

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente

Vol. 3



AYA EDITORA
2025

Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente

Vol. 3

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente

Vol. 3



AYA EDITORA
2025

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Ciências Biológicas

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva (UNIDAVI)

Prof.ª Dr.ª Adriana Almeida Lima (UEA)

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza (UCPEL)

Prof.º Dr. Alaerte Antonio Martelli Contini (UFGD)

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos (IFAP)

Prof.º Dr. Carlos Eduardo Ferreira Costa (UNITINS)

Prof.º Dr. Carlos López Noriega (USP)

Prof.ª Dr.ª Claudia Flores Rodrigues (PUCRS)

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chiroli (UTFPR)

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota (IFPI)

Prof.ª Dr.ª Déa Nunes Fernandes (IFMA)

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis (UEMG)

Prof.º Dr. Denison Melo de Aguiar (UEA)

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos (UNIFAP)

Prof.º Dr. Gilberto Zammar (UTFPR)

Prof.º Dr. Gustavo de Souza Preussler (UFGD)

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota (IF Baiano)

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza (UFS)

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso (UNISC)

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão (UFPE)

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR)

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior (UFRR)

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra (IFCE)

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho (UFRPE)

Prof.ª Dr.ª Marcia Cristina Nery da Fonseca Rocha Medina (UEA)

Prof.ª Dr.ª Maria Gardênia Sousa Batista (UESPI)
Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes (UTFPR)
Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda (UEPG)
Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes (UFRA)
Prof.º Dr. Raimundo Santos de Castro (IFMA)
Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani (UTFPR)
Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira (IFAC)
Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos (ITA)
Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia (UTFPR)
Prof.ª Dr.ª Tânia do Carmo (UFPR)
Prof.º Dr. Ygor Felipe Távora da Silva (UEA)

Conselho Científico

Prof.º Me. Abraão Lucas Ferreira Guimarães (CIESA)
Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz (UniCesumar)
Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva (UFRGS)
Prof.ª Ma. Denise Pereira (FASU)
Prof.º Dr. Diogo Luiz Cordeiro Rodrigues (UFPR)
Prof.º Me. Ednan Galvão Santos (IF Baiano)
Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig (UFPR)
Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva (HONPAR)
Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues (FASF)
Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti (UFPR)
Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim (FASF)
Prof.ª Dr.ª Lucimara Glap (FCSA)
Prof.ª Dr.ª Maria Auxiliadora de Souza Ruiz (UNIDA)
Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa (UniOPET)
Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch (FASF)
Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail (CESCAGE)
Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens (FASF)
Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares (UFPI)
Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros Rodrigues (FASF)
Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos (UTFPR)
Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues (IFSC)

© 2025 - AYA Editora

O conteúdo deste livro foi enviado pelos autores para publicação em acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Estes detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, que reflete única e inteiramente sua perspectiva e interpretação pessoal.

É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se aos serviços de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou as opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

B6155 Biologia, biotecnologia e meio ambiente [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2025. 104 p.

v.3

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-744-4

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437

1. Biotecnologia vegetal. 2. Genética vegetal 3. Biotecnologia. 4. Ecologia agrícola. 5. Desenvolvimento sustentável. 6. Desenvolvimento econômico - Aspectos ambientais. 7. Plásticos. 8. Polímeros - Biodegradação. 9. Plásticos biodegradáveis. 10. Geologia arqueológica. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 570

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 9

01

Plásticos: Tipos, Propriedades, Manejo e Biodegração como Alternativa Sustentável..... 10

Virginia da Silva Batista
Gabriela Oliveira da Silva
Adriana Ferreira de Souza
Marcos Antônio Barbosa de Lima
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.1

02

Manejo de Dejetos de Aves: Revisão de Literatura 27

Lisa Marie Paiva Leão
Jean Lucas de Arruda Almeida
Thamara Vieira dos Santos Alvarenga
Alana Camargo Poncio

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.2

03

El uso de la Geoarqueología para Conocer y Reestructurar los Nichos Ecológicos: Recolección de Muestras de Suelo para Análisis e Identificación de Principales Agentes de Degradación Del Río Papaloapan, Región de Tlacojalpan, Estado de Veracruz, México 39

Sebastião Lacerda de Lima Filho
Martha Judith Hernandez Velasco
Marcos Tadeu Ellery Frota

Francisco López
Rosa Maria Amador
Allysson Allan de Farias
Manoel Odorico de Moraes Filho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.3

04

Biotecnologia Vegetal: Desenvolvimento de Cultivares Tolerantes a Estresses Ambientais 58

Jordana Caroline Nagel

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.4

05

The Main Agricultural Products Currently Employed in Brazil: Economic Importance, Biotechnological Applications and Genetic Improvement..... 71

Jackeline Maria da Silva
Gilberto Henrique Teles Gomes da Silva
Eliana Costa dos Santos
Gabriel Barboza da Silva
Ester Ribeiro de Andrade

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.5

06

Uma Cesta de Bens e Serviços Territoriais Através do Açaí e do Tucumã: Uma Discussão para o Desenvolvimento Territorial para as Cidades de Anamã e Beruri no Estado do Amazonas 85

José Félix da Costa Filho
Reinaldo Costa Corrêa

DOI: 10.47573/aya.5379.2.437.6

Organizador..... 98

Índice Remissivo..... 99

Apresentação

A terceira edição da coletânea **“Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente”** reúne estudos que abordam, sob diferentes enfoques e metodologias, questões diretamente relacionadas à sustentabilidade, ao manejo ambiental e às inovações biotecnológicas aplicadas aos contextos agrícola e ecológico. O volume destaca contribuições que integram conhecimentos teóricos e práticos, articulando aspectos científicos e territoriais na análise de fenômenos contemporâneos.

As reflexões sobre os plásticos, seus tipos, propriedades e alternativas de biodegradação, propõem uma abordagem voltada à mitigação dos impactos ambientais por meio de soluções sustentáveis. Em consonância, o estudo sobre o manejo de resíduos avícolas oferece uma revisão abrangente das práticas atuais, ampliando o debate sobre o reaproveitamento e o tratamento de resíduos orgânicos no setor agropecuário.

No campo da geoarqueologia, a análise de nichos ecológicos em região ribeirinha mexicana apresenta uma investigação sobre os processos de degradação ambiental e os agentes envolvidos, com base na coleta e análise de amostras de solo. Essa abordagem contribui para a compreensão da relação entre as dinâmicas ambientais e a ocupação territorial, conectando saberes da geociência e da ecologia.

A biotecnologia vegetal surge como ferramenta para o desenvolvimento de culturas com maior resiliência a estresses ambientais, representando um esforço científico voltado à adaptação da produção agrícola às mudanças climáticas e às condições adversas do solo. Essa mesma perspectiva tecnológica se reflete na análise dos principais produtos agrícolas brasileiros, em que se examinam as relações entre relevância econômica, aplicações biotecnológicas e programas de melhoramento genético.

Por fim, a obra incorpora uma leitura sobre o território amazônico por meio da cadeia produtiva do açaí e do tucumã, discutindo como bens e serviços de base local podem colaborar para o desenvolvimento de municípios específicos da região. Essa abordagem evidencia a interação entre recursos naturais, comunidades e políticas públicas, ampliando o escopo das discussões ambientais para além do campo estritamente científico.

Este volume, portanto, oferece ao leitor um conjunto de estudos que, embora diversos em suas abordagens, convergem na análise das interações entre biologia, biotecnologia e meio ambiente, com atenção às especificidades regionais, aos desafios atuais e às possibilidades de aplicação do conhecimento científico.

Boa Leitura!

Plásticos: Tipos, Propriedades, Manejo e Biodegração como Alternativa Sustentável

Plastics: Types, Properties, Management and Biodegradation as a Sustainable Alternative

Virginia da Silva Batista

Aluna de Pós-Graduação do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP, Recife-PE, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8007-09>

Gabriela Oliveira da Silva

Aluna de Graduação em Engenharia Química da Universidade Católica de Pernambuco. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7430-5861>

Adriana Ferreira de Souza

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais, CEMACBIOS, MCTI. Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-2206>

Marcos Antônio Barbosa de Lima

Departamento de Biologia. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5987-224X>

Galba Maria de Campos-Takaki

Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais, CEMACBIOS, MCTI. Escola de Tecnologia e Comunicação. Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. ORCID: <https://www.orcid.org/0000-0002-0519-0849>

RESUMO

Os resíduos plásticos tornaram-se uma preocupação crescente, devido ao consumo anual estimado em 490 milhões de toneladas em 2023, gerando uma expectativa de atingir 765 milhões até 2040. Considerando, o amplo uso de plásticos e o pós-consumo levam a grandes quantidades de resíduos descartados, causando sérios problemas de poluição ambiental. Os plásticos mais amplamente utilizados incluem os tipos como polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC), devido à sua durabilidade e baixo custo. No entanto, todos os tipos de plásticos contribuem para a contaminação dos ecossistemas. Para o controle do amplo uso de plásticos vêm sendo utilizado o gerenciamento desses resíduos plásticos, aterros sanitários, incineração e reciclagem, contudo, são estratégias limitadas e impactantes para o meio ambiente. Neste sentido, para enfrentar o desafio da poluição ambiental por plásticos, estratégias vêm sendo dirigidas para a biodegradação desses resíduos, considerando que o potencial enzimático microbiano na busca de soluções para minimizar os efeitos adversos nos ecossistemas e promover a qualidade de vida. O processo de biodegradação envolve etapas como biodeterioração, biofragmentação, bioassimilação até a mineralização. Portanto, compreen-



der a biodegradação torna-se crucial para desenvolver estratégias de manejo de resíduos plásticos e promover soluções sustentáveis para a poluição ambiental. Neste contexto, os estudos realizados foram dirigidos para a busca de estratégias biotecnológicas, visando a mitigação da poluição dos ecossistemas, com destaque na importância da questão na sociedade contemporânea.

