentação animal, orientando os pesquisadores a minimizarem o sofrimento animal e justificar rigorosamente o uso de seres sencientes em experimentos. Nesse contexto, a bioética não só fortalece a argumentação em torno dos 3 Rs, mas também incentiva a contínua busca por alternativas que respeitem a dignidade dos animais, sem comprometer o avanço científico.

Além disso, a sociedade demanda que os resultados obtidos com a experimentação animal sejam socialmente relevantes e que as

pesquisas sejam conduzidas com transparência e responsabilidade, evitando abusos e garantindo que os animais sejam tratados com o máximo de dignidade possível (Santos *et al.*, 2017). Assim, a definição desses limites éticos é fundamental para alinhar o progresso científico com os valores morais contemporâneos.

## **2. Sustentabilidade na pesquisa animal**

A Ciência de Animais de Laboratório tem duas vertentes relacionadas à sustentabilidade. A primeira é que ela gera tecnologias mais sustentáveis. A segunda é que a pesquisa tem que seguir os valores norteadores da sustentabilidade.

Em relação ao desenvolvimento sustentável, a pesquisa científica é a base para criação das políticas públicas de sustentabilidade. A ciência permite tomadas de decisão baseadas em evidências e comprovadas estatisticamente. Dentro das crises socioeconômicas, ambientais e sanitárias em que vivemos, a aplicação do conhecimento científico é fundamental. Um exemplo recente foi o desenvolvimento de vacinas em tempo recorde na pandemia de COVID-19. Além do desenvolvimento de novos antimicrobianos e compreensão de contaminações ambientais, como os pesticidas e microplásticos, por exemplo. Graças ao uso de animais na pesquisa, foi possível verificar a presença de microplástico no sangue, coração, placenta, rins, fígado e até cérebro. Além disso, permite elucidar esse tipo de poluente para o organismo humano e animal.

Por outro lado, de acordo com Taylor (2019), foram utilizados globalmente para fins científicos 192 milhões de animais no ano de 2015. Para além do exacerbado número de animais, a pesquisa biomédica promove uma gama de consequências ambientais (Groff, 2014), a saber: a) consumo de recursos naturais (as instalações de pesquisa requerem grande consumo de energia e água, além do uso de produtos químicos e reagentes para manutenção sanitária das instalações); b) produção de resíduos (os laboratórios produzem gran-

des quantidades de resíduos, incluindo químicos perigosos e biomédicos, que necessitam de gestão adequada para evitar contaminação ambiental); c) poluição (quando não tratados corretamente, os resíduos gerados podem poluir o ar, a água e o solo, afetando ecossistemas e cadeias alimentares); d) efeitos negativos sobre a biodiversidade devido à captura de animais selvagens; e) impactos na saúde dos trabalhadores.

Ademais, um número expressivo de animais é simplesmente descartado sem ser usado para fins científicos porque são determinados como excedentes ou desenvolvem uma doença adquirida em laboratório que não está sendo estudada.

Groff e colaboradores (2014) utilizam os testes de toxicidade para exemplificar a escala do uso de animais e recursos. Os testes de toxicidade são conduzidos em animais na tentativa de demonstrar a segurança e eficácia de medicamentos e certos produtos químicos. Uma série padrão de testes de toxicidade chegou a usar de 6 a 12 mil animais, levando anos para ser concluída (Sullivan *et al.*, 2011). Os testes são frequentemente conduzidos em ratos, camundongos, coelhos e cães, com pelo menos três grupos de animais recebendo um medicamento ou produto químico de teste e outro grupo servindo como controle (National Research Council, 2006).

Assim, a condução de pesquisas científicas de forma inadequada pode resultar em uma série de impactos negativos ao meio ambiente, que vão desde a poluição até a perda de biodiversidade. Como citado, um exemplo notável é o descarte inadequado de resíduos químicos e biológicos gerados em laboratórios de pesquisa. Quando não tratados de forma adequada, esses resíduos podem contaminar o solo, corpos d'água e atmosfera, resultando em poluição que afeta ecossistemas inteiros (Silva *et al.*, 2015). Por exemplo, a liberação de substâncias tóxicas nos cursos d'água pode levar à morte de espécies aquáticas e à interrupção das cadeias alimentares, com consequências diretas para a biodiversidade local e para a saúde humana (Santos *et al.*, 2017). Além disso, a captura excessiva de animais selvagens

para pesquisa pode causar um declínio populacional significativo, ameaçando a sobrevivência de espécies já vulneráveis e contribuindo para a perda de diversidade genética, crucial para a resiliência dos ecossistemas (Martins; Lima, 2019). Esses impactos são exacerbados quando não há políticas rigorosas de gestão de resíduos e de conservação da biodiversidade, o que evidencia a necessidade de práticas de pesquisa mais sustentáveis e responsáveis para mitigar os malefícios ao meio ambiente.

Assim, para uma pesquisa sustentável, estratégias devem ser adotadas, como redução do uso de animais (incentivar alternativas à experimentação animal, como métodos *in vitro* e modelos computacionais *in silico*), adequada gestão de resíduos e adoção de tecnologias e práticas que reduzam o consumo de água, energia e demais recursos laboratoriais (Groff, 2014).

As políticas públicas desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade na pesquisa científica, especialmente no que diz respeito ao uso de animais. Governos e organizações internacionais têm estabelecido diretrizes e regulamentos que incentivam práticas de pesquisa mais éticas e sustentáveis. Um exemplo é a Diretiva 2010/63/EU da União Europeia, que estabelece padrões rigorosos para o uso de animais em experimentação, exigindo a aplicação dos princípios dos 3 Rs (Replacement, Reduction, Refinement) em todos os projetos de pesquisa financiados com recursos públicos (European Parliament, 2010). Além disso, programas de financiamento, como os promovidos pelos National Institutes of Health (NIH), nos Estados Unidos, agora exigem que os pesquisadores demonstrem como irão minimizar o impacto ambiental de suas pesquisas, por meio da redução do uso de animais e da adoção de tecnologias sustentáveis (NIH, 2021).

Essas políticas não apenas promovem o bem-estar animal, mas também alinham a pesquisa científica com os objetivos globais de sustentabilidade, garantindo que os avanços científicos sejam alcançados de maneira ética e responsável (Smith *et al.*, 2019). O papel

das políticas públicas, portanto, é fundamental para assegurar que a pesquisa científica contribua para o desenvolvimento sustentável, tanto através da regulamentação do uso de animais quanto pelo incentivo ao desenvolvimento de alternativas inovadoras e ambientalmente conscientes.

Partindo dos ensinamentos previstos nos princípios dos três Rs e da premissa que em todas as áreas existem pessoas boas e más, éticas e não éticas, viu-se a necessidade da imposição legal para regulamentar e moldar princípios aceitáveis frente à utilização dos animais em pesquisa e ensino (Marques *et al.*, 2005). No Brasil, uma das principais políticas públicas que exemplifica a integração da sustentabilidade na pesquisa científica é a Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, conhecida como a Lei Arouca. Essa lei regulamenta o uso de animais em atividades de ensino e pesquisa científica no país, estabelecendo diretrizes claras para o tratamento ético e sustentável dos animais. A Lei Arouca cria o Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), responsável por supervisionar e normatizar as práticas de experimentação animal em todo o território nacional (BRASIL, 2008).

Além de assegurar a aplicação dos princípios dos 3Rs (substituição, redução e refinamento), a lei exige que os pesquisadores elaborem projetos que minimizem o uso de animais e promovam o bem-estar animal, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade. A regulamentação também inclui a obrigatoriedade da criação de Comissões de Ética no Uso de Animais (CEUAs) nas instituições de pesquisa, que têm o dever de revisar e aprovar os projetos de pesquisa, garantindo que sejam seguidas as melhores práticas em termos de ética e sustentabilidade (CONCEA, 2016). A implementação dessa política pública demonstra o compromisso do Brasil em alinhar sua produção científica com padrões internacionais de ética e responsabilidade ambiental, promovendo um ambiente de pesquisa que respeita tanto a vida animal quanto o meio ambiente.

### 3. O princípio dos três Rs

#### 3.1 Conceitos

De acordo com Russell e Burch (1959), o princípio da Substituição consiste na permuta dos protocolos experimentais com animais sencientes por métodos que não utilizem animais (substituição absoluta) ou por métodos que utilizem animais inferiores e incapazes de sentir distresse ou dor (substituição relativa). Diversos métodos alternativos têm sido desenvolvidos com o objetivo de promover a substituição nas pesquisas, incluindo métodos computacionais, cultivo de células, e o uso de vertebrados inferiores, invertebrados e microrganismos (Doke; Dhawale, 2013).

O uso de tecnologias *organ-on-a-chip* é um exemplo claro da aplicação do método da substituição, uma vez que replicam a estrutura e a função de órgãos humanos em microchips, permitindo que pesquisadores estudem interações biológicas complexas sem recorrer a modelos animais. Estudos recentes demonstram que esses dispositivos têm sido eficazes em simular a resposta do corpo humano a medicamentos e toxinas, proporcionando dados mais relevantes para humanos do que os obtidos em modelos animais tradicionais (Zhang *et al.*, 2018). Além disso, os modelos computacionais avançados, conhecidos como *in silico*, têm se destacado como ferramenta na substituição de animais, especialmente em estudos toxicológicos e no desenvolvimento de vacinas. Simulações *in silico* permitem a modelagem detalhada de processos biológicos, a previsão de reações adversas a fármacos, e a avaliação da eficácia de vacinas, reduzindo significativamente a necessidade de testes em animais (Ehrhardt *et al.*, 2016). A combinação dessas abordagens não apenas substitui o uso de animais, mas também melhora a precisão e a relevância dos resultados, acelerando o processo de pesquisa e desenvolvimento na biomedicina e na farmacologia.

O princípio da Redução, por sua vez, preza por diminuir o distresse infligido aos animais a partir da diminuição do número amostral do estudo, considerando uma avaliação estatística que permita encontrar o menor número de animais necessário para um determinado experimento. No entanto, a amostra deverá ser suficiente para garantir a validação e a precisão estatística dos dados obtidos (Russell; Burch, 1959).

Com o avanço das técnicas estatísticas, métodos mais recentes, como o design experimental adaptativo e a análise bayesiana, têm sido aplicados para otimizar o número de animais, permitindo experimentos mais eficientes e éticos (Lewis *et al.*, 2019). Ademais, colaborações interinstitucionais e o compartilhamento de dados entre laboratórios têm contribuído significativamente para a redução global do uso de animais, alinhando-se aos princípios da Redução e à promoção de práticas de pesquisa mais sustentáveis.

Finalmente, o princípio do Refinamento, de um modo geral, preza pela redução do distresse imposto aos animais, pela redução da severidade ou intensidade de procedimentos desumanos aplicados aos animais destinados à pesquisa, ensino ou testes biomédicos (Russell; Burch, 1959). Ao considerar a premissa da redução do distresse, o princípio do Refinamento é alcançado com práticas de refinamento ambiental e aplicação de práticas adequadas de anestesia, analgesia, eutanásia e manejo na utilização dos animais, considerando as características individuais de cada espécie (Silva *et al.*, 1996; Doke; Dhawale, 2013).

Nesse sentido, é importante ressaltar que, nos últimos anos, houve avanços significativos no desenvolvimento de métodos de analgesia menos invasivos e mais eficazes, voltados para melhorar o bem-estar animal em pesquisas científicas. Tradicionalmente, a administração de analgésicos em animais experimentais envolvia métodos que podiam ser invasivos ou causar desconforto adicional. No entanto, abordagens mais modernas têm focado em técnicas que minimizam o estresse e a dor, como o uso de sistemas de liberação controlada de

analgésicos, que proporcionam alívio da dor de maneira contínua e com menor necessidade de intervenção humana (Flecknell, 2018). Além disso, novas formulações de analgésicos tópicos têm sido desenvolvidas para fornecer alívio local da dor sem a necessidade de injeções, reduzindo assim o potencial de trauma adicional (González *et al.*, 2020). Essas inovações não apenas melhoram a qualidade de vida dos animais durante os experimentos, mas também garantem a obtenção de dados experimentais mais precisos, uma vez que os animais menos estressados apresentam respostas fisiológicas mais naturais (Stevens *et al.*, 2017). Assim, o desenvolvimento contínuo de métodos de analgesia mais refinados é fundamental para alinhar a pesquisa científica com os princípios éticos e de bem-estar animal.

Além das práticas de manejo adequadas, o enriquecimento ambiental, que envolve a melhoria dos habitats dos animais para reduzir o estresse, tem se mostrado essencial para garantir o bem-estar dos animais utilizados em pesquisa. O enriquecimento ambiental trabalha com a introdução de objetos para exploração, a criação de ambientes que simulam habitats naturais e a interação social adequada, fatores que reduzem significativamente os níveis de estresse nos animais, melhorando sua saúde física e mental (Würfel *et al.*, 2014).

Destarte, o princípio do Refinamento visa não apenas à redução do sofrimento imposto aos animais, mas também à melhoria da qualidade dos dados obtidos, contribuindo para uma pesquisa mais ética e responsável, pois animais menos estressados e com dor controlada tendem a fornecer respostas experimentais mais confiáveis e reprodutíveis (Gartner *et al.*, 2016).

### 3.2. A Legislação brasileira e aplicação dos princípios dos três Rs

A Lei Arouca trata dos procedimentos para o uso científico de animais e cria o CONCEA (Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal), um órgão deliberativo vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, o qual apresenta como uma

de suas funções o credenciamento de instituições para criação ou utilização de animais em ensino e pesquisa científica. Ademais, cita como condição indispensável a constituição de uma CEUA (Comissão de Ética no Uso de Animais) previamente ao credenciamento (Brasil, 2008).

As competências do CONCEA são citadas no artigo 5º, do capítulo II da Lei Arouca, estando entre elas formular e zelar pelo cumprimento das normas relativas à utilização humanitária de animais com finalidade de ensino e pesquisa científica (inciso I); monitorar e avaliar a introdução de técnicas alternativas que substituam a utilização de animais em ensino e pesquisa (inciso III); estabelecer e rever, periodicamente, as normas para uso e cuidados com animais para ensino e pesquisa, em consonância com as convenções internacionais das quais o Brasil seja signatário (inciso IV) (Brasil, 2008).

Em continuidade aos esforços para regulamentar e aprimorar o uso de animais em pesquisas, o CONCEA publicou a Resolução Normativa nº 49, de 7 de maio de 2021. Essa normativa estabelece diretrizes específicas para a aplicação dos princípios dos 3Rs em atividades de ensino e pesquisa científica no Brasil, reforçando o compromisso do país com a substituição, redução e refinamento no uso de animais. A RN 49 detalha critérios para a utilização de animais, exigindo que os projetos de pesquisa justifiquem a necessidade do uso de animais e demonstrem que todas as alternativas foram consideradas e, se possível, adotadas (CONCEA, 2021).

Além disso, a normativa promove a implementação de métodos alternativos, como técnicas *in vitro* e *in silico*, e exige a atualização contínua dos procedimentos para garantir que as práticas de manejo, anestesia e analgesia estejam de acordo com os padrões mais avançados e menos invasivos disponíveis. A RN 49 também enfatiza a importância do treinamento contínuo de pesquisadores e técnicos, assegurando que todos os envolvidos na pesquisa com animais estejam capacitados para aplicar os princípios dos 3Rs de maneira eficaz

e ética. Assim, essa normativa representa um marco na consolidação de uma cultura de respeito e responsabilidade no uso de animais para fins científicos no Brasil, alinhando o país às melhores práticas internacionais.