Palavras-chave: polipropileno; resíduos plásticos; estratégias de manejo; mitigação da poluição; degradação microbiana.

ABSTRACT

Plastic waste has become a growing concern, due to annual consumption estimated at 490 million tons in 2023, generating an expectation of reaching 765 million by 2040. Considering, the widespread use of plastics and post-consumption leads to large amounts of discarded waste, causing serious environmental pollution problems. The most widely used plastics include types such as polyethylene (PE), polypropylene (PP) and polyvinyl chloride (PVC) due to their durability and low cost. However, all types of plastics contribute to the contamination of ecosystems. To control the widespread use of plastics, plastic waste management, landfills, incineration and recycling have been used, however, these are limited and impactful strategies for the environment. In this sense, to face the challenge of environmental pollution by plastics, strategies have been directed towards the biodegradation of this waste, considering the microbial enzymatic potential in the search for solutions to minimize adverse effects on ecosystems and promote quality of life. The biodegradation process is complex, involving steps such as biodeterioration, biofragmentation, bioassimilation and mineralization. Therefore, understanding biodegradation becomes crucial to develop plastic waste management strategies and promote sustainable solutions to environmental pollution. In this context, the studies carried out were directed towards the search for biotechnological strategies, aiming to mitigate ecosystem pollution, highlighting the importance of the issue in contemporary society.

Keywords: polypropylene; plastic waste; management strategies; pollution mitigation; microbial degradation

INTRODUÇÃO

Os resíduos plásticos se tornaram uma questão cada vez mais premente. Em 2023, o consumo anual de plásticos foi estimado em 490 milhões de toneladas, com previsões indicando que esse número poderá alcançar 765 milhões até 2040 (Yu e Flury, 2024). O uso intenso de plásticos pós-consumo gera toneladas de resíduos, resultando em sérios problemas de poluição ambiental. Os plásticos são polímeros formados por macromoléculas e podem ser de origem natural ou sintética, sendo os mais produzidos o polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), polietileno tereftalato (PET), poliuretano (PUR) e poliestireno (PS), (Wang *et al.*, 2018). O polipropileno (PP) é o segundo tipo de plástico mais produzido no mundo, considerando que apresenta uma combinação favorável de características, baixo custo de produção e excelentes propriedades mecânicas (Ramesh *et al.*, 2020).

Os polímeros são classificados de acordo com sua estrutura química e se dividem em dois grupos: os que possuem uma cadeia principal de carbono-carbono (C-C), e os que possuem átomos distintos na cadeia principal (C-O ou C-N). São categorizados também de acordo com as características de fusão em termoplásticos e termofixos (Taghavi *et al.*, 2021; Ntarelli *et al.*, 2023). O plástico foi uma criação amplamente aceita pela população e pela indústria devido à estabilidade, durabilidade, praticidade e custo, no entanto, o impacto da poluição ambiental, associado aos efeitos adversos em todos os ecossistemas levam a uma preocupação no mundo (Venkatesh *et al.*, 2021). Como principais métodos de gerenciamento de descarte dos resíduos plásticos hoje temos os aterros sanitários, a incineração e a reciclagem (Mishra; Das; Kandali, 2020). Esses métodos são limitados e pouco eficaz, além de causarem impactos ambientais (Sangale; Shahnawaz; Ade, 2019). um novo desafio, a biodegradação das propriedades físico-químicas destes resíduos, esse processo reduziria os efeitos adversos destes plásticos e permitiria, um aumento da qualidade de vida de todos os seres vivos (Ali *et al.*, 2021). A degradação de plásticos é um processo complexo devido a processos químicos, físicos e biológicos, que ocorrem em quatro etapas: biodeterioração, biofragmentação, bioassimilação e mineralização (Mohanam *et al.*, 2020).

Compreender os mecanismos da biodegradação pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para o manejo de resíduos plásticos e na promoção de soluções sustentáveis para a poluição ambiental. Esse estudo tem como objetivo revisar a literatura sobre as ferramentas utilizadas para mitigação da poluição dos ecossistemas, uma temática de crescente importância na sociedade contemporânea, compreender esse fenômeno é crucial para o desenvolvimento de estratégias de intervenção eficazes.

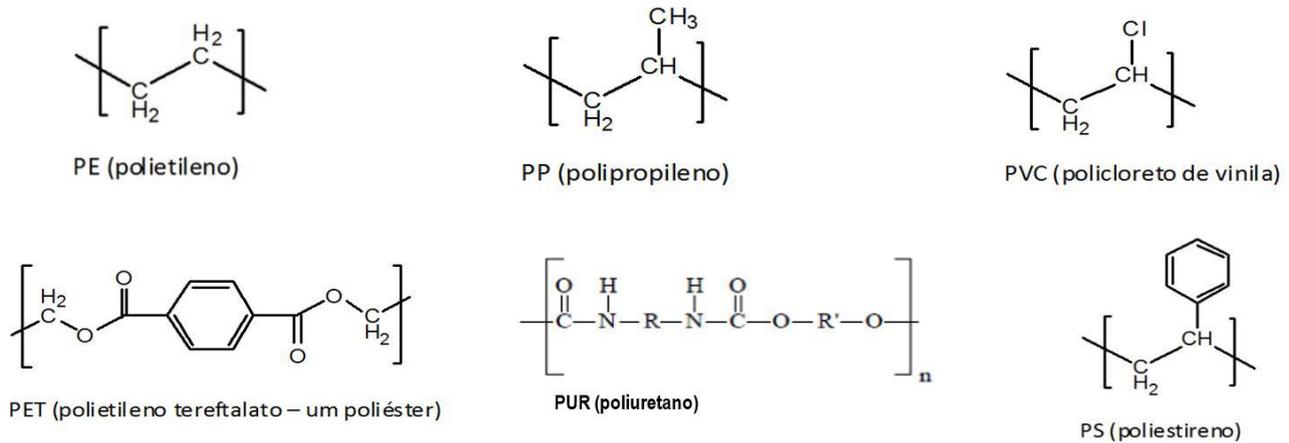
PLÁSTICOS CLASSIFICAÇÃO E PROPRIEDADES

Classificação dos Plásticos

Os plásticos podem ser categorizados de várias maneiras, sendo frequente a classificação segundo sua estrutura química e suas propriedades físicas, sua produção pode ter como base matérias-primas naturais ou sintéticas. Os plásticos de origem natural são obtidos a partir de compostos naturais, como a celulose, óleos vegetais, carboidratos e resíduos alimentares (Ekanayaka *et al.*, 2022). Por outro lado, a maior parte dos plásticos disponíveis no mercado é de origem sintética, produzida a partir de monômeros extraídos do petróleo bruto (Daly *et al.*, 2021; Ekanayaka *et al.*, 2022).

Os plásticos podem ser constituídos por um único tipo de polímero chamado de homopolímero como por exemplo o PE, PP e PVC ou composto por vários tipos de polímeros chamado de copolímero, como exemplo a borracha (Ntarelli *et al.*, 2023). De acordo com sua estrutura química, divide-se em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são os plásticos que podem ser moldados quando aquecidos e, ao serem resfriados, podem ser reestruturados, o que proporciona a possibilidade de reciclagem, temos como exemplo o PE, PP, PVC, PET dentre outros (Taghavi *et al.*, 2021). Já os plásticos termofixos, não permitem reestruturação após o aquecimento, apresentando maior rigidez, não podendo ser reformulados ou reciclados por calor como as resinas epóxi e a resina poliéster (Taghavi *et al.*, 2021). A figura abaixo mostra as estruturas químicas dos principais polímeros sintéticos.

Figura 1 - Estruturas químicas dos principais polímeros sintéticos.



Fonte: Mohanan et al. 2020.

O polipropileno (PP) é o segundo plásticos mais produzido no mundo por proporcionar uma combinação favorável de características, como tenacidade, resistência ao estresse, ao rasgo e à flexão, além de apresentar resistência química, ao calor e à umidade (Guezout *et al.* 2023). O PP é um polímero preparado por catálise a partir do propileno (PE), foi descoberto em 1954 e ganhou forte popularidade muito rapidamente devido à sua densidade mais baixa entre os plásticos comerciais.

A estrutura química geral do PP, pode ser observada figura 1. Denomina-se um termoplástico constituído por unidades de propilenoglicol e é amplamente valorizado em diversas indústrias, por sua versatilidade, podendo ser aquecido, resfriado e reaquecido sem sofrer degradações significativas em sua estrutura original sendo considerado um dos materiais mais promissores pelas características (Ramesh *et al.*, 2020). Devido as suas características, apresenta uma diversidade de aplicações, incluindo embalagens, produtos descartáveis, têxteis, utensílios domésticos e peças automotivas, sendo sua principal vantagem a alta resistência à temperatura, o que o torna adequado para a produção industrial (Mohanan *et al.*, 2020).

A ocorrência de grandes volumes de resíduos plástico, devido ao seu baixo custo e maior demanda, constituiu-se uma problemática em seu tratamento adequado e destinação. Então, surge a necessidade de estratégias para reutilização do polímero, evitando impactos ambientais por conta da disposição inadequada de resíduos sólidos.

Impactos Gerados aos Ecossistemas por Resíduos Plásticos

Com o passar dos anos, a produção e o pós-consumo de plásticos vem sendo uma preocupação mundial por causa dos danos trazidos para o meio ambiente e a saúde do homem. Isso se deve ao fato de que o plástico é produzido a partir de substâncias derivadas do petróleo, tóxicas, capazes de poluir o solo, o ar e, principalmente, a água, essa situação pode resultar no desequilíbrio ecológico, além disso, uma significativa parte do plástico utilizado no cotidiano não é biodegradável, podendo ele permanecer no ambiente por centenas de anos, ocasionando impacto não apenas nos ecossistemas, mas também a saúde e bem-estar do homem (Mishra; Das; Kandali, 2020).

Aproximadamente 90% dos produtos fabricados com plástico são usados apenas uma vez e posteriormente descartados, exemplos desse uso incluem as garrafas plásticas, sacolas de supermercado, copos, canudos, embalagens e máscaras descartáveis (Sánchez, 2020). Grande parte da poluição plástica decorre do consumo excessivo e da gestão inadequada de resíduos tanto em áreas urbanas quanto rurais (Jimenez *et al.*, 2022).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), os produtos descartáveis refletem falhas nos sistemas de gestão de resíduos e evidenciam nossa relação com os ecossistemas naturais (Kumar *et al.*, 2021). Em 2023, o consumo anual de plástico foi estimado em 490 milhões de toneladas, com a projeção de atingir 765 milhões até 2040. O uso intensivo de plásticos após o consumo gerou uma quantidade expressiva desses resíduos, provocando sérios problemas de poluição ambiental, especialmente considerando que a produção global continua a crescer e aponta para uma previsão de mais de 600 milhões de toneladas anuais até 2050. (Yu e Flury, 2024).

Ecossistemas Terrestres

A introdução inadequada de plásticos nos ecossistemas terrestres provoca uma série de impactos negativos em diversos níveis da cadeia alimentar e na saúde do solo. O acúmulo de embalagens plásticas causa impermeabilização, dificultando a infiltração de água e a aeração do solo. Isso não só prejudica a qualidade do solo, mas também pode resultar na diminuição dos lençóis freáticos, afetando a disponibilidade de água para plantas e outros seres vivos (Ren *et al.*, 2020).

Além disso, a presença dos plásticos no meio ambiente representa uma ameaça direta à fauna terrestre, pois animais que se alimentam em áreas contaminadas frequentemente confundem plásticos com alimentos, levando à ingestão acidental. Esse consumo pode resultar em obstruções intestinais, envenenamento e até a morte de milhões de indivíduos de diversas espécies (Shankar *et al.*, 2019). As consequências vão além da redução da biodiversidade, impactando também os ecossistemas como um todo, já que cada espécie desempenha um papel fundamental na manutenção do equilíbrio ecológico. Como a decomposição natural de materiais plásticos demora de várias décadas a centenas de anos, dependendo do tipo de plástico e das condições ambientais particulares se faz necessário acelerar esse processo minimizando os malefícios do acúmulo desse resíduo (Jimenez *et al.*, 2022; Taghavi *et al.*, 2021). A variedade de organismos impactados pela poluição plástica é significativa, uma vez que os plásticos em processo de degradação natural se transformam em microplásticos, sendo ingeridos pelos animais, ocasionando consequências como falsa saciedade, estresse patológico, redução do crescimento e complicações na reprodução (Yuan *et al.*, 2020). Os resíduos plásticos podem impactar drasticamente a dinâmica do solo, entre os possíveis impactos ambientais a longo prazo estão a alteração na ciclagem de nutrientes, mudança no fluxo e armazenagem de carbono, na dinâmica de contaminantes e o funcionamento da microbiota do solo (Zang *et al.*, 2020). Frente a esses efeitos, é fundamental incentivar métodos de manejo sustentável e o avanço de tecnologias que minimizem a poluição por plásticos, além de estimular a sensibilização sobre a relevância da diminuição do uso de plásticos em nosso dia a dia, a proteção da saúde do solo é vital para a sustentabilidade dos ecossistemas e para a segurança alimentar mundial (Khruengsai *et al.*, 2021).

Ecossistemas Aquáticos

Dos ecossistemas afetados pela contaminação por plástico, os sistemas hídricos se destacam por desempenhar um papel central no transporte de detritos plásticos descartados e outros contaminantes rumo aos oceanos, principalmente por estarem em estreita conexão com o ambiente terrestre. De acordo com Morales *et al.* (2021), cerca de 80% dos resíduos plásticos encontrados nos oceanos têm sua origem em atividades terrestres, enquanto os 20% restantes advêm de práticas marítimas, como a pesca e o descarte de embarcações. Os resíduos gerados em terra chegam aos oceanos através do vento, de aterros sanitários inadequados ou de galerias de águas pluviais durante as chuvas.

A presença excessiva de plástico no ambiente marinho é clara e representa uma preocupação global. Em regiões oceânicas onde grandes volumes de resíduos se acumulam devido às correntes, a grande quantidade de plástico presente na água diminui a penetração da luz solar na superfície do mar, comprometendo a fotossíntese das microalgas e a produtividade dos organismos marinhos (Ghatge *et al.*, 2020). Os microplásticos são reconhecidos como os polímeros mais impactantes nos ecossistemas aquáticos, pois sua dimensão reduzida facilita a entrada na cadeia alimentar, resultando em potenciais efeitos adversos na saúde da vida marinha (Bondaroff *et al.*, 2020). Os efeitos negativos dos resíduos plásticos na vida marítima são amplos, influenciando na dinâmica das espécies aquáticas, desde microrganismos até as baleias, principalmente por meio da ingestão (Bahl *et al.*, 2020).

Substâncias químicas e aditivos complementares como octilfenol e nonilfenol, bisfenol A e bisfenol S, são frequentemente incorporados aos polímeros sintéticos para melhorar a qualidade desses produtos, aditivos, compostos análogos à dioxina e metais pesados, podem provocar efeitos adversos na saúde humana e de outros seres vivos, como por exemplo: anomalias reprodutivas, disfunções do sistema endócrino, diabetes e obesidade podem estar associadas à presença de aditivos em plásticos (Temporiti *et al.*, 2022). Além dos efeitos na saúde humana, a poluição por plásticos também gera impactos socioeconômicos muito significativos, provocando desconforto tanto nos ambientes aquáticos como terrestres, tornando-os esteticamente menos atrativos, elevando os custos sociais em função da contaminação e poluição e ainda ocasionam perdas financeiras nos setores de turismo, pesca e transporte marítimo (Kumar *et al.*, 2021).

Manejo dos Resíduos Plásticos

Os principais procedimentos atualmente utilizados para o controle e eliminação de plásticos, tendo em vista sua ampla produção, englobam várias estratégias, como o depósito em aterro sanitário, a incineração e a reciclagem. Além dessas técnicas tradicionais, também existem opções inovadoras, como a fabricação de plásticos biodegradáveis e bioplásticos, bem como a utilização da biodegradação (Jimenez *et al.*, 2022; Mishra; Das; Kandali, 2020).