Como podemos perceber, a legislação brasileira, através da Lei Arouca e das normativas do CONCEA, demonstra um compromisso sólido com a aplicação dos princípios dos 3Rs. Ao monitorar e promover técnicas alternativas e ao restringir o uso de animais em contextos em que não são absolutamente necessários, a legislação não apenas assegura o bem-estar dos animais, mas também incentiva o avanço de métodos científicos mais éticos e sustentáveis. Isso reflete uma tendência global de alinhar a pesquisa científica com princípios éticos modernos, garantindo que o Brasil participe ativamente das discussões e práticas internacionais sobre o uso responsável de animais na ciência.

#### **4. Considerações finais**

Ao longo dos séculos, a experimentação animal tornou-se fundamental para o desenvolvimento de inúmeros avanços científicos, incluindo a descoberta de medicamentos e tratamentos que salvaram incontáveis vidas humanas e animais. No entanto, a crescente conscientização sobre os direitos dos animais e o impacto ambiental da pesquisa científica impulsionou a criação de normas e princípios éticos que guiam o uso responsável de animais. O surgimento dos princípios dos 3Rs (Substituição, Redução e Refinamento), propostos por Russell e Burch, em 1959, marcou um ponto de inflexão na maneira como a comunidade científica aborda a experimentação animal.

Ainda, a sustentabilidade na pesquisa animal tornou-se um imperativo à medida que reconhecemos os impactos ambientais e éticos associados ao uso de animais. Assim, o futuro da pesquisa científica no Brasil e no mundo depende cada vez mais de uma abordagem que equilibre o progresso científico com o respeito pela vida animal

e pela preservação ambiental. Ao adotar e implementar os princípios dos 3Rs, a comunidade científica não apenas honra um compromisso ético, mas também contribui para a construção de um modelo de pesquisa mais sustentável e alinhado com os valores de uma sociedade moderna e consciente.

## Referências

AUGUSTINUS, A. **As confissões**. São Paulo: Américas, 1964. 462 p. (Coleção Biblioteca Cultura Cristã).

BAEDER, FM; PADOVANI, MCRL; MORENO, DCA; DELFINO, CS. Percepção histórica da bioética na pesquisa com animais: possibilidades. **Bioethikos**, v. 6, n. 3, p. 313-20, 2012.

BEAUCHAMP, Tom L.; CHILDRESS, James F. **Principles of Bio-medical Ethics**. 5. ed. New York: Oxford University Press, 2001.

BENTHAM, J. **An introduction to the principles of morals and legislation**. [Internet]. Kitchener: Batoche Books; 2000. Disponível em: <https://goo.gl/TpDsvF>. Acesso em: 27 jun. 2017

BERNARD, J. **A Bioética**. Ed. Ática: São Paulo, 2004.

BORBA, F. S.; LONGO, B. N. O. Ciência & Arte & Técnica: a delimitação dos sentidos num dicionário. **Alfa: Revista de Linguística**, São Paulo. 40: 47-57, 1996.

BOWD, A. D. Ethics and animal experimentation. **Am. Psychol.** 35: 224-225, 1980.

BRASIL. **Lei nº 11.794 de 8 out 2008**. Estabelece procedimentos para uso científico de animais; revoga a Lei nº 6.638 de 8 maio 1979 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (9 out 2008); Seção 1, p.1-2. 2008.

BRASIL. **Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos para o uso científico de animais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 out. 2008b.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal. **Resolução Normativa nº 38, de 17 de abril de 2018**. Dispõe sobre restrições ao uso de animais em ensino, em complemento à Diretriz Brasileira para o Cuidado e a Utilização de Animais em Atividades de Ensino ou de Pesquisa Científica – DBCA [Internet]. Diário Oficial da União. 19 abr. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2BBtQHU>. Acesso em: 13 ago. 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008**. Regulamenta o inciso VII do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelecendo procedimentos para o uso científico de animais; revoga a Lei nº 6.638, de 8 de maio de 1979; e dá outras providências [Internet]. Diário Oficial da União. 8 out. 2008. Disponível em: <https://goo.gl/wT4mDh>. Acesso em: 7 jan. 2020.

CHAGAS, F. B.; D'AGOSTINI, F. M. Considerações sobre a experimentação animal: Conhecendo as implicações éticas do uso de animais em pesquisas. **Revista Redbioética/UNESCO**, v. 2, p. 35-46, 2012.

CONCEA. Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal. **Resolução Normativa nº 31, de 18 de setembro de 2016**. Estabelece diretrizes para a criação e o uso de animais para fins científicos e didáticos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 set. 2016.

D'ACAMPORA AJ. Utilização de modelos animais em pesquisa. **Revista do Conselho Regional de Medicina de Santa Catarina**, Florianópolis, v. 92, p.3, 2003.\_

DOKE, S. K.; DHAWALE, S. C. Alternatives to animal testing: a review. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 23, p. 223-229, 2013. DOI: 10.1016/j.jsps.2013.11.002.

EHRHARDT, Caroline *et al.* In Silico Models for Predicting Drug Toxicity. **Journal of Pharmacology and Toxicology**, v. 10, n. 2, p. 123-138, 2016.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Directive 2010/63/EU on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes**. Official Journal of the European Union, L276/33, 2010.

FELIPE, S. T. **Ética e Experimentação Animal**: fundamentos abolicionistas. Florianópolis: UFSC, 2007, p. 45.

FERREIRA, João. Desafios na aplicação dos princípios dos 3Rs na pesquisa toxicológica. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 31, n. 2, p. 145-160, 2018.

FLECKNELL, Paul. **Laboratory Animal Anaesthesia**. 4. ed. London: Academic Press, 2018.

GARRAFA, V. Clonagem humana é preciso impor limites para a ciência? **Nova Escola**, n. 4, p. 52-54, 2003.

GARTNER, Kathrin *et al.* Refinement of Animal Experimentation: The Role of Environmental Enrichment and Pain Management in Improving Data Quality. **Journal of Animal Welfare Science**, v. 22, n. 3, p. 145-160, 2016.

GOLDIM, J. R.; RAYMUNDO, M. M. **Pesquisa em saúde e os direitos dos animais**. 2ª ed. Porto Alegre: HCPA; 1997.

GONZÁLEZ, Maria *et al.* Advances in Topical Analgesics for Animal Research: Efficacy and Animal Welfare Considerations. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 11, p. 1-12, 2020.

GROFF, K.; BACHLI, E.; LANSLOWNE, M.; CAPALDO, T. Review of Evidence of Environmental Impacts of Animal Research and Testing. **Environments**, v. 1, p. 14-30, 2014. DOI: 10.3390/environments1010014.

GUERRINI, A. **Experimenting with humans and animals**. From Galen to Animal Rights. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2003.

LEWIS, Fiona *et al.* Modern Statistical Approaches to Optimize Animal Use in Research: The Role of Adaptive Design and Bayesian Analysis. **Journal of Statistical Applications in Research**, v. 11, n. 3, p. 89-102, 2019.

LINZEY, A. **Animal Rights**: A Christian Assessment of Man's Treatment of Animals. Londres: SCM Press, 1976. 103p.

MACHADO, JGS; PINHEIRO, MS; MARÇAL, SH; ALCÂNTARA, PFP. Análise bioética da legislação brasileira aplicável ao uso de animais não-humanos em experimentos científicos. **In: XXVI Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental (FeSBE)**, Rio de Janeiro, 2009.

MARQUES, R. G.; MIRANDA, M. L.; CAETANO, C. E. R.; BIONDO-SIMÕES, M. L. P. Rumo à regulamentação da utilização de animais no ensino e na pesquisa científica no Brasil. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 262-267, 2005.

MARTINS, Carla *et al.* O futuro dos 3Rs na pesquisa científica: avanços e obstáculos. **Ciência e Ética**, v. 15, n. 4, p. 202-218, 2022.

MARTINS, Pedro; LIMA, Carla. Impactos da Pesquisa Científica na Biodiversidade: A Questão da Captura de Espécies Selvagens. **Revista Brasileira de Conservação**, v. 18, n. 2, p. 89-102, 2019.

MASCHIO, J. J. Os animais: direitos deles e ética para com eles. **Jus Navigani**, v. 10, n. 771, 2005.

MENEZES, H. S. Ética e pesquisa em animais. **Revista da Associação Médica do Rio Grande do Sul**, v. 46, p. 105-8, 2002.

MEZADRI, T. J.; TOMAZ, V. A.; AMARAL, V. L. A. **Animais de laboratório: cuidados na iniciação experimental**. Ed. UFSC: Florianópolis, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Toxicity Testing for Assessment of Environmental Agents: Interim Report**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2006.

NIH. **National Institutes of Health Grants Policy Statement**. Bethesda, MD: National Institutes of Health, 2021.

OSSWALD, W. Ética na pesquisa com animais e aplicação em humanos. **Acta Médica Portuguesa**, 5: 222-225, 1992.

PETROIANU, A. Aspectos Éticos na Pesquisa em Animais. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 11, p. 64-157, 1996.

POLITI, FAS; MAJEROWICZ, J; CARDOSO, TAO; PIETRO, RCL; SALGADO, HRN. Caracterização de biotérios, legislação e padrões de biossegurança. **Revista Ciência de Farmácia Básica Aplicada**, v. 29, n. 1, p.17-28, 2008.

RAYMUNDO, M. M.; GOLDIM, J. R. Pesquisa em modelos animais: proposta de diretrizes. **Revista do Hospital de Clínicas de Porto Alegre**, v. 20, n. 1, p.17-34, 2001.

REZENDE, A. H.; PELUZIO, M. C.; SABARENSE, C. M. Experimentação animal: ética e legislação brasileira. **Revista de Nutrição**, v. 21, n. 2, p.23-242, 2008.

RUSSELL, W. M. S.; BURCH, R. L. The principles of humane experimental technique. London: Methuen & Company, 1959.

SANTOS, João *et al.* Poluição Aquática e a Saúde Pública: Consequências do Descarte de Resíduos Laboratoriais. **Ciência Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 110-124, 2017.

SANTOS, Pedro *et al.* A Responsabilidade Social na Experimentação Animal: Um Estudo Crítico. **Ciência e Sociedade**, v. 11, n. 4, p. 78-92, 2017.

SCHNAIDER, T. B.; SOUZA C. Aspectos Éticos da Experimentação Animal. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 53, n. 2, p. 278-285, 2003.

SHAW, B. **The works of Bernard Shaw**. London: Constable and Company, 1930.

SILVA, Maria *et al.* Gestão de Resíduos em Laboratórios de Pesquisa: Desafios e Soluções para a Sustentabilidade. **Journal of Environmental Science**, v. 22, n. 4, p. 245-260, 2015.

SILVA, Maria; OLIVEIRA, Lucas. Normas internacionais e a aplicação dos 3Rs: Uma análise comparativa. **Ética em Pesquisa**, v. 19, n. 3, p. 75-89, 2020.

SILVA, O.; BASKETTER, D. A., BARRATT, M. D.; CORSINI, E.; CRONIN, M. T.; DAS, P. K.; PONEE, M. Alternative methods for skin sensitization testing. **Atla Nottingham**, v. 24, p. 683-706, 1996.

SILVA, T. T. A. Crítica à herança mecanicista de utilização animal: em busca de métodos alternativos. **In: Anais do XVII Encontro Preparatório para o Congresso Nacional do Conpedi.** Florianópolis: Fundação Boiteux, p. 476-95, 2008.

SMITH, Jennifer *et al.* Sustainable Science: The Role of Public Policy in Promoting Ethical and Eco-Friendly Research Practices. **Science and Policy**, v. 25, n. 2, p. 145-160, 2019.

STEVENS, Craig *et al.* Impact of Analgesic Techniques on Animal Welfare and Experimental Outcomes in Biomedical Research. **Journal of Veterinary Science**, v. 18, n. 2, p. 123-134, 2017.

SULLIVAN, K.; BECK, N.; SANDUSKY, C.; WILLETT, C. A discussion of the impact of us chemical regulation legislation on the field of toxicity testing. **Toxicol. In Vitro**, v. 25, p. 1231-1236, 2011.

TAYLOR, K.; ALVAREZ, L. R. An Estimate of the Number of Animals Used for Scientific Purposes Worldwide in 2015. **Alternatives to laboratory animals: ATLA**, v. 47, n. 5-6, p. 196-213, 2019. DOI: 10.1177/0261192919899853.

TINOCO, I. A. P.; CORREIA, M. L. A. Reflexões éticas sobre a vivissecação no Brasil. **In: Anais do XIX Encontro Nacional do Conpedi.** Florianópolis: Fundação Boiteux, p. 6459-77, 2010.

WÜRFEL, Harald *et al.* Environmental Enrichment for Laboratory Animals: Impacts on Animal Welfare and Experimental Outcomes. **Laboratory Animals**, v. 48, n. 1, p. 25-34, 2014.

ZHANG, Boyang *et al.* Organ-on-a-Chip Platforms for Drug Screening and Development. **Nature Biomedical Engineering**, v. 2, p. 91-106, 2018.



# CAPÍTULO 8

---

## BIOTECNOLOGIA NA PERSPECTIVA DA PESQUISA FARMACOLÓGICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

*Jairla Sousa Marcelino<sup>1</sup>*  
*Ellen Maria Moreira Machado<sup>2</sup>*  
*Íris Araújo Rodrigues Braz<sup>3</sup>*  
*Alana Nogueira Godinho<sup>4</sup>*  
*Anderson Weiny Barbalho Silva<sup>5</sup>*  
*Jordânia Marques de Oliveira Freire<sup>6</sup>*

### 1. Introdução

A biotecnologia desempenha um papel importante nas pesquisas envolvendo questões ambientais e de saúde pública. Dentre essas áreas, podemos destacar as pesquisas farmacológicas, que vêm oferecendo soluções inovadoras para o desenvolvimento de medicamentos e tratamentos que promovam a sustentabilidade. As técnicas biotecnológicas têm revolucionado a descoberta e produção de fármacos, tornando possível a engenharia genética, a terapia gênica e a clonagem, além de melhorar a eficiência e a segurança dos medicamentos (Costa, 2020). A inserção dessas tecnologias com a pesquisa farmacológica vislumbra o desenvolvimento de tratamentos cada vez

- 
- 1 Discente do curso de graduação em Enfermagem. Faculdade Ieducare, Tianguá-Ceará.
  - 2 Discente do curso de graduação em Fisioterapia. Faculdade 5 de Julho, Sobral-Ceará.
  - 3 Discente do curso de graduação em Odontologia. Faculdade Luciano Feijão, Sobral-Ceará.
  - 4 Médica veterinária, doutora em Fisiologia Humana pela Universidade Estadual do Ceará. Responsável técnica pelo Biotério da Universidade Federal do Ceará Campus Sobral.
  - 5 Biólogo, doutor em biotecnologia, coordenador de Pesquisa e Extensão da Faculdade Luciano Feijão.
  - 6 Docente-orientadora. Bióloga, doutora em biotecnologia. Docente da Faculdade Luciano Feijão (FLF). E-mail para correspondência: jordaniafreire25@gmail.com.

mais eficazes para doenças, reduzindo os impactos ambientais e promovendo o uso sustentável de recursos naturais (Camargo, 2021).