Aterro Sanitário

Os plásticos e outros detritos sólidos são despejados em uma fossa coberta com camadas robustas de proteção para reduzir a lixiviação no solo e nas águas subterrâneas (Taghavi *et al.*, 2021). Nas nações em desenvolvimento, o aterro continua sendo a estratégia

de eliminação preferida para resíduos plásticos em razão da vantagem de ter um baixo custo o seu gerenciamento (Ali *et al.*, 2021). A permanência dos detritos plásticos nos lixões por longos períodos é atribuída principalmente à escassez de oxigênio, provocando uma situação de anaeróbiose (Mishra; Das; Kandali, 2020). Em razão da ausência de luz e oxigênio, a degradação dos plásticos por meio da foto-oxidação e oxidação térmica é praticamente inexistente, uma vez que a produção de energia é quase nula em comparação com a condição aeróbica (Taghavi *et al.*, 2021). O acúmulo gerado pelo resíduo plástico no meio ambiente também está vinculada à carência de área física disponível para acomodar esse vasto volume de lixo descartado, tornando urgente e essencial o aprimoramento de estratégias complementares com o intuito de cessar essa demanda de produção e consumo.

Incineração

Para equilibrar o problema causado pelo descarte de plásticos em aterros, utiliza-se a técnica de incineração de materiais pós-consumo. Essa abordagem oferece a vantagem de reduzir o volume do material em cerca de 90-95%, porém, por outro lado, resulta em vários danos ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos em geral. Os processos de incineração e combustão liberam substâncias tóxicas e nocivas, incluindo os compostos carcinogênicos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno e estireno) e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), compostos clorados, metais pesados, monóxido e dióxido de carbono, radicais livres, aldeídos, ácidos, cetonas, lactonas, hidrocarbonetos saturados, éteres cíclicos, ésteres cíclicos, alcenos e dienos (Ali *et al.*, Taghavi *et al.*, 2021).

Reciclagem

A reciclagem e o reaproveitamento de plásticos ajudam a reduzir a quantidade de resíduos sólidos nos aterros sanitários e a minimizar a poluição gerada pela incineração. Os dados sobre a reciclagem de plástico no Brasil evidenciam um desafio significativo na gestão de resíduos, tendo a maior parte dos resíduos plásticos depositados em aterros sanitários, lixões, ou até mesmo em ambientes naturais, como vias públicas e corpos hídricos (Queiroz *et al.*, 2022). Essa situação ressalta a importância de implementar políticas públicas mais eficazes e iniciativas de conscientização para promover a redução do uso de plásticos, bem como incentivar a reciclagem e a economia circular (Queiroz *et al.*, 2022).

A cada ano, milhões de toneladas de plásticos são descartadas, e a baixa taxa de reaproveitamento demonstra a necessidade urgente de estratégias mais eficazes para a gestão do ciclo de vida desses materiais. Algumas das principais maneiras de promover o reprocessamento dos plásticos incluem promover campanhas educativas sobre a importância da reciclagem e do descarte correto de plásticos pode incentivar mais pessoas a participarem ativamente do processo; investir em centros de coleta e reciclagem para facilitar o encaminhamento de plásticos usados para o reprocessamento; apoiar pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias que possam aumentar a eficiência da reciclagem e permitir a reciclagem de tipos de plásticos que atualmente não são recicláveis; implementar leis e regulamentações que incentivem a reciclagem e a responsabilidade dos produtores em relação ao ciclo de vida dos produtos.

Os plásticos são classificados em sete categorias que permitem identificar o tipo de material e as melhores práticas para descarte e reciclagem, de acordo com os códigos de reciclagem da Society of the Plastics Industry –SPI, como mostra a figura abaixo (Chen *et al.*, 2021). Após a coleta a Reciclagem dos plásticos pode ser classificada utilizando quatro métodos diferentes, são eles: Reciclagem primária: Este método envolve a reciclagem de plásticos em seu estado original, onde o material é reprocessado para criar o mesmo produto ou um produto muito semelhante. O foco é na recuperação e reutilização do plástico sem grandes transformações químicas (Chen *et al.*, 2021). Reciclagem secundária: conhecida como reciclagem mecânica, este processo transforma os plásticos em novos produtos que podem ser significativamente diferentes do original. Isso geralmente envolve a moagem dos plásticos em flocos ou pellets que, em seguida, podem ser moldados em novos itens (Chen *et al.*, 2021). Reciclagem terciária: conhecido como reciclagem química, envolve a quebra química dos plásticos em seus monômeros ou outros produtos químicos. Isso permite a recuperação de materiais que possam ser utilizados para a produção de novos plásticos ou como intermediários químicos em outras indústrias (Chen *et al.*, 2021). Reciclagem quaternária: refere-se à recuperação de energia dos resíduos plásticos que não podem ser reciclados por métodos anteriores. Os plásticos são incinerados para gerar energia, embora esta abordagem levante preocupações ambientais, como emissões de gases de efeito estufa e compostos carcinogênicos, ocasionando grande impacto a saúde pública. Esse método de reciclagem visa maximizar a recuperação de recursos, minimizar o desperdício e reduzir o impacto ambiental associado aos resíduos plásticos, promovendo uma economia circular mais eficiente (Chen *et al.*, 2021). O reprocessamento de plásticos, além de ser uma prática essencial para a redução da poluição e da extração de recursos naturais, também pode gerar novas oportunidades econômicas esse contexto também indica a necessidade de investimentos em infraestrutura de coleta e reciclagem, além de fomentar a educação ambiental, para que a população compreenda a importância da correta destinação de resíduos. A colaboração entre governo, empresas e sociedade civil é fundamental para minimizar os impactos ambientais associados ao plástico.

Figura 2 - Códigos utilizados para identificar os tipos de plástico.

						
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	OUTROS
Polietileno Tereftalato	Polietileno de Alta Densidade	Policloreto de Vinila	Polietileno de Baixa Densidade	Polipropileno	Poliestireno	Outros

Fonte: Associação Brasileira da Indústria do Plástico – ABIPLAST.

Tecnologias Inovadoras para a Biodegradação de Plástico

Plásticos Biodegradáveis e Bioplásticos

Plásticos Biodegradáveis

A substituição dos plásticos sintéticos por plásticos biodegradáveis e bioplásticos pode de fato contribuir para a redução do impacto negativo causado pelo acúmulo de plásticos nos ecossistemas (Bacha *et al.*, 2023). Os plásticos biodegradáveis são projetados para se decompor mais rapidamente em condições específicas, o que pode levar a uma diminuição da poluição ambiental se forem corretamente geridos (Alshehrei, 2017). Além disso, o desenvolvimento de bioplásticos, que são originados de fontes renováveis, pode ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir a eliminação de carbono, associada à produção de plásticos sintéticos. Os plásticos biodegradáveis representam uma alternativa viável aos plásticos convencionais derivados do petróleo, proporcionando benefícios ambientais ao promover a degradação em ambientes naturais (Bahl *et al.*, 2020). A utilização de biomassa, como o amido, na fabricação de sacolas plásticas biodegradáveis é uma abordagem promissora, uma vez que esses materiais tendem a se decompor mais rapidamente em comparação aos plásticos tradicionais (Bahl *et al.*, 2020). Além do amido outras fontes podem ser agregadas na produção de bioplásticos, como milho, trigo, proteínas de soja, proteínas do leite, esses aditivos incorporados tanto facilitam a biodegradabilidade como também podem aumentar a suscetibilidade à degradação por microrganismos, o que é um fator importante no ciclo de vida do produto. Além disso, a exposição à radiação UV pode acelerar o processo de degradação, reduzindo o tempo em que esses materiais permanecem no meio ambiente (Chia *et al.*, 2020).

Entretanto, é importante considerar que a biodegradabilidade dos plásticos ainda não é uma solução definitiva, pois ainda se faz necessário condições adequadas para se degradarem de maneira eficiente, e sua produção pode sofrer impactos ambientais, como o uso de recursos hídricos e a alteração do uso do solo (Mishra; Das; Kandali, 2020). Portanto, a gestão de resíduos deve ser abordada de forma integrada, considerando não apenas a escolha de materiais, mas também a redução do consumo, o aumento da reciclagem e a implementação de políticas de gestão sustentável.

A transição dos plásticos tradicionais para plásticos biodegradáveis é realmente um desafio complexo. As estruturas dos plásticos biodegradáveis, embora projetadas para se decompor de forma mais eficiente no meio ambiente, muitas vezes apresentam dificuldades em atender às exigências de desempenho e custo em comparação com os plásticos convencionais (Ekanayaka *et al.*, 2022). Além disso, o conhecimento sobre como otimizar as condições de degradação, como temperatura, umidade e composição microbiológica, ainda está em desenvolvimento. A variedade de técnicas empregadas na gestão de resíduos plásticos demonstra a busca da humanidade por soluções que visem mitigar os efeitos negativos causados pelo acúmulo desses polímeros. Nesse cenário, a biodegradação emergiu como uma alternativa de gestão voltada para atender a essa necessidade, buscando superar as limitações e os impactos sociais, econômicos e ambientais das abordagens convencionais.

Diante do grande consumo, a poluição por plásticos tornou-se um problema que desperta uma preocupação mundial, sendo tema de discussão em alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável- ODS, apresentados na agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas, como é caso da ODS 14 e 15, que são responsáveis por proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas e deter a degradação da terra e a perda da biodiversidade (ODS, 2024).

Bioplásticos

Considerando a evolução e conscientização dos problemas ambientais causados pela grande quantidade de plásticos descartados no ambiente, hoje em dia existem muitos produtos disponíveis no comércio, como garrafas e embalagens, todos feitos de plásticos biodegradáveis, destacando-se os seguintes produtos: poli(ácido láctico) (PLA), poli(ε-caprolactona) (PCL), poli(butileno succinato) (PBS) ou poli(butileno succinato-co-butileno adipato) (PBSA) e Poli 3 hidroxibutirato-co 3-hidroxivalerato (PHBV), como apresentado na Tabela 1. Os plásticos divididos em biodegradáveis e petroquímicos, segundo Song *et al.* (2009). Portanto, os plásticos biodegradáveis como apresentado na tabela 1, apresentam base biológica. Esses produtos caracterizados como bioplásticos podem ser degradados de forma ecológica por micro-organismos, resultando na fragmentação do material através do potencial enzimático dos micro-organismos, possibilitando uma fácil clivagem das ligações químicas (Pathak e Navneet 2017).

Tabela 1 - Tipos de bioplásticos que podem ser degradados por bactérias de origem marinha.

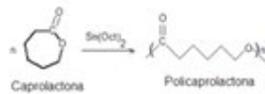
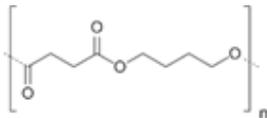
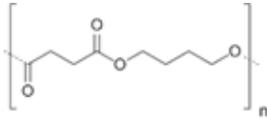
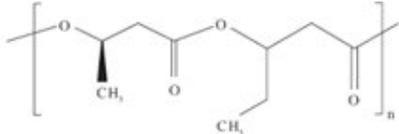
PLÁSTICO BIODEGRADÁVEL	SIGLA	ESTRUTURA QUÍMICA
Poli (ácido láctico)	PLA	
Poli(ε-caprolactona)	PCL	
Poli(butileno succinato)	PBS	
Poli(butileno succinato-co-butileno adipato)	PBSA	
Poli 3 hidroxibutirato-co 3-hidroxivalerato	PHBV	

Figura 1. Estrutura do poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV).

Fonte: descritos por Urbanek *et al.* 2018.

Biodegradação

A biodegradação de plástico é um método que implica em alterações nas características do polímero, acompanhadas por uma diminuição de funcionalidade em virtude de processos químicos, físicos e biológicos que resulta na fragmentação das ligações das cadeias poliméricas, sendo restrita e dependendo das propriedades do plástico, além de elementos bióticos e abióticos (Oliveira *et al.*, 2023). A biodegradação de plástico envolve a utilização de microrganismos ou as substâncias liberadas por eles no processo de decomposição desse material (Zhang *et al.*, 2022). A biodegradação é um processo natural em que micro-organismos, como bactérias e fungos, decompõem materiais orgânicos e em alguns casos, plásticos biodegradáveis. Essa abordagem representa uma alternativa promissora para minimizar os problemas associados ao acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente, uma vez que, ao se degradarem, esses materiais não permaneceram mais na natureza. A degradação de plástico é uma alteração física ou química que ocorre como resultado de fatores abióticos (luz, calor, umidade e condições químicas) e de fatores bióticos (atividade biológica), (Tokiwa *et al.*, 2009). A degradação abiótica é um fenômeno importante a ser considerado, têm características específicas e podem causar diferentes impactos nos ecossistemas, eles se dividem em quatro subtipos:

- Fotodegradação: Esse processo ocorre quando a luz solar, principalmente os raios ultravioletas, interage com materiais, levando à quebra de ligações químicas, é comum em poluentes orgânicos e plásticos, e pode resultar na formação de subprodutos tóxicos;
- Degradação térmica: Acontece na presença de calor podendo acelerar reações químicas e a degradação de materiais, levando à decomposição térmica. Esse tipo de degradação é relevante em processos industriais e durante a exibição de produtos ao sol ou em altas temperaturas;
- Degradação mecânica: É resultado da ação de forças físicas que podem provocar fratura, desgaste ou fragmentação de materiais;
- Degradação química: É um processo que altera a estrutura química dos compostos, como a hidrólise, onde a água divide as moléculas, e a oxidação, que envolve a reação com oxigênio. Esses processos podem levar à formação de compostos diferentes, com alta toxicidade (Oliveira *et al.*, 2023).

A degradação biótica, ou também chamada de biodegradação ocorre em diferentes etapas, pela ação de microrganismos que produzem enzimas capazes de quebrar as ligações químicas dos polímeros. Esses microrganismos incluem bactérias, fungos e outros microorganismos que se alimentam de materiais orgânicos, contribuindo para a degradação e transformação dos mesmos. É importante destacar que a taxa de biodegradação pode ser influenciada por diversos fatores, como temperatura, umidade, pH e a presença de nutrientes. Materiais plásticos convencionais, como o polipropileno, podem levar centenas de anos para se degradar, enquanto plásticos biodegradáveis, projetados especificamente para se decompor mais rapidamente, podem ter uma biodegradação muito mais eficiente em condições adequadas (Oliveira *et al.*, 2023; Yasin; Akkermans; Van Impe, 2022).

As etapas do ciclo de biodegradação do plástico são:

- **Biodeterioração:** Onde os microrganismos colonizam a superfície do plástico, iniciando a degradação química do material, essa etapa pode envolver a produção de enzimas extracelulares que começam a quebrar as ligações químicas do polímero;
- **Biofragmentação:** Quando ocorre a fragmentação do plástico em partes menores, facilitando a ação de microrganismos. Esse processo resulta em fragmentos que ainda podem ser plásticos, mas que são mais acessíveis para a próxima etapa do processo;
- **Bioassimilação:** Onde os pequenos fragmentos de plástico são assimilados pelos microrganismos, que os utilizam como fonte de carbono e energia. Durante essa etapa, os compostos plásticos são convertidos em biomassa e outros produtos intermediários;
- **Mineralização:** Essa etapa envolve a conversão dos produtos intermediários em substâncias inorgânicas, como dióxido de carbono e água. A mineralização é o processo final, onde os materiais orgânicos resultantes da biodegradação são completamente transformados em suas formas minerais. Todas essas etapas variam conforme o tipo de plástico, as condições ambientais e a presença de microrganismos específicos, e a eficiência de cada fase pode influenciar a taxa total de biodegradação do plástico (Mohanani *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023).

A biodegradação pode ocorrer em duas vias, na presença ou ausência de oxigênio e denomina-se de degradação aeróbica e degradação anaeróbica. Os microrganismos como bactérias e fungos, utilizam oxigênio para decompor materiais orgânicos, resultando na produção de dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e biomassa. O processo é relativamente rápido e eficiente, liberando energia que os microrganismos utilizam para seu crescimento e reprodução, acontece na natureza, em ambientes expostos ao ar, como praias e florestas, nesse processo a presença de oxigênio facilita a ação dos microrganismos que podem contribuir para a quebra dos polímeros (La Fuente *et al.*, 2022). Na biodegradação anaeróbica, que ocorre na ausência de oxigênio, a decomposição dos materiais orgânicos resulta principalmente na produção de metano (CH₄), além de CO₂, água e biomassa, esse processo é mais lento e geralmente ocorre em ambientes como aterros sanitários, digestores anaeróbicos ou ambientes aquáticos que são locais onde o oxigênio é limitado, nesses ambientes, a degradação é bastante lenta e pode levar centenas de anos, com a formação de metano e outros compostos durante o processo sem oxigênio suficiente. O metano produzido pode ser utilizado como uma fonte de energia renovável, enquanto o CO₂, embora seja um gás de efeito estufa, é gerado em menor escala do que na biodegradação aeróbica. Os plásticos dependendo do tipo e das condições ambientais, possuem formas diferentes de sofrer a biodegradação (Alshehrei, 2017).

Micro-Organismos Biodegradadores de Plásticos de Origem Petroquímica

A biodegradação por micro-organismos é descrita por muitas espécies de bactérias Gram positivas e Gram negativas e fungos capazes de promover a biodegradação de plásticos com base de origem o petróleo (Song *et al.*, 2009) e podem ser encontrados nos mais diversos ambientes como no ar, na água e no solo, desempenhando um papel fundamental na secreção de enzimas que podem degradar até mesmo moléculas poliméricas complexas. Entre as enzimas envolvidas, destacam-se as lipases, esterases, proteinases, lactases, fosfatases, amilases, ligninases e celulases, conhecidas também como despolimerases, em virtude de sua habilidade de despolimerização ao atuarem sobre materiais poliméricos, sendo essas enzimas já isoladas de várias espécies de bactérias e fungos (Sun, 2025). Muitos pesquisadores identificaram várias micro-organismos, como bactérias (tabela 2) e fungos filamentosos (tabela 3) que realizam a biodegradação de polímeros.