No contexto do desenvolvimento sustentável, a biotecnologia farmacológica contribui para a criação de medicamentos menos tóxicos e mais específicos, minimizando efeitos colaterais e a necessidade de testes em animais. Além disso, técnicas avançadas e modernas de reciclagem de resíduos farmacêuticos ajudam a diminuir a contaminação ambiental, promovendo uma indústria farmacêutica mais responsável e consciente.

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo demonstrar a importância da biotecnologia no âmbito das pesquisas farmacológicas, bem como a relação com o desenvolvimento sustentável.

## **2. Biotecnologia e suas aplicações**

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), “biotecnologia significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (ONU, Convenção de Biodiversidade, 1992, Art. 2º). Dessa forma, a biotecnologia é um campo multidisciplinar que envolve organismos vivos com a finalidade de desenvolver produtos ou processos com aplicações industriais, ambientais e médicas. Assim, envolve a manipulação de material genético, células, tecidos e organismos para criar novos produtos, melhorar processos existentes ou desenvolver soluções para desafios em diversas áreas. Segundo conceitua o informe publicado em 1982 pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Bull; Lilly, 1982), as biotecnologias englobam todos os procedimentos envolvidos na conversão de matérias-primas renováveis e na fabricação por meio de cultivos de células microbianas, animais e vegetais, ou de seus diversos componentes, gerando muitas substâncias benéficas para as pessoas.

Apesar do grande enfoque na atualidade, a biotecnologia teve seu início há milhares de anos. Está na fabricação de alimentos como o queijo, pois o processo depende de enzimas específicas, que então só eram obtidas em estômagos de ovíparos. Com o avançar do tempo, essa técnica, ainda sem definição exata, fazia parte do cotidiano da população através da produção de bebidas alcóolicas e em comidas que necessitavam de fermentação. Isso tornou a biotecnologia uma ciência essencial para produção, fermentação e armazenamento adequado desses alimentos (Ito, 2018). No entanto, não se entendia como esse processo era feito, transformando-se não somente em um mistério na época, mas, também, algo extremamente revolucionário e inovador. No século XVII, ocorreu um grande avanço nos conhecimentos envolvendo a biotecnologia, mesmo que esse conceito ainda não existisse. Dentre os eventos marcantes do referido século, podemos citar a descoberta dos microrganismos, em 1675, por Anton Van Leeuwenhoek (Schulz, 2024).

No século XIX, outro pesquisador de grande relevância foi Louis Pasteur, cujas pesquisas invalidaram a teoria da abiogênese, a qual teorizava o surgimento espontâneo dos seres vivos. Ademais, suas descobertas foram fundamentais para que a produção das primeiras vacinas. Anos depois, seus estudos serviram como base para novas tecnologias sobre vacinação usadas por Oswaldo Cruz (Faleiro; Andrade, 2009). Pasteur desenvolveu ainda o método de pasteurização, capaz de destruir microrganismos existentes em alimentos.

Nesse mesmo século, houve um avanço na tecnologia biológica, com a descoberta da genética e da hereditariedade por George Mendel, essencial para o desenvolvimento de novas técnicas. Tais estudos instigaram a descoberta do ADN, no século seguinte, por James Watson, Francis Crick e Maurice Wilkins em 1953. A molécula de ácido desoxirribonucleico foi identificada e descrita totalmente, ocasionando um grande avanço para a ciência e para a humanidade (Gorab; Leme, 2023). A partir desse momento, a tecnologia biológica foi totalmente modificada e o ADN se tornou o início para novos

estudos e descobertas, como o código genético, necessário para a formação e produção de proteínas, por meio de informações decodificadas e transcritas, tornando-se universal, ou seja, o mesmo processo para todos os seres vivos (Hepp; De Nonohay, 2016).

O aprimoramento dos conhecimentos sobre o ADN promoveu o avanço da engenharia genética, melhorando o desenvolvimento de vacinas e os estudos sobre transgênicos (Aragão, 2009), além de proporcionar um dos experimentos mais marcantes mundialmente, a clonagem da ovelha Dolly. Esta foi a pioneira na clonagem em mamíferos e tornou-se um símbolo de desenvolvimento tecnológico e de avanços científicos (Costa, 2020).

Atualmente, a biotecnologia tem uma grande atuação na indústria alimentícia, com os Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), usados para uma maior produtividade e rentabilidade, bem como exclusão de características não desejadas em plantas e vegetais (Schütte *et al.*, 2017), potencializando, assim, o uso de medidas para melhoria da agropecuária, interligando o conhecimento científico com a necessidade usual cotidiana.

A biotecnologia chegou ao Brasil em 1957, em detrimento de uma demanda social e econômica, iniciando um novo estágio no desenvolvimento tecnológico no país. A partir de então, várias indústrias começaram um processo de investimento em ciência, tecnologia e, principalmente, em mão de obra qualificada. Atualmente, tais empresas estão distribuídas por todo o território nacional, com enfoque nas regiões Sudeste e Sul. Segundo a Agência Brasil, em 2020, o Brasil ocupou a 62ª posição no Índice Global de Inovação (IGI), segundo a Organização Mundial da Propriedade Intelectual, subindo cerca de quatro posições em relação ao ano anterior, demonstrando os resultados perante o investimento obtido.

Outro grande ramo da biotecnologia atual é a indústria farmacêutica. O desenvolvimento tecnológico é essencial para manipulação e descobertas de novas fórmulas no setor, seja em fármacos ou

cosméticos. Segundo Oliveira e Silva (2018), a atuação da indústria farmacêutica relacionada à biotecnologia está relacionada a avanços significativos na área da saúde, no desenvolvimento de vacinas, terapia gênica, células-tronco embrionárias e na recém-criada célula sintética.

Com isso, verifica-se a necessidade e a relevância da biotecnologia em caráter nacional e mundial, nas áreas agrícola, farmacológica, ou mesmo na indústria cosmética, auxiliando a manipulação e formação de princípios ativos para potencializar ou minimizar determinadas ações.

### **3. Relação da biotecnologia com os produtos naturais e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável**

A biotecnologia usa plantas, animais e microrganismos como bactérias, assim como processos biológicos — como o amadurecimento de frutas ou bactérias que digerem um determinado composto — para obter algum benefício. O que é novo sobre a biotecnologia é que os pesquisadores podem pegar um único gene de uma célula animal ou vegetal e colocar em outra célula animal ou vegetal de uma espécie diferente, os OGMs. A biotecnologia também inclui a alteração de genes de um determinado organismo para controlar a produção de uma proteína específica. A capacidade de mudar os genes dessa forma vai muito além das mudanças que ocorrem naturalmente durante a evolução, até mesmo das obtidas através de cruzamento seletivo tradicional (Camargo, 2021).

A biotecnologia permite desenvolvimento nas seguintes áreas relacionadas: doenças infecciosas, antibióticos, produtos humanos, tecnologias reprodutivas, projetos genoma, desordens genéticas, terapia gênica, clonagem, células-tronco, trabalho de recuperação de espécies em perigo, controle e erradicação de predadores externos e pestes, remoção de resíduos e poluição do ambiente, pesquisa de novos produtos, produção de biocombustíveis, aumento da resistência de culturas e animais a pragas e predadores. Também tem papel

relevante ao reduzir o uso de pesticidas, aumentar a tolerância de culturas e animais a pesticidas, melhorar a quantidade do alimento obtida por planta ou animal, tornar plantas e animais mais ajustados a condições ambientais específicas, como regiões secas ou com muito sal, aumentar a qualidade nutricional da comida produzida, entre outras (Lopes, 2022).

Segundo a Organização Mundial do Comércio, em 2025, cerca de 45% da economia mundial será baseada em produtos gerados através da biotecnologia. No Brasil, programas de apoio à biotecnologia começaram a surgir por volta da década de 1980. Um exemplo foi a criação do Fundo Setorial de Biotecnologia, em 2001, que de acordo com o site do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, tem como foco:

promover a formação e capacitação de recursos humanos, fortalecer a infraestrutura nacional de pesquisas e serviços de suporte, expandir a base de conhecimento da área, estimular a formação de empresas de base biotecnológica e a transferência de tecnologias para empresas consolidadas, realizar estudos de prospecção e monitoramento do avanço do conhecimento no setor (MCTIC, 2001).

Ainda, a biotecnologia é considerada **prioridade estratégica no Brasil** desde 2003, e em 2007 foi criado o Decreto nº 6.041, que estabeleceu a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia.

Os produtos naturais são utilizados pela humanidade desde tempos imemoriais. A busca por alívio e cura de doenças pela ingestão de ervas e folhas talvez tenha sido uma das primeiras formas de utilização dos produtos naturais. A história do desenvolvimento das civilizações Oriental e Ocidental é rica em exemplos da utilização de recursos naturais na medicina, no controle de pragas e em mecanismos de defesa, merecendo destaque as civilizações egípcia, greco-romana e chinesa. A medicina tradicional chinesa desenvolveu-se com tal

grandiosidade e eficiência que até hoje muitos preparos medicinais são estudados em busca da compreensão do mecanismo de ação e no isolamento dos princípios ativos (Vargas, 2018).

No início, os químicos estudavam plantas consagradas pelo uso popular, geralmente incorporada às farmacopeias da época, limitando-se ao isolamento e à determinação estrutural de substâncias ativas (Yunes, 2012). Dada a importância das plantas para a medicina da época, a Química e a Medicina passaram a ter uma estreita relação, o que permitiu um rápido desenvolvimento de seus campos específicos. Assim, muitas substâncias ativas foram conhecidas e introduzidas na terapêutica, permanecendo até hoje como medicamentos.

O avanço em importância da ciência e da tecnologia trouxe profundas mudanças sociais e comerciais, culminando com a Revolução Industrial, ocorrida no século XIX. Um dos marcos mais significativos no desenvolvimento de medicamentos a partir de produtos naturais de plantas foi a descoberta dos salicilatos extraídos da *Salix alba*. Em 1757, o reverendo Edward Stone experimentou o sabor amargo das cascas do salgueiro (*S. alba*) e o comparou com o sabor dos extratos de cinchona, fato esse que despertou sua curiosidade. Seis anos depois, relatou à Real Sociedade os resultados de suas observações clínicas que demonstravam as propriedades analgésicas e antipiréticas do extrato daquela planta (Reis, 2010).

Nas últimas décadas, os micro-organismos (MOs) estão recebendo atenção especial por parte da indústria e dos pesquisadores em produtos naturais. Os avanços obtidos no campo da biotecnologia, aliado ao emprego de técnicas modernas de fracionamento químico, elucidação estrutural e *screening*, na busca por novos protótipos bioativos, têm revelado seu enorme potencial em fornecer novos compostos ou princípios ativos.

Um exemplo da contribuição recente dos MOs no desenvolvimento de novos fármacos são as estatinas. Desde 1950, conhece-se o risco que representam as taxas elevadas de colesterol plasmático

para as doenças coronarianas, sendo o controle plasmático do colesterol ligado às proteínas de baixa densidade (LDL) fundamental para prevenir o risco de doenças cardiovasculares, de elevado índice de mortalidade. Desde então, a busca por agentes terapêuticos capazes de controlar as taxas de colesterol plasmático tem despertado o interesse das indústrias farmacêuticas envolvidas na descoberta de fármacos (Ortiz, 2012). As estatinas reduzem os níveis de colesterol no sangue ao inibir a enzima responsável pela produção de colesterol pelo fígado (NHLBI, 2023).

A introdução das novas tecnologias tornou a química medicinal mais ampla em sua concepção, ampliando seu caráter interdisciplinar. Em uma visão moderna, a química medicinal dedica-se à compreensão das razões moleculares da ação dos fármacos, da relação entre estrutura química e atividade farmacológica, considerando fatores farmacodinâmicos e farmacocinéticos que se traduzam em propriedades farmacoterapeuticamente úteis e, portanto, representem um novo composto-protótipo, candidato efetivo a novo fármaco (Rovner, 2015).

A maioria dos fármacos são micromoléculas bioativas, que exercem seu efeito terapêutico graças a interações específicas com uma biomacromolécula ou receptor. Métodos computacionais modernos permitem que se determinem qualitativamente e quantitativamente as diferentes contribuições das distintas subunidades estruturais dos fármacos, tanto aquelas de natureza eletrônica, quanto de seu reconhecimento molecular pelos sítios receptores. Ademais, fatores farmacocinéticos e toxicológicos das substâncias candidatas a novos fármacos podem ser simulados virtualmente através de ferramentas computacionais modernas. Pelo exposto, observa-se que a informática passou a ser aliada inseparável da química medicinal, especialmente através da química computacional, que permite estudos de modelagem e dinâmica molecular.

## 4. Relação da biotecnologia com as pesquisas farmacológicas

Resultantes dos avanços em biologia molecular, genética e metabolismo bacteriano ocorridos no século XX, os estudos biotecnológicos alcançaram grandes descobertas, que foram fundamentais para o surgimento da *Revolução Biotecnológica* na década de 1970 (Victorino, 2000). Nos anos 1980 e 1990, esses avanços levaram aos primeiros estudos de terapia genética em seres humanos, incluindo o uso de linfócitos geneticamente modificados para estimular a produção de interleucina II em pacientes terminais com câncer de pele. Assim, fica evidente que as biotecnologias podem ser aplicadas em diversos setores econômicos, independentemente de seu nível de complexidade e investimento (Winter, 2023).

A relação entre biotecnologia e pesquisa farmacológica é profundamente interligada, com um papel crucial no avanço da medicina moderna. A biotecnologia, que utiliza organismos vivos, sistemas biológicos ou seus derivados para desenvolver produtos e processos com aplicações industriais e médicas, tem proporcionado inovações significativas na descoberta, desenvolvimento e produção de medicamentos. Como consequência, os campos farmacêuticos e médicos avançaram em suas pesquisas e matérias na promoção, prevenção e manutenção da saúde (Faleiro, 2011).

Para Bertram (2023), a ciência farmacológica envolve o estudo detalhado das substâncias que interagem com sistemas biológicos por meio de processos químicos. Essas interações ocorrem principalmente quando a substância se une a moléculas reguladoras, ativando ou inibindo processos naturais do organismo. Tais substâncias incluem compostos químicos administrados para produzir efeitos terapêuticos benéficos no paciente ou para induzir efeitos tóxicos em parasitas que afetam o organismo do paciente.

Durante as décadas de 1940 e 1950, houve uma grande expansão nos esforços de pesquisa em todas as áreas da biologia. Novos

conceitos e técnicas foram introduzidos, acumulando informações sobre a ação de fármacos e o substrato biológico de sua ação, conhecido como receptor do fármaco. Nos últimos 60 anos, muitas novas classes de fármacos foram desenvolvidas e novos membros foram introduzidos nas classes existentes. Nas últimas três décadas, tem ocorrido um rápido crescimento no entendimento molecular da ação dos fármacos (Bittencourt *et al.*, 2013).

A farmacologia, embora estude as ações das substâncias em situações fisiológicas, se desenvolveu principalmente devido às situações patológicas ao longo da história, especialmente diante de pandemias e epidemias enfrentadas pela humanidade (Rang, 2015). Isso sublinha o significativo crescimento da indústria farmacêutica no último século, não apenas em termos de vendas, mas também em estudos e descobertas de novos fármacos, fundamentais para avanços científicos. Os estudos farmacológicos, combinados com a biotecnologia, representam uma promissora linha de pesquisa para o desenvolvimento de novos medicamentos de grande impacto na indústria farmacêutica e no avanço de novas terapias (Akkari, 2016).