Tabela 2 - Bactérias descritas na literatura como degradadoras de plásticos derivados do petróleo.

BACTÉRIAS	TIPOS DE PLÁSTICO	REFERÊNCIAS
<i>Pseudomonas lemoignei</i> <i>Alcaligenes faecalis</i>	PE, PP PE	Spyros <i>et al.</i> 1997
<i>Pseudoalteromonas haloplanktis</i> <i>Acinetobacter johnsonii</i> <i>Flavobacterium johnsoniae</i> <i>Vibrio ordalii</i> <i>Zooglea ramigera</i>	PE, PP PE, PS PE PE, PS PE, PP	Leathers <i>et al.</i> 2000
<i>Acidovorax facilis</i> <i>Alcaligenes eutrophus</i>	PE PS, PHB	Akmal <i>et al.</i> 2003 Fuzari Jr, 2008

Fonte: autoria própria.

Tabela 3 - Fungos filamentosos degradadores de plásticos derivados do petróleo.

FUNGOS	TIPOS DE PLÁSTICO	REFERÊNCIAS
<i>Aspergillus versicolor</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Chaetomium sp</i>	PS PS, PET PS, PVC	Premraj; Doble, 2004
<i>Irpex lacteus</i> <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	PU, PET	Sasek <i>et al.</i> 2006
<i>Trichoderma sp</i> <i>Fusarium sp</i>	PET PS	Bardi; Rosa, 2007
<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus terreus</i> <i>Paecilomyces variotii</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium cyclopium</i>	PS, PE PS, PET PET PU, PS PU PU	Vinhas <i>et al.</i> 2007 Alshehrei, 2017; Alshehrei, 2017; Deepika and Jaya,2015 Deepika and Jaya,2015 Deepika and Jaya,2015

Fonte: autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os plásticos estão profundamente integrados ao cotidiano da sociedade e devido ao seu elevado potencial poluidor nos descartes de maneira insegura e em locais não apropriada. Como uma alternativa sustentável a biodegradação microbiana vem demonstrando ser

uma solução para o futuro, considerando o potencial enzimático promissor na catálise de resíduos plásticos. Os plásticos como derivados do petróleo, são responsáveis pela poluição dos ecossistemas possibilitando, conseqüentemente, influência nas mudanças climáticas. Portanto, a biotecnologia pode ser utilizada para projetar e otimizar o potencial natural microbiano, oferecendo uma abordagem sustentável e minimização dos danos causados aos ecossistemas pelo uso e descarte incorreto do plástico. A adoção de novas tecnologias são estratégias fundamentais para reduzir significativamente o impacto do lixo plástico no meio ambiente, contribuindo para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALI SS, ELSAMAHY T, AL-TOHAMY R, ZHU D, MAHMOUD YA, KOUTRA E, METWALLY MA, KORNAROS M, SUN J. **Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects**. Science of the Total Environment, v.1,p.780, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146590
- ALSHEHREI, F. **Biodegradation of Synthetic and Natural Plastic by Microorganisms**. Journal of Applied & Environmental Microbiology, v. 5, n. 1, p. 8–19, 2017.DOI: 10.12691/jaem-5-1-2
- BACHA, A. U. R. *et al.* **Biodegradation of macro- and micro-plastics in the environment: A review on mechanism, toxicity, and future perspectives**. Science of the Total Environment, Elsevier B.v.1 p.858, 2023 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160108.
- BAHL, S. *et al.* **Biodegradation of plastics: A state of the art review**. Materials Today: Proceedings, Science of the Total Environment, Elsevier B.V.v. 39, n.1 p. 31-34, 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.06.096.
- CHEN, H. *et al.* **Waste to Wealth: Chemical Recycling and Chemical Upcycling of Waste Plastics for a Great Future**. ChemSusChem John Wiley and Sons Inc, v.14 ed. 19, p. 3975-4348, 2021. DOI: 10.1002/cssc.202100652
- CHIA, W. Y. *et al.* **Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production**. Environmental Science and Ecotechnology Elsevier B.v.4, p. 2666-4984, 2020 DOI: org/10.1016/j.es.2020.100065
- DALY, P. *et al.* **From lignocellulose to plastics: Knowledge transfer on the degradation approaches by fungi**. Biotechnology Advances. Environmental Science and Ecotechnology Elsevier B.v 50, 2021. DOI:org/10.1016/j.biotechadv.2021.107770.
- EKANAYAKA AH, TIBPROMMA S, DAI D, XU R, SUWANNARACH N, STEPHENSON SL, DAO C, KARUNARATHNA SC. **A Review of the Fungi That Degrade Plastic**. J Fungi (Basel). v. 25; n.1 p. 772, 2022. DOI: 10.3390/jof8080772.
- GHATGE, S., YANG, Y., AHN, JH. *et al.* **Biodegradação de polietileno: uma breve revisão**. Appl Biol Chem v. 63 , n. 1 p. 27, 2020. DOI:org/10.1186/s13765-020-00511-3
- GUEZZOUT, Z., B. A, H. N. **Enhancing thermal and mechanical properties of polypropylene-nitrile butadiene rubber nanocomposites through graphene oxide functionalization**. J Polym. v. 30, n. 6, p.1–16, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146590.

KHRUENGSAI, S.; SRIPAHCO, T.; PRIPDEEVECH, P. **Low-density polyethylene film biodegradation potential by fungal species from thailand.** Journal of Fungi, v. 7, n. 8, p. 594, 2021. DOI:org/10.3390/jof7080594

KUMAR, R. *et al.* **Impacts of plastic pollution on ecosystem services, sustainable development goals, and need to focus on circular economy and policy interventions.** Sustainability (Switzerland), v. 13, n 17, 2021. DOI: org/10.3390/su13179963

KUMAR, S. *et al.* **MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms.** Molecular Biology and Evolution, v. 35, n. 6, p. 1547–1549, 2018. DOI: 10.1093/molbev/msy096.

LA FUENTE, C. I. A.; MANIGLIA, B. C.; TADINI, C. C. **Biodegradable polymers: A review about biodegradation and its implications and applications.** Packaging Technology and Science John Wiley and Sons Ltd. , 1 fev. 2023.

LAFUENTE, C. I. A; MANIGLIA, BIANCA C.; TADINI, CARMEN C. **Biodegradable polymers: a review about biodegradation and its implications and applications.** Packaging Technology And Science, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 81-95, 2022. DOI:org/10.1002/pts.2699.

MISHRA, U. N.; DAS, S.; KANDALI, R. **Bioremediation of Synthetic Polymers: Present and Future Prospects of Plastic Biodegradation.** International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, v. 9, n. 12, p. 1234–1247, 2020. DOI:10.20546/ijcmas.2020.912.152

MOHANAN, N. *et al.* **Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics.** Frontiers in Microbiology, Frontiers Media S.A., v. 26 n. 11, 2020. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580709.

MORALES-CASELLES, C., VIEJO, J., MARTÍ, E. *et al.* **An in shore–offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter.** Nat Sustain v.4, n.1, p.484–493, 2021. DOI: 10.1038/s41893-021-00720-8.

NATARELLI, C. V. L. *et al.* Introdução aos Materiais Poliméricos. In: **Nanotecnologia aplicada a polímeros.** v1 p. 49-90, 2023. DOI: 10.5151/9786555502527-02.

OLIVEIRA A. M, PATRÍCIO S. A.L, SOARES A. M. V. M., *et al.*, **Current knowledge on the presence, biodegradation, and toxicity of discarded face masks in the environment.** Journal Environment Chemistry, 2023 v.11, n.2, DOI:: 10.1016/j.jece.2023.109308.

PATHAK V.M., Navnett. **Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach.** Bioresource Bioprocess v. 4, p.15, 2017. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0145-9

RAMESH, P; VINODH, S. **State of art review on Life Cycle Assessment of polymers.** International Journal Sustainable Engineering, v. 13, n. 6, p. 411-422, 2020. DOI: 10.1080/19397038.2020.1802623

REN X, TANG J., LIU X., LIU Q. **Effects of microplastics on greenhouse gas emissions and the microbial community in fertilized soil.** Environ Pollut. v.1 p. 256, 2020. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113347.

SÁNCHEZ, C. **Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: An overview of macro- and microplastics biodegradation.** Biotechnology Advances, Elsevier. V.40,n.1, 2020. DOI: org/10.1016/j.biotechadv.2019.107501.

- SANGALE, M. K.; et. al., **Potential of fungi isolated from the dumping sites mangrove rhizosphere soil to degrade polythene**. Scientific Reports, v. 9, n. 1, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-41448-y
- SHANKAR, S., SINGH, S., MISHRA, A., SHARMA, M., SHIKHA. **Microbial Degradation of Polyethylene: Recent Progress and Challenges**. Springer. v.10 p. 245–262, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-7462-3_12
- SONG, J.H., MURPHY, R.J., NARAYAN, R., DAVIES, G.B.H. **Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics**. Phi Trans R Soc B, v.364, p.2127–2139, 2009.
- SUN, S. **Enzyme-Embedded Biodegradable Plastic for Sustainable Applications: Advances, Challenges, and Perspectives**. ACS Appl. Bio Mater. 2025, XXXX, XXX, XXX-X <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c01628>
- TAGHAVI N, UDUGAMA IA, ZHUANG WQ, BAROUTIAN S. **Challenges in biodegradation of non-degradable thermoplastic waste: From environmental impact to operational readiness**. Biotechnol Advances. V. 49, n. 1, DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107731.
- TEMPORITI, M. *et al.* **Fungal Enzymes Involved in Plastics Biodegradation**. Microorganisms, v.10, n.6, p. 180, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10061180
- TOKIWA, YUTAKA *et al.* **Biodegradability of plastics**. International journal of molecular sciences, v. 10, n. 9, p. 3722-3742, 2009. DOI: 10.3390/ijms10093722
- URBANEK, A.K., RYMOWICZ, W., MIROŃCZUK, A.M. **Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats**. Applied Microbiology and Biotechnology, v.102, p.7669–7678, 2018. DOI:10.1007/s00253-018-9195-y
- VENKATESH, S. *et al.* **Microbial degradation of plastics: Sustainable approach to tackling environmental threats facing big cities of the future**. Journal of King Saud University - Science, Elsevier B.V., v.33, n. 3, 2021. DOI: 10.1016/j.jksus.2021.101362.
- WANG XS, LI L, YUAN DQ, HUANG YB, CAO R. FAST. **Highly selective and sensitive anionic metal-organic framework with nitrogen-rich sites fluorescent chemosensor for nitro explosives detection**. J Hazard Mater, v. 344, p. 283-290, 2018 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.027.
- YASIN, N. *et al.* **Enhancing the biodegradation of (bio)plastic through pretreatments: A critical review**. Waste Management Elsevier Ltd, v.150, n. 2, p. 1-12, 2022. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.06.004
- YUAN, J. *et al.* **Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics**. Science of the Total Environment, v. 715, n.1, 2020. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.136968
- ZHANG, J. *et al.* **Biodegradação de partículas microplásticas de polietileno pelo fungo Aspergillus flavus proveniente dos intestinos da traça Galleria mellonella**. Science of The Total Environment, v. 704, n. 2, p. 135-231, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135931.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Bolsa da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) Processo nº IBPG 2215-3.06/22 de V.B.; ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Processo nº 312241/2022-4 G.M.C.T, a Universidade Católica de Pernambuco pela disponibilização dos laboratoriais do CEMACBIOS-UNICAP e a Universidade de Pernambuco- UPE, pelo incentivo à pesquisa e por disponibilizar a servidora Virginia Batista para a realização do Mestrado.

Manejo de Dejetos de Aves: Revisão de Literatura

Management of Poultry Waste: A Literature Review

Lisa Marie Paiva Leão

Jean Lucas de Arruda Almeida

Thamara Vieira dos Santos Alvarenga

Alana Camargo Poncio

RESUMO

O presente trabalho analisa o impacto ambiental gerado pela avicultura, e propõe a biodigestão anaeróbica e a compostagem como solução para o manejo adequado de resíduos sólidos. Esses resíduos, quando não tratados, apresentam elevado potencial poluente, podendo comprometer a qualidade do solo, do ar e da água, além de causar problemas à saúde humana e animal. A biodigestão anaeróbica transforma a matéria orgânica em biogás e biofertilizante, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e fornecendo alternativas sustentáveis de energia e nutrientes para o setor agrícola. A gestão eficiente dos dejetos exige planejamento e adoção de tecnologias apropriadas, além de políticas públicas que integrem produtores e setores de pesquisa e extensão. A implementação de biodigestores em propriedades rurais é destacada como uma prática viável tanto ambiental quanto economicamente, uma vez que promove a reciclagem de resíduos e minimiza os impactos negativos da avicultura sobre o meio ambiente. Contudo, também há alertas para os riscos do uso inadequado de resíduos como fertilizantes sem tratamento prévio, que pode aumentar a poluição e comprometer os recursos naturais. Ao final, a biodigestão anaeróbica é uma alternativa indispensável para o manejo de resíduos na avicultura, contribuindo para a sustentabilidade e a conservação ambiental, além de melhorar a qualidade de vida das comunidades envolvidas.

Palavras-chave: manejo; aves; ambiente; dejetos.

ABSTRACT

This paper analyzes the environmental impact generated by poultry farming and proposes anaerobic biodigestion and composting as a solution for the proper management of solid waste. This waste, when left untreated, has a high polluting potential and can compromise soil, air and water quality, as well as causing problems for human and animal health. Anaerobic biodigestion transforms organic matter into biogas and biofertilizer, redu-



cing greenhouse gas emissions and providing sustainable energy and nutrient alternatives for the agricultural sector. Efficient waste management requires planning and the adoption of appropriate technologies, as well as public policies that integrate producers and the research and extension sectors. The implementation of biodigesters on farms is highlighted as a viable practice both environmentally and economically, since it promotes the recycling of waste and minimizes the negative impacts of poultry farming on the environment. However, there are also warnings about the risks of inappropriate use of waste as fertilizer without prior treatment, which can increase pollution and compromise natural resources. In the end, anaerobic biodigestion is an indispensable alternative for managing poultry waste, contributing to sustainability and environmental conservation, as well as improving the quality of life of the communities involved.

Keywords: management; birds; environment; waste.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção animal no Brasil atualmente são responsáveis com diversas questões no que concerne a criação destes animais, sendo uma delas, a atenção com os resíduos gerados e seus impactos ambientais. Nesse sentido, o reaproveitamento ou o tratamento dos dejetos produzidos, são considerados alternativas favoráveis à sustentabilidade, desenvolvendo cada vez mais possibilidades que não prejudiquem o meio ambiente e não promovam a contaminação.

A avicultura consiste no processo de criação de aves contribuindo de forma significativa no setor de alimentos e na economia do país. O tipo de desenvolvimento pode ser dividido em criação de aves poedeiras destinadas para produção de ovos, e a criação de aves de corte, que são atribuídas para o abate e visam o fornecimento de carne para a indústria de alimentos (De Albuquerque Matos, 2020). Segundo a Secretaria de Comércio e Relações Internacionais, o Brasil é o maior exportador e terceiro maior produtor de carne de frango, estimando-se mais de US\$ 9,61 bilhões exportados (MAPA, 2024).

A partir deste contexto, esta atividade é de grande importância para o agronegócio brasileiro, com cenário promissor. A estimativa da produção de carne de frango foi de 16 milhões de toneladas (CONAB, 2024), e a produção de ovos possui projeções de 4,5 bilhões de dúzias até o fim do ano (Brasil, 2024). Entretanto, quanto maior o desenvolvimento da indústria avícola, há também o crescimento na produção dos dejetos. Tais substratos podem ser provenientes tanto do abate quanto da produção das aves de postura, destacando-se como penas, sangue, vísceras, camas, quantidade de matéria seca produzidas, casca de ovo, entre outros (De Albuquerque Matos, 2020).

Outros tipos de resíduos podem se destacar como lixo urbano, envolvendo os substratos de construções, demolições e domicílios, e até mesmo vegetações utilizadas como restos de culturas (Da Costa, 2009). A destinação inadequada desses produtos cresce a cada ano, como por exemplo, no ano de 2023, o país contabilizou 33,3 milhões de toneladas de resíduos descartados incorretamente, tornando-se uma ameaça para o meio ambiente (ABREMA, 2023). Portanto, o tratamento destes efluentes e o manejo adequado são necessários para um maior aproveitamento ecológico.

A produção de ovos e de carne de frango estão avançando progressivamente com uso de tecnologia nos sistemas, produzindo aves mais desenvolvidas que têm como objetivo atender a demanda do mercado. Conseqüentemente, a avicultura no geral também gera empregos e movimentação a economia do país, dependendo de um manejo especializado. A partir deste contexto, é possível afirmar que a produção de dejetos também se torna maior, e por isso, faz-se necessário estratégias que tornem as atividades pecuárias cada vez mais sustentáveis (De Albuquerque Matos, 2009).