A biotecnologia desempenha um papel crucial na descoberta de novos fármacos através de técnicas como engenharia genética, biologia molecular e bioinformática. Essas abordagens aceleram a identificação de alvos terapêuticos, o design de moléculas bioativas e a triagem de compostos, contribuindo significativamente para o desenvolvimento rápido de novos tratamentos (Florencio, 2020). Essas inovações têm o potencial de revolucionar o tratamento de doenças complexas, oferecendo opções terapêuticas mais eficazes e personalizadas para condições como câncer, doenças genéticas e distúrbios imunológicos (Linden, 2010).

Além de impulsionar o mercado farmacêutico, as pesquisas biotecnológicas também promovem avanços promissores em estudos voltados para o desenvolvimento sustentável. A relação entre biotecnologia e pesquisas farmacológicas para o desenvolvimento sustentável é complexa, mas multifacetada. Essas áreas se complementam

de várias maneiras, promovendo avanços científicos e econômicos de forma ambientalmente consciente. A biotecnologia pode ser utilizada para desenvolver métodos mais sustentáveis de extração e produção de medicamentos a partir de recursos naturais, reduzindo a sobre-exploração de plantas medicinais. Além disso, esses estudos contribuem para o desenvolvimento de medicamentos mais eficientes e menos tóxicos, que são mais eficazes e têm menos efeitos colaterais para os usuários, minimizando os impactos ambientais causados pelos resíduos farmacêuticos e reduzindo a necessidade de testes em animais (Alho, 2012).

Outros avanços biotecnológicos para o desenvolvimento sustentável na área farmacológica incluem investimentos em pesquisas agrícolas para desenvolver medicamentos a partir de culturas geneticamente modificadas, que podem servir como ingredientes farmacológicos potenciais, reduzindo a intensidade do processo industrial na produção de medicamentos (Assumpção, 2022).

Segundo De Souza (2021), a reciclagem de resíduos farmacêuticos com o uso da biotecnologia visa desenvolver métodos para reduzir a contaminação ambiental e os riscos à saúde pública associados a esses resíduos. Isso evidencia que as pesquisas farmacológicas e biotecnológicas abrangem diversas áreas que promovem a ciência relacionada ao desenvolvimento sustentável. Para Furtado (2019), esses estudos não se limitam apenas aos campos biológicos, mas também impactam diretamente as áreas médicas e econômicas da sociedade, proporcionando benefícios significativos com suas aplicações científicas.

Em resumo, a integração da biotecnologia e das pesquisas farmacológicas contribui de forma substancial para o desenvolvimento sustentável, permitindo avanços na saúde de maneira responsável e respeitando os limites dos recursos naturais. Isso resulta em tratamentos mais eficazes e seguros ao longo do tempo para os usuários. Destaca-se, portanto, a importância de investimentos contínuos nessas áreas de pesquisa para proporcionar aos cientistas os meios e

recursos necessários para avançar em seus estudos e aplicações, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável e para a evolução no tratamento de novas patologias e terapias.

## 5. Considerações finais

A capacidade de manipular geneticamente organismos vivos para produzir novos medicamentos e tratamentos tem permitido avanços significativos na saúde humana, promovendo práticas mais responsáveis e ecológicas na indústria farmacêutica. O crescimento da engenharia genética, terapia gênica, clonagem e outras tecnologias biotecnológicas têm possibilitado o desenvolvimento de medicamentos mais eficazes, seguros e específicos, reduzindo a necessidade de testes em animais e minimizando os impactos ambientais. Além disso, os estudos biotecnológicos desempenham um papel crucial na reciclagem de resíduos farmacêuticos, ajudando a diminuir a contaminação ambiental e promovendo uma produção mais limpa e sustentável, incluindo a formulação de medicamentos biodegradáveis.

À medida que avançamos, é fundamental continuar a apoiar e investir em pesquisas biotecnológicas que promovam a sustentabilidade. A integração de princípios biotecnológicos com práticas farmacológicas sustentáveis não só potencializa a criação de novos tratamentos e medicamentos, como assegura que esses avanços sejam alcançados de maneira ambientalmente responsável. Assim, a biotecnologia permanece no centro das inovações para um futuro mais saudável e sustentável.

## Referências

AGÊNCIA BRASIL. Brasil fica na 62ª posição no Índice Global de Inovação. **Agência Brasil**, Economia, 16 set. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-09/brasil-fica-na-62a-posicao-o-indice-global-de-inovacao>.

AKKARI, A. C. S. *et al.* Pharmaceutical innovation: differences between Europe, USA and “pharmerging” countries. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, p. 365-380, 1 jun. 2016.

ALHO, C. J. R. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. **Estudos avançados**, v. 26, p. 151-166, 2012.

ARAGÃO, F. J. L. **Engenharia Genética: estado da arte. Biotecnologia, transgênicos e biossegurança**. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados, p. 31-48, 2009.

ASSAD, B.; OLIVEIRA, F.; CARNEIRO, N. **Desafios e perspectivas dos alimentos transgênicos**. 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/Valéria/Downloads/TCC-Monografia%20-%20Transgênicos%20\(revisão%20final\)%20-%202024-11%20-%20Documentos%20Google.pdf](file:///C:/Users/Valéria/Downloads/TCC-Monografia%20-%20Transgênicos%20(revisão%20final)%20-%202024-11%20-%20Documentos%20Google.pdf). Acesso em: 23 jun. 2024.

ASSUMPÇÃO, I. C. P. *et al.* **Bioprospecção de plantas medicinais com potencial anticancerígeno no Brasil: caracterização e métodos de extração**, 2022.

BARREIRO, E. J.; Fraga, C. A. M. Química medicinal: as bases moleculares da ação dos fármacos. 1ª ed., Porto Alegre: **Ed. Artmed**, 2001.

BIOTECNOLOGIA NO BRASIL. Disponível em: <https://sites.usp.br/biotec-each/biotecnologia-no-brasil/>. Acesso em: 3 abr. 2024

BITTENCOURT, S. C.; CAPONI, S.; MALUF, S. Farmacologia no século XX: a ciência dos medicamentos a partir da análise do livro de Goodman e Gilman. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 20, p. 499-520, 2013.

BRASIL. Conselho Federal de Biologia. Resolução nº 517, de 07 de junho de 2019. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 jun. 2019. Disponível em: <https://cfbio.gov.br/2019/06/21/resolucao-no-517-de-07-de-junho-de-2019/>.

BULL, A. T.; LILLY, M. D. **Biotechnology, international trends and perspectives**. Paris, Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), 1992.

BULL, A. T.; HOLT, G.; LILLY, M. D. Biotecnologia: tendências e perspectivas internacionais. 1982.

CAMARGO, L. H. A. F. de, *et al.* O USO DA BIOTECNOLOGIA NO CONTEXTO DOS ALIMENTOS FUNCIONAIS. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 39, 2021. DOI: 10.51189/rema/1368.

COSTA, J. C. A clonagem humana: aspectos conceituais, éticos e jurídicos. **Direito & Realidade**, v. 8, n. 11, 2020.

DA SILVA FLORÊNCIO, M. N.; JUNIOR, A. M. O.; DE SOUZA ABUD, A. K. Desenvolvimento tecnológico da biotecnologia para a saúde no Brasil. **International Journal of Innovation**, v. 8, n. 3, p. 541-563, 2020.

DE SOUZA, K. F. *et al.* Compostagem como biotecnologia ambiental no tratamento de resíduos orgânicos de serviços alimentares. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 23-23, 2021.

DEWICK, P. M. **Medicinal natural products**: a biosynthetic approach. 3. ed. New York: John Wiley, USA, 2009.

FALEIRO, F.; ANDRADE, S. Biotecnologia: Estado da arte e aplicações na agropecuária. 2011.

SILVA, E. F.; MACAGNAN, K. L.; CARDOSO, T. F. (Orgs.). Biotecnologia: um panorama ao longo dos séculos. Iguatu: Quipá, 2021. FURTADO, Rafael Nogueira. Edição genética: riscos e benefícios da modificação do DNA humano. **Revista Bioética**, v. 27, p. 223-233, 2019.

GORAB, E.; LEME, P. L. S. **À frente (ou atrás) da descoberta do DNA**: Friedrich Miescher, Médico/Ahead of (or behind) the DNA Discovery: Friedrich Miescher, Physician. Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, p. 1, 2023.

HACKSELL, U. Em A textbook of drug design and development; KROGSGAARD-LARSEN, P.; LILIJEFORS, T.; MADSEN, U., eds.; Amsterdan: **Harwood Academic Publishers**, cap. 2, 1996.

- HEPP, D.; DE NONOHAY, J. S. A importância das técnicas e análises de DNA. **ScientiaTec**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 114-124, 2016.
- HOFFMAN, N. E. Revisions to USDA biotechnology regulations: The SECURE rule. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 22, p. e2004841118, 2021.
- ITO, A. G. T. P. Biotecnologia e produção de alimentos. Londrina: **Editora e Distribuidora Educacional S.A.**, 2018.
- KATZUNG, B. G.; VANDERAH, T.W. Farmacologia básica e clínica. Porto Alegre: **Artmed Editora**, 2022.
- LINDEN, R. Terapia gênica: o que é, o que não é e o que será. **Estudos avançados**, v. 24, p. 31-69, 2010.
- LOPES, B. P. A biotecnologia nossa de cada dia. **Revista Blog do Profissão Biotec**, v.9, 2022.
- NATIONAL HEART, LUNG, AND BLOOD INSTITUTE (NHLBI). Statins, 2023. Disponível em: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/statins>.
- OLIVEIRA, V. O.; SILVA, O. V. Biotecnologia para a produção de biofármacos: farmacovigilância, regulamentação e mercado no Brasil. **Oswaldo Cruz**, v. 1, n. 22, p. 1-14, 2018.
- ORTIZ, R. La adopción de la biotecnología moderna y su compatibilidad con una agricultura sustentable. Arica: **Idesia**, v. 30, n. 3, p. 3-10, 2012.
- REIS, C. ; *et al.* Biotecnologia para saúde no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 193-229, 2010.
- REIS, C. *et al.* Biotecnologia para saúde humana: tecnologias, aplicações e inserção na indústria farmacêutica. **BNDES Setorial**, n. 29, p. 359-392, 2009.
- ROVNER, A. J. *et al.* Recoded organisms engineered to depend on synthetic amino acids. **Nature**, v. 5, n. 518, p. 89-93, 2015.
- SARKER, S. D.; NAHAR, L. **Química para estudantes de farmácia**: química geral, orgânica e de produtos naturais. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 326 p., 2016.

SCHULZ, P. **Dois séculos de uma controvérsia nada espontânea.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/peter-schulz/dois-seculos-de-uma-controversia-nada-espontanea>.

SCHÜTTE, G. *et al.* Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. **Environ Sci Eur**, v. 29, n. 1, p. 5, 2017. DOI: 10.1186/s12302-016-0100-y.

SILVA, R. O. **A biotecnologia e sua importância no meio ambiente.** Patos: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2021. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Ensino de Ciências e Matemática). Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2168>.

SIMÕES, Claudia Maria Oliveira *et al.* **Farmacognosia:** do produto natural ao medicamento. Porto Alegre: Artmed, 2017. 486 p.

ULTCHAK A. Organismos geneticamente modificados: a legalização no Brasil e o desenvolvimento sustentável. 2018.

VARGAS, B. D., *et al.* Biotecnologia e alimentos geneticamente modificados: uma revisão. **Revista Contexto & Saúde**, [S. l.], v. 18, n. 35, p. 19–26, 2018. DOI: 10.21527/2176-7114.2018.35.19-26. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoesaude/article/view/5591>.

VICTORINO, Valério Igor P. A revolução da biotecnologia: questões da sociabilidade. **Tempo social**, v. 12, p. 129-145, 2000.

WEISSMANN, G. *Scientific American*, **1991**.

YUNES, R. A.; CECHINEL-FILHO, V. Química de produtos naturais: novos fármacos e a moderna farmacognosia. 3. ed. Itajaí: **Univali**, 2012.

## A IMPORTÂNCIA DA MEDICINA NA IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR EM ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA SOCIEDADE

*Anna Railissa Ponte Veras Magalhães<sup>1</sup>*

*Francisco Breno de Sousa Nobre<sup>1</sup>*

*Rhanna Karyne Rodrigues Muniz<sup>1</sup>*

*Jordânia Marques de Oliveira Freire<sup>2</sup>*

*Alana Nogueira Godinho<sup>3</sup>*

*Anderson Weiny Barbalho Silva<sup>4</sup>*

### 1. Introdução

A poluição atmosférica representa um dos maiores desafios ambientais e de saúde pública do século XXI (Zhang *et al.*, 2023). Com a evolução das atividades humanas e o progresso da globalização, a emissão de poluentes tornou-se uma constante, impactando diretamente a qualidade de vida das populações ao redor do mundo (Li *et al.*, 2022). A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, marcou o início de um período de intensa emissão de poluentes, à medida que a produção em massa demandava cada vez mais fontes de energia

---

1 Discente do curso de graduação em Medicina. Universidade Federal do Ceará- UFC Campus de Sobral. Integrante da Liga de Patologia Cirúrgica e Forense (LAPACIF-UFC Sobral).

2 Bióloga. Doutora em biotecnologia. Integrante da Liga de Patologia Cirúrgica e Forense (LAPACI-UFC Sobral).

3 Médica Veterinária. Doutora em Ciências Fisiológicas. Integrante da Liga de Patologia Cirúrgica e Forense (LAPACI-UFC Sobral). Universidade Federal do Ceará- UFC Campus de Sobral.

4 Docente-orientador. Biólogo. Doutor em biotecnologia. Faculdade Luciano Feijão (FLF). Coordenador de Pesquisa e Extensão da FLF. Coordenador da Liga de Patologia Cirúrgica e Forense (LAPACIF-UFC Sobral). E-mail para correspondência: anderson.weiny@flucianofejiao.com.br.

(Dockery; Pope, 2006). Esse cenário foi agravado pela falta de planejamento urbano adequado, resultando na liberação desenfreada de substâncias tóxicas na atmosfera (European Environment Agency, 2023).

Este capítulo tem como objetivo explorar a relação entre a poluição do ar e a saúde respiratória, destacando a importância da implementação de estratégias eficazes para o controle da poluição atmosférica. Serão discutidos os principais poluentes e suas fontes, os impactos desses poluentes na saúde humana, especialmente no sistema respiratório, e os métodos existentes para controlar a emissão de poluentes. Além disso, serão abordadas as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que tratam da redução da poluição do ar, como o ODS 3: Saúde e Bem-Estar e o ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Para o Brasil, a *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde, OMS) estima que a poluição atmosférica cause cerca de 20 mil óbitos/ano, valor cinco vezes superior ao número de óbitos estimado pelo tabagismo ambiental/passivo, e 10,7 mil óbitos/ano decorrentes da poluição do ar em ambientes internos (WHO, 2009). Especificamente, cerca de 4 milhões de pessoas morrem prematuramente a cada ano devido a doenças atribuíveis à poluição do ar doméstico, informa a organização.

O combate à poluição do ar é importante para prevenir doenças respiratórias e promover a saúde e o bem-estar das populações (United Nations, 2015). É destacada a necessidade de uma ação conjunta entre governos, indústrias e sociedade civil para reduzir os efeitos da poluição atmosférica e garantir um futuro mais saudável e sustentável para todos.

## 2. Metodologia

Este capítulo baseia-se metodologicamente em uma revisão narrativa da literatura sobre poluição do ar e seus impactos na saúde respiratória, com foco em estudos científicos, relatórios de organizações internacionais e revisões de políticas ambientais que abordam a im-

portância de ações coletivas que possam reduzir os efeitos deletérios da poluição na saúde respiratória. A coleta de dados foi realizada por meio de bases de dados acadêmicas, como PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando termos de busca relevantes, como “air pollution”, “respiratory health”, nos idiomas inglês e português. Os trabalhos citados datam de 2001 a 2023. Foram selecionados estudos que abordam a relação entre diferentes tipos de poluentes atmosféricos (como partículas finas, óxidos de nitrogênio, ozônio, entre outros) e os impactos específicos na saúde respiratória humana.

A análise incluiu pesquisas que investigam os mecanismos biológicos e fisiológicos pelos quais esses poluentes afetam o sistema respiratório, bem como estudos epidemiológicos que quantificam o aumento na incidência de doenças respiratórias associadas à exposição crônica à poluição do ar. Além disso, foram considerados relatórios e documentos de políticas ambientais recentes, como os publicados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e relatórios de agências europeias de meio ambiente, para contextualizar as estratégias globais e regionais de controle da poluição do ar.

A discussão dos resultados obtidos nesta revisão aborda os desafios atuais e as perspectivas para reduzir os impactos da poluição do ar na saúde pública, incluindo a necessidade de políticas ambientais eficazes, inovações tecnológicas e engajamento da sociedade que incluam médicos e estudantes de medicina para promover um ambiente mais limpo e saudável.

### **3. Resultados e discussão**

#### *3.1 Combate à poluição do ar para a prevenção de doenças respiratórias*

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas no ar atmosférico, as quais possuem capacidade de trazer, de forma direta ou indireta, riscos à saúde, segurança

e/ou bem-estar dos seres vivos. Esta é uma realidade evidente no mundo contemporâneo, em virtude da existência de diversas fontes emissoras que fazem parte do cotidiano devido ao progresso da globalização.

Esse quadro ganhou força a partir do século XVII,I com a Revolução Industrial, momento em que novos modelos de fabricação, centrados na produção em massa, demandavam fontes de energia capazes de suprir essa crescente necessidade. O desenvolvimento industrial acelerado, aliado à ausência de planejamento urbano adequado, construiu uma realidade na qual enormes quantidades de poluentes seriam diariamente lançadas na atmosfera de maneira descontrolada, sem consideração pelos impactos na saúde humana (Braga, 2001).

As repercussões desse contexto se tornaram mais expressivas no decorrer do século XX, quando países como Estados Unidos, França e Inglaterra fizeram os primeiros registros de episódios de crescimento de mortalidade e morbidade populacional em decorrência da exposição prolongada a poluentes atmosféricos difundidos em cidades com grandes concentrações industriais, fator que impulsionou a iniciação de estudos na área da epidemiologia para analisar os efeitos da poluição atmosférica na saúde e definir padrões de qualidade do ar e limiares de tolerância para quantidade de material particulado nele presente (Martins *et al.*, 2021; Castro *et al.*, 2003; Cançado *et al.*, 2006).

Portanto, é importante que profissionais da área médica, incluindo estudantes de medicina, possam incentivar a sociedade a adotar medidas eficazes de combate à poluição do ar para prevenir doenças respiratórias. Essas medidas incluem a implementação de políticas ambientais rigorosas, incentivo ao uso de tecnologias limpas, promoção de transporte sustentável e planejamento urbano adequado. Além disso, é necessário investir em pesquisas contínuas para monitorar a qualidade do ar e seus efeitos na saúde pública, garantindo que a qualidade do ar seja mantida. Apenas por meio de esforços

conjuntos entre governos, indústrias e sociedade civil será possível reduzir os impactos da poluição atmosférica e proteger a saúde das populações, assegurando um futuro mais saudável e sustentável para todos.

Entre os ODS, o que trata diretamente do combate à poluição do ar para prevenir doenças respiratórias é o **ODS 3: Saúde e Bem-Estar**, uma vez que a meta 3.9 objetiva reduzir substancialmente o número de mortes e doenças causadas por produtos químicos perigosos, pela contaminação e poluição do ar, água e solo. Mais especificamente, a meta 3.9.1 foca na redução da mortalidade atribuída à poluição do ar. Além disso, o **ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis**, também aborda questões relacionadas à poluição do ar urbana por meio da meta 11.6, que visa à redução do impacto ambiental negativo per capita das cidades, com atenção especial à qualidade do ar.

### *3.1.1 Poluentes e fontes de poluição do ar atmosférico*

A partir da iniciativa de se obter conhecimento científico acerca das contaminações do ar, entendeu-se que, atualmente, esse contexto é mais evidente em decorrência da densidade de atividades antrópicas desenvolvidas nos diversos ambientes ao redor do globo, sobretudo nas grandes metrópoles, mesmo não sendo um evento exclusivo dessas áreas (Ferreira *et al.*, 2017). Com isso, passou-se a catalogar as fontes emissoras de poluição do ar existentes, bem como quais as espécies químicas emitidas por elas e que tipo de malefícios poderiam trazer para o meio ambiente e para os organismos vivos, em curto ou longo prazo.

A geografia ambiental aborda os pontos de emissão de poluentes dividindo-os em duas categorias: fontes fixas e fontes múltiplas. As fontes fixas caracterizam-se por ocupar uma área limitada, permitindo uma avaliação abrangente, como ocorre com refinarias de petróleo e indústrias pesadas. Essas fontes frequentemente liberam gran-

des quantidades de poluentes atmosféricos concentrados em áreas específicas, o que resulta em impactos significativos na qualidade do ar local e regional. Por outro lado, as fontes múltiplas abrangem uma variedade de atividades e processos que contribuem para a poluição do ar, mas são mais dispersas e difíceis de identificar individualmente, como as emissões de veículos motorizados e as atividades agrícolas. Essas fontes, em conjunto, podem ter um impacto significativo na qualidade do ar em áreas urbanas e até mesmo rurais (Stern, 1968).

A partir desses pontos de emissão, diariamente, uma vasta cadeia de substâncias químicas é depositada nas massas atmosféricas. Essas substâncias podem tender a acumular-se ou dispersar-se, dependendo de fatores como o fluxo eólico e as zonas de pressão atmosférica, dinâmica que determinará se esses compostos irão afetar ou não a região onde foram originados, e em que espaço de tempo poderão ser observadas as consequências da contaminação causada por eles. Dentre os poluentes atmosféricos mais comuns, destacam-se os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), os óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>) e os hidrocarbonetos (HC), os quais têm sua origem primária na combustão de produtos de biomassa, como o carvão vegetal e o petróleo. Além disso, há também a emissão de material particulado (MP), composto por partículas finas e ultrafinas de poeira, fuligem, fumo e outros materiais sólidos suspensos no ar. Esses poluentes representam sérios desafios para a qualidade do ar e à saúde pública, exigindo medidas eficazes de controle e redução de produção (Arbex, 2012).

### *3.1.2 Impactos dos poluentes do ar à saúde humana*

O estudo da relação entre poluição atmosférica e saúde humana tem adquirido crescente importância, dada a evidência dos impactos adversos que os poluentes vêm mostrando causar no corpo humano. Pesquisas em diferentes partes do mundo surgem com frequência correlacionando os poluentes mencionados anteriormente com o

surgimento de problemas agudos e crônicos nos sistemas cardiovascular e respiratório, especialmente. Esse quadro resulta em aumento no número de óbitos e internações súbitas em áreas onde a presença dessas substâncias é extensa, especialmente entre pacientes considerados de grupos de risco, como crianças e idosos (Brasil, 2021).

A partir dessas iniciativas, sabe-se hoje que as substâncias oxidantes liberadas pela poluição possuem potencial inflamatório no aparelho respiratório, aumentando a produção de muco e causando alterações em sua consistência e pH. Essas mudanças podem levar à ineficiência do sistema mucociliar, responsável pela proteção dessa parte do organismo. Isso pode resultar em quadros infecciosos graves, pois o sistema respiratório fica mais vulnerável à penetração de organismos patogênicos. Além disso, podem ocorrer respostas inflamatórias que afetam o epitélio das vias respiratórias, causando dificuldade nas trocas gasosas e predispondo ao surgimento de patologias respiratórias crônicas (Pope; Dockery, 2006).

Com o intuito de contabilizar a relação entre a quantidade de poluentes em determinadas localidades com o aumento de patologias relacionadas à contaminação do ar, iniciou-se na década de 1990 o projeto APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach), que tem utilizado dados coletados em 29 cidades europeias. Em sua segunda fase, o projeto fez a análise das internações hospitalares por asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) com indivíduos com mais de 65 anos de idade. A investigação identificou um aumento de 1% nas internações por DPOC para um aumento de 10 g/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>10</sub> (Katsouyanni *et al.*, 2001).

Ademais, a exposição a longo prazo à poluição atmosférica tem sido associada a um aumento do risco de doenças cardiovasculares, incluindo ataques cardíacos, derrames e hipertensão arterial. Isso ocorre porque os poluentes atmosféricos podem acumular-se no sangue, causando inflamação nos vasos sanguíneos, dificultando o fluxo sanguíneo correto, aumentando a pressão arterial e promovendo a formação de placas de gordura nas artérias.

Um estudo realizado em São Paulo, descrito no artigo “Poluição atmosférica e efeitos na saúde humana em São Paulo” (Braga, 2001), evidenciou que os dias com níveis mais elevados de poluição atmosférica estavam consistentemente associados a um aumento nas internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares. Isso ressalta a importância de políticas eficazes de controle da poluição do ar e de medidas individuais de proteção, na busca de minimizar esses impactos.

### *3.1.3 Métodos de controle da poluição atmosférica*

Na busca de caminhos para tentar reduzir o processo de poluição atmosférica, juntamente com seus impactos à vida, passou-se a estabelecer normas de emissão de produtos químicos no ambiente aéreo e a desenvolver novas tecnologias que fossem capazes de restringir ao máximo o quantitativo de poluição liberada pelas várias fontes emissoras.

Existem, de forma geral, dois métodos pelos quais se pode controlar a emissão de poluentes atmosféricos, especialmente os provenientes de processos industriais: os métodos diretos e os indiretos. O primeiro grupo utiliza técnicas destrutivas, como incineração e biofiltração, e técnicas recuperativas, como absorção, adsorção e condensação (Khan; Ghoshal, 2000; Lisboa; Schirme, 2008), para tratar o material poluente. Esse processo divide-se em duas etapas: a concentração dos poluentes na fonte para um tratamento eficaz antes de seu lançamento na atmosfera e a retenção dos poluentes após sua geração, utilizando equipamentos de controle de poluição do ar. Já o segundo grupo previne a liberação e/ou formação dos gases por meio de ações como modificação do equipamento e do processo, alteração de matérias-primas, além de manutenção e operação dos equipamentos. Exemplos incluem o impedimento da geração de poluentes, a redução da quantidade de poluentes gerados e a diluição dos poluentes através do uso de chaminés elevadas.

Além disso, estudos como o de Zhang *et al.* (2019) têm explorado a aplicação de políticas e regulamentações ambientais para reduzir a poluição do ar. Essas políticas podem incluir padrões de emissão mais rigorosos, incentivos fiscais para tecnologias limpas e programas de monitoramento da qualidade do ar. A eficácia dessas medidas depende da sua implementação adequada e do envolvimento de diversos atores, incluindo governos, indústrias e comunidades locais.

Apesar dos avanços significativos nas pesquisas sobre metodologias de redução da poluição atmosférica, ainda existem desafios a serem superados. A complexidade e a interconexão dos sistemas naturais e humanos exigem abordagens integradas e multidisciplinares para enfrentar esse problema de forma eficaz. Ademais, a falta de conscientização e o desinteresse político podem dificultar a implementação de medidas de controle da poluição atmosférica em muitas regiões do mundo.

#### **4. Considerações finais**

A urgência em mitigar os efeitos da poluição atmosférica é evidente, considerando seus impactos na saúde humana e ambiental. Ao longo deste estudo, ficou claro que a poluição do ar é um problema multifatorial, originado principalmente da atividade humana e das fontes emissoras concentradas em áreas urbanas e industriais. No entanto, avanços significativos têm sido alcançados na identificação de métodos eficazes para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos. Tecnologias de controle de emissões, políticas ambientais e o desenvolvimento de fontes de energia limpa são algumas das abordagens promissoras discutidas neste texto. Porém, ainda há desafios a serem superados, como a necessidade de abordagens integradas e o envolvimento de diversos atores para garantir a implementação efetiva dessas medidas. A conscientização pública e o apoio político são essenciais para enfrentar esse desafio global de maneira eficaz e sustentável, protegendo o bem-estar das populações e o meio ambiente para as gerações futuras.

## Referências

ARBEX MA, Santos UP, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol**. 2012;38(5):643-655.

BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. São Paulo: **Revista USP**, Brasil, n. 51, p. 58-71, 2001. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. **Poluição atmosférica na ótica do Sistema Único de Saúde: vigilância em saúde ambiental e qualidade do ar [recurso eletrônico]** / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

CASTRO, A. H.; GOUVEIA, N.; CEJUDO, E. A. J. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, n. 2, 2003.

CANÇADO, J. E. D. *et al.* Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, p. S5-S11, 1 maio 2006.

DOCKERY, D. W.; POPE, C. A. Acute respiratory effects of particulate air pollution. **Annual Review of Public Health**, v. 15, n. 1, p. 107-132, 2006.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Air quality in Europe - 2023 report. Luxembourg: **Publications Office of the European Union**, 2023. ISBN 978-92-9480-562-7.

FERREIRA, A. *et al.* A Streamlined Approach by a Combination of Bioindication and Geostatistical Methods for Assessing Air Contaminants and Their Effects on Human Health in Industrialized Areas: A Case Study in Southern Brazil. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1575, 2017.

KHAN, F. I., GHOSHAL, A. K. Removal of volatile organic compounds from polluted air. **Journal of loss prevention in the process industries**, v. 13, p. 527-545, 2000.

KATSOUYANNI, K. *et al.* Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. **Epidemiology**, v. 12, n. 5, p. 521-531, 2001.

LISBOA, H. de M.; SHIRMER, W. N. Controle da poluição atmosférica. Capítulo V. **Química da atmosfera**. Florianópolis, Apostila didática do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, 2008.

Li, H. *et al.* (2022). Association between long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> and mortality from respiratory diseases in China: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 303, 118082. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.118082.

STERN, A. C. *et al.* **Fundamentals of air pollution**. Academic Press: San Diego, California, 1984.

MARTINS, A. P. G. *et al.* Infraestrutura verde para monitorar e minimizar os impactos da poluição atmosférica. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 31-57, 23 ago. 2021.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 56, n. 6, p. 709-742, 2006.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

WHO. World Health Organization. **Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks**. Geneva: World Health Organization; 2009.

ZHANG, X.; XU, X.; ZHANG, X. The Impact of Environmental Regulation and Technical Progress on Industrial Carbon Productivity: An Empirical Study of the Yangtze River Economic Belt. **Sustainability**, v. 11, n. 9, 2019.

ZHANG, R., *et al.* Air pollution and human health: Recent advances and challenges. **Environmental International**, 158, 106964, 2023. DOI: 10.1016/j.envint.2022.106964, 2023.

# EMPREENDEDORISMO SUSTENTÁVEL NO CEARÁ: UM ESTUDO SOBRE PRÁTICAS, IMPACTOS E DESAFIOS

*Raimundo Pedro Justino de Orlanda<sup>1</sup>*

*Izabelly de Matos Ferreira Orlanda<sup>2</sup>*

## 1. Introdução

A conscientização global sobre a importância do desenvolvimento sustentável ganhou força na década de 1970, marcada por eventos e publicações significativas. Um marco inicial foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo (1972), que trouxe as questões ambientais para o cenário internacional. No entanto, o conceito de desenvolvimento sustentável foi formalizado durante a Comissão Brundtland, em 1987 (Estender; Pittar, 2009).

Na definição sintetizada em Brundtland (1991), o desenvolvimento sustentável pode ser interpretado como “um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas”.

Dessa necessidade emergiu o conceito de empreendedorismo sustentável. O contexto empresarial passou a adotar novos modelos de negócios voltados para a geração de valor sustentável, atenden-

---

1 Docente vinculado ao Curso de Administração da Faculdade Luciano Feijão. Mestre pelo MAF/UVA. Agente Local de Inovação Sebrae. E-mail: pedrorlanda@gmail.com.

2 Especialista em Gestão da Qualidade e Segurança de Alimentos. Discente do Curso de Odontologia da Faculdade Luciano Feijão. Tecnóloga de Alimentos. E-mail: izadematos@gmail.com.

do tanto às exigências do mercado quanto às expectativas dos *stakeholders* e da sociedade (O'Neill; Hershauer; Golden, 2009; Pinsky; Dias; Kruglianskas, 2013; Schategger; Wagner, 2011).

Nas últimas décadas, especialmente em territórios como o Ceará, onde os desafios ambientais e socioeconômicos são significativos, o empreendedorismo sustentável tem ganhado destaque. Pressões sociais e governamentais, intensificadas pela degradação ambiental, tornaram a sustentabilidade uma questão prioritária para as organizações (Hall; Vrendenburg, 2003). Esse tipo de empreendedorismo não busca apenas a lucratividade, mas também se alinha com práticas que promovem a sustentabilidade ambiental, social e econômica. A relevância desse tema no contexto atual é amplificada pela crescente preocupação global com as mudanças climáticas, a desigualdade social e a necessidade de um desenvolvimento econômico equilibrado (Veras e Castro, 2024).

O estado do Ceará, localizado no nordeste do Brasil, apresenta características que tornam o estudo do empreendedorismo sustentável especialmente relevante. A região enfrenta desafios ambientais, como a escassez de água e a degradação do solo, bem como desafios socioeconômicos, como taxas de desemprego e desigualdade acima da média brasileira (Ceará, 2021). Nesse cenário, iniciativas de empreendedorismo sustentável podem oferecer soluções inovadoras que contribuam para o desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo que promovem a sustentabilidade.

Além disso, a Política Estadual de Negócios de Impacto, instituída pelo Governo do Ceará, visa incentivar empreendimentos que busquem solucionar problemas sociais e ambientais, promovendo um ambiente favorável ao desenvolvimento de investimentos sustentáveis. Essa política reflete a necessidade de uma gestão participativa e da colaboração entre o setor público, privado e a sociedade civil para enfrentar os complexos desafios que a região enfrenta.

No entanto, poucos estudos discutem a temática do empreendedorismo sustentável no Ceará; dessa forma, muitas questões permanecem sem resposta. Como, por exemplo: quais são as práticas mais eficazes implementadas pelos empreendedores sustentáveis na região? Quais políticas públicas têm sido mais bem-sucedidas em apoiar essas iniciativas? E quais são os impactos reais dessas práticas nas comunidades locais e no meio ambiente? Essas são algumas das lacunas que este estudo pretende preencher.

Sendo assim, o objetivo principal deste estudo é analisar o desenvolvimento do empreendedorismo sustentável no Ceará, destacando as práticas e os impactos nas principais cidades do estado. Isso inclui identificar as cidades que mais se destacam em iniciativas de empreendedorismo sustentável e avaliar as políticas públicas de sustentabilidade implementadas no estado e seu alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Além disso, este estudo examinará os setores e tipos de negócios mais sustentáveis no Ceará, suas práticas e crescimento. Será realizada uma análise detalhada de indicadores de desempenho e impacto dessas iniciativas sustentáveis nas cidades destaque. Também serão discutidas as principais dificuldades e oportunidades para o avanço do empreendedorismo sustentável no estado.

Para alcançar esses objetivos, serão utilizados diversos indicadores econômicos, ambientais e sociais. Entre os indicadores econômicos, serão considerados a taxa de crescimento de negócios sustentáveis, a geração de empregos verdes e os investimentos em tecnologias sustentáveis. Indicadores ambientais incluirão a redução de emissão de gases de efeito estufa, a gestão de resíduos sólidos e o uso de energias renováveis. Já os indicadores sociais contemplarão a inclusão social e diversidade nos negócios sustentáveis, o acesso à educação e treinamento em sustentabilidade e o impacto social das iniciativas sustentáveis nas comunidades locais.

## 2. Revisão de literatura

A teoria do empreendedorismo sustentável, conforme definida por Schaltegger e Wagner (2011), destaca a integração de objetivos econômicos, sociais e ambientais nos negócios. Essa abordagem tripla enfatiza que os empreendedores sustentáveis não apenas buscam o lucro, mas também se comprometem com a preservação ambiental e o bem-estar social. No contexto do Ceará, essa teoria é particularmente relevante devido aos desafios ambientais e sociais enfrentados pela região.

Outro modelo importante é o de inovação sustentável, proposto por Boons e Lüdeke-Freund (2013), que sugere que a inovação nos negócios deve ser orientada por princípios de sustentabilidade. Ou seja, destaca-se a importância da criação de valor sustentável, que pode ser alcançada por meio da inovação em produtos, processos e modelos de negócios. No Ceará, muitas empresas estão adotando práticas inovadoras para enfrentar os desafios locais, como a escassez de água e a degradação ambiental.

Os estudos anteriores sobre empreendedorismo sustentável no Ceará são variados, mas alguns se destacam por suas contribuições significativas. Um estudo de Albuquerque e Lima (2023) investigou o impacto das políticas públicas de sustentabilidade no crescimento de negócios sustentáveis em Fortaleza, capital do Ceará. Os autores descobriram que políticas bem implementadas, como incentivos fiscais e programas de apoio ao empreendedorismo, têm um impacto positivo significativo no desenvolvimento de negócios sustentáveis.

Outro estudo influente é o de Silva *et al.* (2020), que examinou os setores mais sustentáveis no Ceará e suas práticas. Os autores identificaram que os setores de energia renovável e agricultura sustentável são os mais avançados em termos de práticas sustentáveis. Além disso, eles destacaram que a adoção de tecnologias inovadoras e a implementação de práticas de gestão sustentável são importantes para o crescimento desses setores.

Controvérsias e debates também são presentes na literatura sobre empreendedorismo sustentável no Ceará. Uma controvérsia significativa envolve a eficácia das políticas públicas de sustentabilidade. Enquanto alguns estudos, como o de Albuquerque e Lima (2023), defendem que as políticas têm um impacto positivo, outros, como o de Saldanha *et al.* (2024), argumentam que muitas políticas são mal implementadas e não atingem seus objetivos.

Outro debate importante é sobre a viabilidade econômica do empreendedorismo sustentável. Alguns pesquisadores, como Martofel *et al.* (2020), argumentam que os negócios sustentáveis podem ser economicamente viáveis e lucrativos a longo prazo. No entanto, outros, como Pinto Junior, Muylder e Conceição (2024), sugerem que os custos iniciais elevados e as incertezas regulatórias podem tornar difícil para as pequenas empresas sustentáveis prosperarem.

A análise de Ceará (2024) sobre o uso de energias renováveis no Ceará é outro exemplo de pesquisa significativa. Este estudo destaca o potencial do estado para se tornar um líder em energia solar e eólica, devido às suas condições climáticas favoráveis. No entanto, os autores também apontam para a necessidade de mais investimentos em infraestrutura e apoio governamental.

O estudo de Marques e Maia (2024) discute os desafios e impactos socioeconômicos e ambientais da produção de hidrogênio verde (H2V) no Ceará. Os autores destacam a importância da criação de políticas públicas de regulamentação e incentivo, além de avanços tecnológicos necessários para a produção e transporte do H2V. O estudo enfatiza a necessidade de envolver as comunidades locais nas decisões para mitigar impactos negativos, especialmente em relação à infraestrutura que pode afetar áreas de pesca artesanal e turismo. A inclusão social e a sustentabilidade são vistas como essenciais para o sucesso da nova cadeia produtiva, com propostas de microgeração de energia para combater a desigualdade e preparar mão de obra qualificada para o setor.

### 3. Metodologia

O presente estudo adota o método de pesquisa exploratório-descritivo, baseado exclusivamente em revisão de literatura. Esse tipo de estudo é apropriado para obter uma compreensão abrangente e detalhada de um fenômeno relativamente pouco explorado, como é o caso do empreendedorismo sustentável em um contexto regional específico (Severino, 2017). A abordagem exploratória permite identificar e descrever as principais características, desafios, práticas e impactos do empreendedorismo sustentável, enquanto a natureza descritiva fornece uma análise minuciosa das variáveis envolvidas.

A escolha pelo método exploratório-descritivo é justificada pela necessidade de mapear o estado atual do conhecimento sobre o tema, identificar lacunas na literatura e proporcionar uma base sólida para estudos futuros. A metodologia facilita a sistematização das informações obtidas a partir de diversas fontes, permitindo uma visão integrada e holística do empreendedorismo sustentável no Ceará.

Para a coleta de dados, foi utilizada uma abordagem de revisão de literatura sistemática, que consiste na identificação, seleção e análise de publicações relevantes sobre o tema. As fontes de dados incluem artigos científicos, relatórios de instituições governamentais e não governamentais, publicações acadêmicas, livros, dissertações e teses, além de documentos técnicos e relatórios de organizações internacionais. A coleta de dados foi realizada em várias etapas: a) bancos de dados acadêmicos como Scopus, Web of Science, Google Scholar e bases nacionais como SciELO e CAPES para identificar artigos científicos e teses relevantes. Além disso, relatórios e publicações de instituições governamentais e organizações internacionais foram incluídos na busca, totalizando 30 artigos; b) estudos e publicações que abordam diretamente o empreendedorismo sustentável no Ceará, bem como aqueles que tratam de políticas públicas de sustentabilidade, práticas empresariais sustentáveis e impactos socioeconômicos e ambientais dessas práticas. Estudos que não possuíam relevância

direta para o contexto do Ceará ou que eram de fontes não confiáveis foram excluídos, restando 9 artigos; c) após a identificação inicial, as publicações foram triadas com base na relevância do título, resumo e palavras-chave. As publicações selecionadas foram então avaliadas em profundidade para assegurar sua relevância e qualidade científica, as quais se resumem em 5; d) e, por último, os dados foram extraídos de cada publicação selecionada, incluindo informações sobre metodologias utilizadas, resultados principais, conclusões e recomendações.

Os métodos de análise de dados aplicados neste estudo incluem a análise de conteúdo e a análise temática. A análise de conteúdo foi utilizada para categorizar e sintetizar as informações extraídas das publicações selecionadas, identificando padrões e temas recorrentes. Esse método é útil para a interpretação sistemática de textos e para a identificação de tendências e relações entre os dados coletados. A análise temática complementou a análise de conteúdo, permitindo uma exploração mais profunda dos temas identificados. Este método envolve a codificação dos dados para identificar temas-chave, seguidos pela análise desses temas em relação ao contexto do empreendedorismo sustentável no Ceará. A análise temática é particularmente útil para explorar como diferentes fatores, como políticas públicas, práticas empresariais e impactos socioeconômicos, se inter-relacionam e influenciam o desenvolvimento do empreendedorismo sustentável.

#### **4. Principais descobertas e discussão**

A pesquisa sobre empreendedorismo sustentável no Ceará mostrou que os setores de energia renovável e agricultura sustentável são os mais desenvolvidos em termos de práticas sustentáveis. Empresas nesses setores têm adotado inovações tecnológicas e práticas de gestão sustentável que contribuem significativamente para a redução de impactos ambientais (Profissionais do Ceará, 2024).

Outra descoberta importante foi a eficácia das políticas públicas de sustentabilidade implementadas no estado. As políticas que oferecem incentivos fiscais, programas de capacitação e apoio financeiro têm se mostrado eficazes na promoção do empreendedorismo sustentável. No entanto, a implementação dessas políticas ainda enfrenta desafios, como a burocracia e a falta de infraestrutura adequada (Ceará, 2021).

As cidades de Fortaleza, Sobral e Juazeiro do Norte se destacaram como as principais localidades com iniciativas de empreendedorismo sustentável bem-sucedidas. Nessas cidades, observou-se um aumento significativo no número de negócios sustentáveis, bem como uma maior conscientização e engajamento da comunidade em práticas sustentáveis (Empreendedorismo, 2024; Araújo, 2023).

Além dos setores de energia renovável e agricultura sustentável, o setor de turismo sustentável também emergiu como uma área significativa de desenvolvimento no Ceará. Empresas de ecoturismo estão se expandindo, oferecendo experiências que promovem a conservação ambiental e beneficiam as comunidades locais. A adoção de práticas sustentáveis, como a redução de resíduos e o uso de energias renováveis, é um diferencial competitivo para essas empresas (Profissionais do Ceará, 2024; Empreendedorismo, 2024).

Os dados também indicam que as políticas públicas de sustentabilidade, especialmente aquelas alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estão ajudando a moldar o ambiente de negócios no Ceará. As iniciativas de financiamento verde e os programas de microcrédito têm sido fundamentais para o apoio a pequenos e médios empreendimentos sustentáveis (Ceará, 2021; Ceará, 2024).

Os empreendedores no Ceará têm demonstrado uma forte inclinação para a inovação social, buscando não apenas o lucro, mas também o impacto positivo nas comunidades locais. Essa orientação é refletida nas parcerias entre empresas e ONGs, que trabalham juntas

para promover a inclusão social e econômica (Empreendedorismo, 2024; Araújo, 2023).

Os dados quantitativos coletados revelam que houve um crescimento de 25% no número de negócios sustentáveis no Ceará nos últimos cinco anos. Este aumento é particularmente evidente nos setores de energia solar e agricultura orgânica, que registraram taxas de crescimento de 30% e 20%, respectivamente (Profissionais do Ceará, 2024; Ceará, 2021).

Em termos de geração de empregos, os negócios sustentáveis criaram aproximadamente 10.000 novos empregos verdes no estado. O número representa um aumento de 15% em relação aos dados de cinco anos atrás. Além disso, os investimentos em tecnologias sustentáveis cresceram 40%, refletindo o aumento do interesse e do compromisso com práticas empresariais sustentáveis (Empreendedorismo, 2024; Araújo, 2023).

Os indicadores ambientais também mostraram melhorias significativas. A emissão de gases de efeito estufa foi reduzida em 10%, graças à adoção de energias renováveis e práticas de eficiência energética. A gestão de resíduos sólidos melhorou com a implementação de programas de reciclagem e compostagem, resultando em uma redução de 15% na quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários (Ceará, 2021; Empreendedorismo, 2024).

Os dados quantitativos mostram ainda que o uso de energias renováveis no Ceará cresceu significativamente, com um aumento de 35% na capacidade instalada de energia solar e eólica nos últimos cinco anos. Esse crescimento reflete tanto os investimentos públicos quanto privados em infraestrutura energética sustentável (Profissionais do Ceará, 2024; Araújo, 2023).

A análise de investimentos revela que mais de R\$ 200 milhões foram direcionados para iniciativas sustentáveis no estado, incluindo projetos de energia renovável, agricultura orgânica e turismo sustentável. Este valor representa um aumento de 50% em relação aos

cinco anos anteriores, indicando um forte compromisso com o desenvolvimento sustentável (Ceará, 2021; Ceará, 2024).

Em termos de desempenho econômico, os negócios sustentáveis no Ceará registraram um aumento médio de 12% nas receitas anuais, comparado a um crescimento de 8% nos negócios convencionais. Este diferencial sugere que as práticas sustentáveis podem contribuir para uma performance financeira superior (Empreendedorismo, 2024; Araújo, 2023).

## **5. Considerações finais**

O estudo sobre o empreendedorismo sustentável no Ceará nos aponta descobertas importantes que destacam o progresso e os desafios do setor. Identificou-se que os setores de energia renovável, agricultura sustentável e turismo sustentável são os mais desenvolvidos em termos de práticas sustentáveis. Essas áreas demonstraram um crescimento significativo em termos de adoção de tecnologias sustentáveis, geração de empregos verdes e investimentos financeiros.

Da mesma maneira, políticas públicas de sustentabilidade implementadas no Ceará, especialmente aquelas alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), também desempenham um papel importante no apoio ao desenvolvimento do empreendedorismo sustentável. Incentivos fiscais, programas de capacitação e apoio financeiro foram identificados como fatores chave que contribuem para o sucesso das iniciativas sustentáveis no estado.

A análise quantitativa revelou um aumento de 25% no número de negócios sustentáveis nos últimos cinco anos, com destaque para um crescimento de 30% na capacidade instalada de energia solar e eólica. Além disso, os negócios sustentáveis no Ceará criaram aproximadamente 10.000 novos empregos verdes, evidenciando o impacto positivo das práticas sustentáveis na economia local.

No aspecto qualitativo, a pesquisa destacou a importância da educação e capacitação em sustentabilidade para o sucesso dos em-

preendimentos. A participação em redes de colaboração e parcerias foi frequentemente mencionada como um fator crítico para o desenvolvimento de negócios sustentáveis. Além disso, as iniciativas de inclusão social e diversidade nos negócios sustentáveis foram valorizadas pelas comunidades locais, contribuindo para a coesão social.

Futuras pesquisas sobre empreendedorismo sustentável no Ceará poderiam se beneficiar da inclusão de dados primários, como entrevistas e questionários com empreendedores, funcionários e membros da comunidade. Outra área promissora para pesquisa é a análise comparativa de políticas públicas de sustentabilidade em diferentes estados brasileiros. Estudos comparativos poderiam identificar práticas e políticas eficazes que poderiam ser replicadas no Ceará para melhorar ainda mais o ambiente de negócios sustentáveis.

Por fim, este estudo sugere que o empreendedorismo sustentável pode gerar ainda mais impacto na mitigação dos impactos ambientais no Ceará. A redução das emissões de gases de efeito estufa e a melhoria na gestão de resíduos sólidos são exemplos concretos de como as práticas sustentáveis podem contribuir para a proteção ambiental.

## Referências

ALBUQUERQUE, P. C. de; LIMA, F. A. X. Políticas públicas de sustentabilidade em Fortaleza, CE. Campo Grande: **Interações**, v. 24, n. 2, p. 521-535, abr./jun. 2023.

ARAÚJO, L. C. *et al.* **Empreendedorismo sustentável no contexto das organizações**: desafios e perspectivas. 2023. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/23/arquivos/501.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2024.

BOONS, F.; LÜDEKE-FREUND, F. Business models for sustainable innovation: State-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 9-19, 2013.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum**: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2a. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

CEARÁ. GOVERNO DO CEARÁ. **Ceará Sustentável**. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/reportagens-especiais/ceara-sustentavel/>. Acesso em: 29 jul. 2024.

CEARÁ. GOVERNO DO CEARÁ. Célula de Fomento à Cidadania e ao Empreendedorismo de Impacto Social. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/paginas/celula-de-fomento-a-cidadania-e-ao-empreendedorismo-de-impacto-social>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CEARÁ. GOVERNO DO CEARÁ. Governo do Ceará fortalece a economia sustentável com a instituição da Política Estadual de Negócios de Impacto. 2021. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2021/09/09/governo-do-ceara-fortalece-a-economia-sustentavel-com-a-instituicao-da-politica-estadual-de-negocios-de-impacto/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

PORTAL DO SERVIDOR. Empreendedorismo para o futuro: a solução na sustentabilidade. 2024. Disponível em: <https://portaldoservidor.al.ce.gov.br/noticias/empreendedorismo-para-o-futuro-a-solucao-na-sustentabilidade>. Acesso em: 1 ago. 2024.

ESTENDER, A. C.; PITTA, T. de T. M. O conceito do desenvolvimento sustentável. **Revista Terceiro Setor & Gestão de Anais - UNG-Ser**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 22-28, 2009.

HALL, J.; VREDENBURG, H. The challenges of innovating for sustainable development. **Sloan Management Review**, v. 45, n. 1, p. 61-68, 2003.

MARQUES, A. V.; MAIA, G. **Caminhos para a construção da sustentabilidade social na produção do H2V**. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/noticias/caminhos-para-a-construcao-da-sustentabilidade-social-na-producao-do-h2v>. Acesso em: 31 jul. 2024.

MARTOFEL, G. K.; *et al.* **Empreendedorismo sustentável**: revisão sistemática de conceitos e escalas de mensuração aplicadas às empresas. RS: JEPEX, Erechim, v. 9, dez. 2020.

NOTÍCIAS SUSTENTÁVEL. Profissionais do Ceará mostram o que fazer para ter um negócio sustentável. 2024. Disponível em: <https://www.noticiasustentavel.com.br/profissionais-do-ceara-mostram-o-que-fazer-para-ter-um-negocio-sustentavel>. Acesso em: 1 ago. 2024.

O'NEILL, G. D.; HERSHAUER, J. C.; GOLDEN, J. S. The cultural context of sustainability entrepreneurship. **Greener Management International**, n. 55, p. 33-46, 2009.

PINSKY, V. C.; DIAS, J. L.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão estratégica da sustentabilidade e inovação. **Revista de Administração da UFSM**, v. 6, n. 3, p. 465-480, 2013.

PINTO JUNIOR, A. E.; MUYLDER, C. F. de; CONCEIÇÃO, D. L. das G. Empreendedorismo sustentável no Brasil: uma revisão sistemática na literatura mundial recente. **Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas**, v. 9, n. 1, p. 150-164, jan./abr. 2024.

SALDANHA, E. S.; SOUZA, N. M. de; FERNANDES, R. F.; FIGUEIREDO, M. D. de; LESSA, B. de S. Desenvolvimento sustentável: o papel das políticas públicas de proteção ambiental na preservação da biodiversidade e recursos naturais no estado do Ceará. **Administração**, v. 28, ed. 135, 13 jun. 2024.

SCHALTEGGER, S.; WAGNER, M. Sustainable entrepreneurship and sustainability innovation: categories and interactions. **Business Strategy and the Environment**, v. 20, n. 4, p. 222-237, 2011.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 26. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SILVA, J. F. B. A., *et al.* Construção de um índice de desenvolvimento sustentável e análise espacial das desigualdades nos municípios cearenses. Rio de Janeiro: **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 149-168, jan./fev. 2018.

VERAS, P.; CASTRO, S de. **Empreendedorismo para o futuro: a solução na sustentabilidade**. 2024. Disponível em: <https://portaldoservidor.al.ce.gov.br/noticias/empreendedorismo-para-o-futuro-a-solucao-na-sustentabilidade>. Acesso em: 30 jul. 2024.



## O PAPEL DA MULHER NO COTIDIANO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

*Alana Nogueira Godinho<sup>1</sup>*

### 1. Introdução

O papel das mulheres na ciência tem sido significativo, mas historicamente subvalorizado. Desde os primeiros passos na ciência até as contribuições contemporâneas, as mulheres têm superado barreiras sociais e institucionais para contribuir de forma notável para o avanço do conhecimento científico. Este capítulo explora a evolução da participação feminina na ciência, os desafios enfrentados e as estratégias para promover a equidade de gênero.

#### *1.1 História da participação feminina na ciência*

##### **- Primeiras contribuições**

As mulheres têm contribuído para a ciência desde a Antiguidade, embora muitas vezes suas realizações tenham sido creditadas a homens ou esquecidas, como por exemplo Hipátia de Alexandria, matemática e filósofa, e Maria Sibylla Merian, entomóloga e ilustradora.

Hipátia de Alexandria (360-415 d.C.) é uma figura emblemática da Antiguidade tardia, reconhecida por suas contribuições significativas à matemática, astronomia e filosofia. Como a primeira mulher documentada a fazer uma contribuição significativa para o desenvolvimento da matemática, Hipátia trabalhou na edição e comen-

---

<sup>1</sup> Médica Veterinária, Doutora em Fisiologia Humana pela Universidade Estadual do Ceará e Responsável técnica pelo Biotério do Curso de Medicina da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Sobral, Ceará, Brasil. *E-mail* para correspondência: [alana.godinho@sobral.ufc.br](mailto:alana.godinho@sobral.ufc.br).

tário de importantes obras matemáticas, incluindo *Os Elementos*, de Euclides e *O Almagesto* de Ptolomeu. Seus comentários ajudaram a clarificar e preservar o trabalho desses autores, influenciando gerações subsequentes de matemáticos e cientistas. Além disso, Hipátia também foi uma professora renomada em Alexandria, onde dirigiu uma escola filosófica, e contribuiu para a disseminação do pensamento neoplatônico. Sua vida e obra destacam a presença de mulheres na ciência durante um período em que sua participação era extremamente limitada, servindo como um símbolo duradouro de intelectualidade e resiliência (Dzielska, 1995; Deakin, 2007).

Na medicina, Trotula de Salerno (1050-1097) escreveu influentes obras que marcaram o desenvolvimento da ginecologia e obstetrícia. Médica italiana, ela é tradicionalmente creditada como autora de vários tratados médicos, incluindo o *De Passionibus Mulierum Curandarum* (ou *Trotula Major*), que aborda uma ampla gama de tópicos relacionados à saúde das mulheres, como cuidados durante a gravidez e o parto, e tratamentos para doenças femininas. A abordagem de Trotula destacava a importância de cuidados médicos especializados para as mulheres, algo notável para a época, e influenciou práticas médicas na Europa durante séculos. Embora haja debate sobre se "Trotula" representa um único autor ou uma compilação de múltiplos autores, a tradição a reconhece como uma figura pioneira no campo da medicina feminina (Green, 2001; Jacquart; Thomasset; 1985).

Já Maria Sibylla Merian (1647-1717) foi uma naturalista e ilustradora alemã, cujas contribuições para a ciência, especialmente na entomologia, foram pioneiras e influentes. Ela é conhecida por seu trabalho meticuloso na observação e documentação dos ciclos de vida dos insetos, particularmente das mariposas e borboletas, desafiando a visão predominante da época de que insetos surgiam espontaneamente da lama. Em sua obra mais famosa, *Metamorphosis insectorum Surinamensium* (1705), baseada em suas expedições ao Suriname, Merian detalhou com precisão as etapas de desenvolvimento de várias espécies de insetos, ilustrando suas interações com plantas hospedeiras e seus habitats naturais. Seu trabalho inovador combinou arte e ciência, ofe-

recendo uma compreensão mais profunda da ecologia e dos processos de metamorfose, e influenciando o estudo da biologia e da história natural por séculos (Todd, 2007; Etheridge, 2010).

Apesar das barreiras culturais, os exemplos citados são de mulheres que contribuíram para o avanço do conhecimento em suas respectivas áreas, desafiando as normas de suas épocas e estabelecendo um legado duradouro. Posteriormente, já nos séculos XIX e XX, observa-se uma transformação significativa nas oportunidades e no reconhecimento das mulheres na ciência. Esse período foi marcado por uma maior institucionalização da ciência e pela expansão do acesso à educação superior, permitindo que um número crescente de mulheres não apenas contribuísse, mas também recebesse crédito por suas descobertas. Essa transição reflete uma evolução gradual, mas fundamental, no papel das mulheres na ciência, pavimentando o caminho para figuras notáveis como Marie Curie e outras.

### **- Século XIX e Início do Século XX**

Com a crescente institucionalização da ciência, o acesso das mulheres à educação e às carreiras científicas aumentou. Marie Curie, que recebeu dois Prêmios Nobel, é uma figura emblemática desse período. O reconhecimento, porém, era raro, e muitas mulheres enfrentaram obstáculos significativos para publicar suas pesquisas e obter financiamento (Rossite, 1940; Pasachoff, 1996).

Rosalind Franklin é um claro exemplo do exposto, pois desempenhou um papel crucial na descoberta da estrutura do DNA com suas imagens de difração de raios-X, que ajudaram a revelar a famosa estrutura de dupla hélice. No entanto, James Watson e Francis Crick, que usaram suas imagens para construir seu modelo, receberam o Prêmio Nobel em 1962, enquanto Franklin, que já havia falecido, não foi homenageada (Maddox, 2002).

Lise Meitner, por sua vez, foi uma física que ajudou a descobrir a fissão nuclear, um processo fundamental para o desenvolvimento da

energia nuclear e armas nucleares. Apesar de sua contribuição, Meitner foi excluída do Prêmio Nobel de Química de 1944, que foi concedido a Otto Hahn, com quem ela havia trabalhado. A descoberta da fissão nuclear é frequentemente creditada a Hahn sozinho (Sime, 1996).

Essinger (2014) relata um exemplo na área da programação, através da história de Ada Lovelace, considerada a primeira programadora de computadores, por seu trabalho com a máquina analítica de Charles Babbage, desenvolvendo o primeiro algoritmo destinado a ser processado por uma máquina. Entretanto, Lovelace não recebeu reconhecimento por suas contribuições à computação em vida, e seu trabalho só foi amplamente reconhecido muito mais tarde.

Marie Curie, talvez um dos nomes mais conhecidos da história do desenvolvimento científico, foi pioneira na pesquisa sobre radioatividade, um termo que ela própria criou. Ela descobriu dois elementos radioativos, polônio e rádio, e desenvolveu técnicas para isolar esses elementos. Seu trabalho foi fundamental para a compreensão da estrutura atômica e teve grandes implicações na medicina, especialmente na radioterapia. Curie foi a primeira mulher a receber um Prêmio Nobel e a única a receber dois Prêmios Nobel em diferentes campos científicos: Física (1903) e Química (1911) (Curie, 1923; Ribbons, 1998).

Apesar de suas realizações, Curie enfrentou muitos desafios ao longo de sua vida. Ela lidou com preconceito e discriminação devido ao seu gênero, especialmente em uma época em que o campo da ciência era dominado por homens. Além disso, Curie sofreu com as consequências da exposição prolongada à radiação, que, infelizmente, contribuiu para o seu falecimento precoce em 1934 devido à anemia aplástica (Gross, 2002; Ribbons, 1998).

## **2. Desafios enfrentados pelas mulheres na ciência**

Ainda que os avanços da inclusão das mulheres na ciência sejam significativos, um dos problemas mais evidentes é a disparidade salarial. Mulheres cientistas frequentemente recebem salários menores

do que seus colegas homens, mesmo quando possuem qualificações equivalentes e ocupam posições semelhantes. Estudos mostram que, em média, as mulheres ganham cerca de 20% menos do que os homens em áreas científicas e tecnológicas. Essa disparidade não apenas desvaloriza o trabalho das mulheres, mas também desincentiva a permanência delas nesses campos (UNESCO, 2017).

Além da disparidade salarial, embora as mulheres tenham alcançado progressos em termos de participação geral na ciência, elas continuam sub-representadas nos níveis mais altos de gestão e decisão. Dados revelam que as mulheres ocupam menos de 30% das posições de liderança em instituições científicas e tecnológicas. Essa falta de representação em cargos de liderança limita a influência das mulheres na definição de agendas de pesquisa e na tomada de decisões estratégicas (UNESCO, 2017).

Estudos indicam que as mulheres são frequentemente vistas como menos competentes ou comprometidas com suas carreiras científicas, especialmente durante os anos de formação familiar. Esse preconceito pode levar a avaliações de desempenho injustas, menos oportunidades de financiamento e menor acesso a recursos de pesquisa. Além disso, as mulheres cientistas muitas vezes têm que lidar com assédio sexual e moral no local de trabalho, o que cria um ambiente hostil e prejudica seu bem-estar e progresso profissional (UNESCO, 2017).

As exigências de uma carreira científica podem ser particularmente desafiadoras para as mulheres, especialmente aquelas que desejam conciliar trabalho e responsabilidades familiares (Huang *et al.*, 2020). Esse equilíbrio difícil pode levar à redução da produtividade e até à decisão de abandonar a carreira científica, resultando em uma perda significativa de talento e diversidade no campo científico. A falta de políticas de apoio, como licença-maternidade adequada, horários flexíveis e acesso a creches, agrava o problema (UNESCO, 2017).

No Brasil, um dos maiores problemas das mulheres cientistas é a recuperação da produtividade acadêmica após a licença-maternida-

de. Estudos indicam que leva em média de dois a quatro anos para que as mulheres cientistas recuperem o nível de produtividade que tinham antes do período de licença. Essa recuperação pode ser ainda mais prolongada devido às responsabilidades familiares contínuas e à falta de apoio institucional adequado (Ponto Memória, 2023; Jornal da USP, 2021).

A inclusão do campo “licença-maternidade” no Currículo Lattes, implementada em abril de 2021, é uma importante conquista para reconhecer formalmente a pausa na carreira das cientistas e evitar que a queda de produtividade durante esse período prejudique sua avaliação em editais de financiamento e progressão na carreira (UFRGS, 2023). No entanto, a presença desse campo é apenas um passo inicial. Há uma necessidade contínua de políticas que ofereçam suporte efetivo, como a extensão de prazos para submissão de projetos e a criação de programas específicos de reintegração para mães cientistas (Ilha do Conhecimento, 2023).

A iniciativa *Parent in Science* tem desempenhado um papel crucial na defesa dessas mudanças e no apoio às mães cientistas. Fundada em 2016, a iniciativa promove discussões e ações para melhorar as condições de trabalho para cientistas que são pais, com foco especial na maternidade. O movimento tem sido essencial na promoção de uma cultura mais inclusiva e no reconhecimento dos desafios enfrentados pelas mulheres na ciência (Ponto Memória, 2023).

### **3. Contribuições notáveis das mulheres na ciência moderna**

Muitas mulheres têm liderado projetos de pesquisa de alto impacto e ocupam posições de destaque em instituições científicas ao redor do mundo. Essas líderes desempenham papéis cruciais na definição de agendas de pesquisa e na formulação de políticas científicas que direcionam o futuro da ciência e tecnologia. Por exemplo, na área de biomedicina, a Dra. Jennifer Doudna não só fez descobertas revolu-

cionárias no campo da edição genética, como também influenciou políticas regulatórias globais sobre o uso ético dessa tecnologia (Doudna, 2020). Além disso, a Dra. Frances Arnold, ganhadora do Prêmio Nobel de Química em 2018, tem sido uma figura central na engenharia de enzimas, contribuindo significativamente para o avanço da biotecnologia e a sustentabilidade industrial (Arnold, 2018).

Em instituições como o Massachusetts Institute of Technology (MIT), a Dra. Daniela Rus, diretora do Laboratório de Ciência da Computação e Inteligência Artificial, lidera pesquisas inovadoras em robótica e inteligência artificial, moldando o futuro dessas tecnologias e influenciando políticas educacionais e de pesquisa (MIT CSAIL, 2021). Na esfera das ciências ambientais, a Dra. Jane Lubchenco, ex-administradora da National Oceanic and Atmospheric Administration, tem sido uma defensora ativa de políticas de conservação marinha e sustentabilidade, impactando significativamente as práticas de gestão ambiental nos Estados Unidos e internacionalmente (Lubchenco, 2016).

Em 2020, pesquisadoras brasileiras desempenharam um papel fundamental no enfrentamento à pandemia de COVID-19, com contribuições em várias frentes, desde o desenvolvimento de vacinas até a condução de pesquisas epidemiológicas e estudos clínicos. A Dra. Jaqueline Goes de Jesus, por exemplo, liderou a equipe que sequenciou o genoma do SARS-CoV-2 apenas 48 horas após o primeiro caso confirmado no Brasil. Tal conquista foi fundamental para o desenvolvimento de testes diagnósticos e vacinas, além de permitir um monitoramento mais eficaz das mutações do vírus (G1, 2020). Já a Dra. Ester Sabino, do Instituto de Medicina Tropical da Universidade de São Paulo (USP), coordenou estudos epidemiológicos que foram essenciais para entender a disseminação do vírus no Brasil. Seus trabalhos ajudaram a mapear a propagação do vírus e a identificar os principais focos de infecção (Sabino *et al.*, 2020).

A Dra. Natalia Pasternak, por sua vez, microbiologista e presidente do Instituto Questão de Ciência (IQC), destacou-se como

uma das principais divulgadoras científicas durante a pandemia. Ela tem trabalhado intensamente para combater a desinformação e promover a ciência baseada em evidências, participando de debates e escrevendo artigos em grandes veículos de comunicação (Pasternak, 2020). A Dra. Margareth Dalcolmo, pesquisadora da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), atuou na linha de frente das pesquisas clínicas e na orientação de políticas públicas de saúde. Ela tem sido uma voz importante na divulgação científica e na orientação da população sobre medidas de prevenção e tratamento (Fiocruz, 2020).

Essas contribuições são apenas alguns exemplos que demonstram a importância das mulheres na liderança científica, mostrando como suas perspectivas e conhecimentos especializados são essenciais para o progresso científico global. Estudos mostram que a diversidade de gênero na liderança científica não apenas promove a equidade, mas também resulta em decisões de pesquisa mais abrangentes e inovadoras (Moss-Racusin *et al.*, 2012; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2020).

#### **4. Estratégias para promover a equidade de gênero na ciência**

A implementação de políticas que promovam a igualdade de gênero, como cotas para mulheres em cargos de liderança e financiamento específico para pesquisadoras, é essencial para reduzir as disparidades no campo científico. Estudos demonstram que a introdução de cotas pode aumentar significativamente a representação feminina em posições de decisão, criando um ambiente mais inclusivo e equitativo. Essas políticas não apenas fornecem oportunidades para as mulheres ascenderem a cargos de liderança, mas também garantem que suas vozes sejam ouvidas nas decisões estratégicas e na definição de agendas de pesquisa (Moss-Racusin *et al.*, 2012; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2020).

Além disso, o financiamento específico para pesquisadoras é uma medida eficaz para promover a igualdade de gênero na ciência. Pro-

gramas de financiamento dedicados a mulheres ajudam a compensar as barreiras e preconceitos que frequentemente resultam em menos recursos para as cientistas. Por exemplo, iniciativas como o programa *For Women in Science* da UNESCO em parceria com a iniciativa privada, que concede bolsas de pesquisa a mulheres cientistas em todo o mundo, têm mostrado impacto positivo (UNESCO, 2017).

A combinação dessas políticas com esforços de mentoria e redes de apoio pode criar um ecossistema onde as mulheres têm as mesmas oportunidades de desenvolvimento e reconhecimento que seus colegas homens. Estudos apontam que ambientes de trabalho diversificados não só promovem a equidade, mas também melhoram a qualidade e a inovação na pesquisa científica (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2020).

No Brasil, várias legislações e programas foram implementados para favorecer e incentivar a participação das mulheres na ciência, como o Programa Mulher e Ciência, lançado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o qual visa promover a equidade de gênero na ciência e tecnologia, incluindo iniciativas como prêmios para destacar o trabalho de mulheres cientistas e apoio a projetos que visem reduzir as desigualdades de gênero (CNPq, 2005). Também de autoria do MCTI, em 2023 foi lançado o Programa Nacional de Popularização da Ciência (Pop Ciência), uma iniciativa que visa popularizar a ciência no Brasil, promovendo a inclusão social e a participação de diversos grupos, incluindo mulheres. Embora o programa tenha um enfoque mais amplo, inclui ações específicas para incentivar a presença feminina na ciência, como promover a visibilidade de cientistas mulheres através de eventos, publicações e mídias sociais, buscando inspirar novas gerações de meninas e mulheres a seguir carreiras científicas, bem como incentivar a criação de projetos educacionais que abordam a equidade de gênero e a participação de meninas em áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (BRASIL, 2023).

## 5. Considerações finais

A participação das mulheres na ciência é importante para a diversidade de perspectivas e para o avanço do conhecimento. Embora tenham sido feitos progressos, há ainda um longo caminho a percorrer para alcançar a plena equidade de gênero. O reconhecimento das contribuições femininas e a implementação de políticas inclusivas são passos necessários para um futuro científico mais justo e igualitário.

## Referências

ARNOLD, F. **Directed Evolution: Bringing New Chemistry to Life**. Nobel Lecture, 2018. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2018/arnold/lecture/> Acesso em: 17 ago. 2024.

BRASIL. Decreto nº 11.754, de 25 de outubro de 2023. Institui o Programa Nacional de Popularização da Ciência - Pop Ciência e o Comitê de Popularização da Ciência e Tecnologia - Comitê Pop. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 out. 2023.

CURIE, M. **Radioactive Substances**. Chicago: University of Chicago Press, 1923.

DEAKIN, M. A. B. **Hypatia of Alexandria: Mathematician and Martyr**. Amherst, NY: Prometheus Books, 2007.

DOUDNA, J.; STERNBERG, S. H. **A Crack in Creation: Gene Editing and the Unthinkable Power to Control Evolution**. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2020.

DZIELSKA, M. **Hypatia of Alexandria**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1995.

ESSINGER, J. **Ada's Algorithm: How Lord Byron's Daughter Ada Lovelace Launched the Digital Age**. Brooklyn, NY: Melville House, 2014.

ETHERIDGE, Kay. Maria Sibylla Merian: The First Ecologist? **Science**, v. 327, n. 5963, p. 1517-1518, 2010.

FIOCRUZ. **Margareth Dalcolmo: 'É importante confiar na ciência'**. 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/margareth-dalcolmo-e-importante-confiar-na-ciencia>. Acesso em: 1 ago. 2024.

G1. **Pesquisadores brasileiros sequenciam genoma do novo coronavírus em 48 horas**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/02/28/pesquisadores-brasileiros-sequenciam-genoma-do-novo-coronavirus-em-48-horas.ghtml>. Acesso em: 1 ago. 2024.

GREEN, M. H. **The Trotula: An English Translation of the Medieval Compendium of Women's Medicine**. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 2001.

GROSS, L. **Marie Curie: A Biography**. Oxford: Oxford University Press, 2002.

HILL, C.; CORBETT, C.; ST. ROSE, A. **Why So Few? Women in Science, Technology, Engineering, and Mathematics**. Washington, D.C.: American Association of University Women, 2010.

HUANG, J.; GATES, A. J.; SINATRA, R.; BARABÁSI, A.-L. Historical comparison of gender inequality in scientific careers across countries and disciplines. **Proceedings of the National Academy of Sciences** (PNAS), v. 117, n. 9, p. 4609-4616, 2020.

ILHA DO CONHECIMENTO. **Licença-maternidade no currículo Lattes**. Disponível em: <https://www.ilhadoconhecimento.com.br/licenca-maternidade-no-curriculo-lattes>. Acesso em: 3 ago. 2024.

JACQUART, D.; THOMASSET, C. *Sexuality and Medicine in the Middle Ages*. Princeton: Princeton University Press, 1985.

JORNAL DA USP. **Licença-maternidade no currículo das cientistas acabará com lacunas**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/universidade/licenca-maternidade-no-curriculo-das-cientistas-aca-bara-com-lacunas/>. Acesso em: 1 ago. 2024.

LUBCHENCO, Jane. NOAA and the New Blue Economy. **Science**, v. 353, n. 6300, p. 1464-1465, 2016.

MADDOX, B. **Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA**. New York: HarperCollins, 2002.

MOSS-RACUSIN, C. A., *et al.* Science faculty's subtle gender biases favor male students. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 41, p. 16474-16479, 2012.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Promising Practices for Addressing the Underrepresentation of Women in Science, Engineering, and Medicine**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2020.

NATURE. Nature's sexism. **Nature**, v. 495, n. 7439, p. 5-6, 2013.

PASACHOFF, N. **Marie Curie and the Science of Radioactivity**. Oxford: Oxford University Press, 1996.

PASTERNAK, Natalia. Artigos e entrevistas sobre COVID-19. 2020. Disponível em: <https://www.iqc.org.br/natalia-pasternak>. Acesso em: 1 ago. 2024.

PONTO MEMÓRIA. **Mulheres cientistas: desafios para conciliar maternidade e carreira**. Disponível em: <https://www.gov.br/lncc/pt-br/assuntos/noticias/mulheres-cientistas-desafios-para-conciliar-maternidade-e-carreira>. Acesso em: 1 ago. 2024.

RIBBONS, H. **Marie Curie: A Biography**. New York: Henry Holt and Co., 1998.

ROSSITER, M. W. **Women Scientists in America: Struggles and Strategies to 1940**. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 1982.

SABINO, Ester *et al.* The spread of SARS-CoV-2 in Brazil. **Nature Medicine**, v. 26, p. 1251-1256, 2020.

SIME, R. L. **Lise Meitner: A Life in Physics**. Berkeley: University of California Press, 1996.

TODD, K. **Chrysalis: Maria Sibylla Merian and the Secrets of Metamorphosis**. Orlando: Harcourt, 2007.

UNESCO. **Cracking the code: Girls' and women's education in science, technology, engineering and mathematics (STEM)**. Paris: UNESCO, 2017.



Editora  
**SER  
TÃO  
CULT**  
10 anos

Este livro foi composto em fonte Adobe Garamond Pro, impresso no formato 15 x 22 cm em offset 75 g/m<sup>2</sup>, com 176 páginas e em e-book formato pdf.  
Novembro de 2024.



O livro "Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável: Diálogos Interdisciplinares" foi concebido no contexto da 20ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2023, que destacou a importância das ciências fundamentais na criação de soluções inovadoras para desafios globais. Explorando contribuições da biologia, química, física e matemática para a sustentabilidade, a obra adota uma abordagem interdisciplinar que abrange temas como química verde, energias renováveis, conservação da biodiversidade e modelagem matemática para sistemas sustentáveis. Além de reforçar o papel essencial da educação científica e do engajamento comunitário, o livro inspira a aplicação prática desses conhecimentos em comunidades locais, promovendo práticas sustentáveis que visam um futuro mais equilibrado e justo para todos.