Dentre as alternativas para o tratamento dos dejetos de aves encontram-se a produção de fertilizantes e a utilização destes resíduos como fonte de energia alternativa através de biodigestores (Lemos, 2012). No sistema de produção de aves de corte, a cama é considerada o principal substrato e pode ser utilizada na fabricação de grãos e em pastagens. Este resíduo também possuía finalidades na alimentação de ruminantes, mas depois de ocorrer alguns casos de distúrbios desencadeados, e até mesmo morte, o reaproveitamento com este objetivo acabou sendo proibido posteriormente (Da Costa, 2009). Já nas aves poedeiras, o manejo destes dejetos precisa ser feito diariamente ou a cada dois dias, para que a reutilização dos nutrientes seja feita adequadamente (Augusto, 2011).

O objetivo desta revisão é abordar os possíveis destinos e o manejo correto dos resíduos produzidos pelos sistemas de produção avícola, para que promova a redução dos impactos ambientais e o melhor reaproveitamento destes substratos nas atividades agropecuárias.

REVISÃO DE LITERATURA

Principais Resíduos Produzidos na Avicultura com Potencial de Reaproveitamento

Diversos dejetos são gerados nos sistemas de produção avícola, destacando-se camas, cascas de ovo, vísceras, cabeças, pés, pena, gordura. No sentido de uma alternativa sustentável podem ser convertidos em colágeno, queratina, substâncias químicas que são capazes de participar da suplementação tanto de indivíduos quanto de animais, e a produção de biodiesel (De Albuquerque Matos, 2009). Muitas vezes esses dejetos acabam sendo descartados pela falta de conhecimento sobre técnicas específicas de compostagem e biodigestão anaeróbia, que são processos que vão promover este reaproveitamento.

Reaproveitamento de Colágeno

O colágeno é uma proteína essencial na constituição do tecido conjuntivo, mas também se destaca como um importante componente nas indústrias de cosméticos, farmacêuticas, alimentícia e médicas pois as propriedades deste material conferem uma série de aplicações como a produção de gelatina, presente em molhos e sorvetes (Cao *et al.*, 2020), a criação de curativos na medicina, podendo ser usado até mesmo como aglutinante com propósitos farmacêuticos (Oechsle *et al.*, 2016). Na cadeia de dejetos produzidos pela avicultura, o colágeno pode ser encontrado principalmente nos pés, nos ossos, na pele e nas cartilagens (Zhou *et al.*, 2016), sendo também provenientes de bovinos e suínos.

Uma especificidade deste material é promover o aumento da ligação dos açúcares com as proteínas de acordo com a idade, ou seja, o colágeno torna-se mais rígido com o tempo (Akram; Zhang, 2020). Por este motivo, para que haja um maior reaproveitamento desta proteína é recomendado a extração no menor período possível. A partir deste contexto, a avicultura possui uma maior retirada de colágeno flexível e viável para reutilização quando comparada com a bovinocultura, pois as aves podem ser abatidas entre 6 a 7 semanas de vida, cenário que não ocorre com os bovinos, sendo estes abatidos entre 18 e 36 meses (Oechsle *et al.*, 2016).

Os métodos que podem ser adotados para a extração de colágeno são caracterizados pela junção de procedimentos químicos com a inclusão de enzimas, e possuem como objetivo não comprometer a estrutura que compõe o material, para que consiga se extrair grande parte sem maiores danos (Zhou *et al.*, 2016).

Deste modo, o colágeno pode ser reaproveitado através do tratamento destes dejetos na avicultura, transformando-se em outros materiais de importância humana e animal, provocando menores impactos ambientais.

Reaproveitamento de Queratina

A queratina é uma molécula que está presente em cascos, unhas, cabelos, pelos, penas, bicos, nem sempre são reutilizadas na produção de aves, podendo causar danos ambientais significativos (De Albuquerque Matos, 2009). As penas que se desprendem nas aves de corte e de postura geram resíduos significativos, e possuem 90% de queratina. Esta origem abundante e rica confere um maior potencial de extração para que haja uma reutilização sustentável com menos custos (Fagbemi; Sithole; Tesfaye, 2020).

A reutilização das penas de aves que serão convertidas em queratina, na maioria das vezes são destinadas para a indústria de cosméticos, afim de produzir fortificantes capilares (Baus *et al.*, 2020). Mas também possuem aplicações na indústria têxtil, na fabricação de biomateriais, biofilme, nano partículas e micro partículas (De Albuquerque Matos, 2009).

A metodologia empregada para retirada desta molécula possui como objetivo a desestruturação da proteína que compõe a queratina, com a atuação de técnicas químicas como oxidação, hidrólise redutiva, alcalina, entre outras (Fagbemi; Sithole; Tesfaye, 2020). Entretanto, a utilização destas práticas para extração da queratina pode provocar resíduos químicos e tóxicos necessitando de muita energia produzida, caracterizando-se como métodos pouco sustentáveis. Por este motivo, outras alternativas como a aplicação de enzimas tornam-se mais promissoras, causando um menor comprometimento da molécula e sendo uma alternativa mais viável no que concerne a práticas favoráveis ao meio ambiente (Pourjavaheri *et al.*, 2019).

Reaproveitamento de Casca de Ovos

As galinhas são responsáveis por 92% da fabricação de ovos no mundo todo, estimando-se um aumento de 40% na demanda até o ano de 2050 (FAO, 2020a). Esta grande produção e o aumento do consumo ocorre pelo o fato dos ovos se caracterizarem

essenciais proteínas na alimentação da população (Shi *et al.*, 2020; Pajurek *et al.*, 2019). Os resíduos que envolvem a produção de ovos podem ser cascas vazias, cascas descartadas após o consumo, ovos inférteis, embriões que não se desenvolveram, entre outros (Kanani *et al.*, 2020).

A casca de ovo pode ser reutilizada na suplementação animal e humana, devido ao elevado valor nutricional proporcionado, baixo custo, fácil acessibilidade e também em virtude de suas propriedades ricas em carbonato, sulfato de cálcio, magnésio, sódio, potássio, entre outros elementos (Kaewtatip *et al.*, 2018).

Algumas das aplicações da reutilização deste material podem ser aplicações tecnológicas, como por exemplo, fabricação de plásticos, utilização como propulsor de descontaminação em soluções, combinação das propriedades com o pó de prata com atividade antimicrobiana a fim de ser utilizado na higiene doméstica (Yorseng *et al.*, 2020);

Reaproveitamento da Gordura

O uso de energias renováveis destacando-se a solar, eólica e hídrica é uma prática sustentável que vem crescendo nos últimos anos a fim de minimizar os impactos causados pelos combustíveis fósseis. Outra alternativa de produção de energia menos poluente é a produção de biodiesel, proveniente da biomassa vegetal ou animal podendo ser obtido também através de energias renováveis (De Albuquerque Matos, 2009).

A gordura animal se destaca neste papel de produção de biodiesel, sendo considerada uma alternativa não só viável e funcional, mas como também de baixo custo com grande disponibilidade, pois geralmente tal material é descartado como resíduo na produção de aves e nos ambientes domésticos (Simsek e Uslu, 2020). Dessa maneira, seu reaproveitamento possui uma contribuição significativa na produção de energias sustentáveis.

A gordura de frango passa por um processo chamado de transesterificação, que consiste na separação dos triglicerídeos e do biodiesel, alcançando resultados satisfatórios no que se referia a densidade e viscosidade. Conseqüentemente, a análise deste material proveniente das aves conferiu um produto de maior potencial e baixo custo quando comparado com fontes de óleos vegetais, por exemplo (Kirubakaran; Selvan, 2018).

Manejo de Dejetos Relacionados com a Sustentabilidade

A produção de dejetos avícolas é uma questão importante na avicultura, pois esses resíduos podem ter impactos significativos no meio ambiente se não forem geridos adequadamente. O controle da produção de dejetos, assim como a compostagem, são práticas fundamentais para promover a sustentabilidade na criação de aves. Implementar essas estratégias não apenas melhora a eficiência da produção, mas também minimiza os impactos ambientais, contribuindo para uma agricultura mais responsável e ecológica.

É de suma importância, que haja uma avaliação da produção média de dejetos na propriedade agrícola. Há uma necessidade de um plano de controle de produção que considere diversas informações, como número de animais, peso médio, idade, dieta, manejo de retirada de dejetos, entre outros. A principal estratégia discutida para o tratamento desses dejetos é a compostagem, um processo biotecnológico que visa a decomposição da matéria

orgânica sob condições aeróbias, utilizando microrganismos. O objetivo da compostagem é obter um composto orgânico estabilizado, que é utilizado como fertilizante, e sua eficácia pode ser melhorada através do manejo adequado.

Montagem e Controle da Compostagem

A compostagem é uma prática sustentável que ajuda a reduzir a quantidade de resíduos que vão para os aterros sanitários e promove a melhoria da qualidade do solo. A pré-compostagem é a primeira etapa para a promoção de uma reciclagem ideal, um dos fatores que mais influenciam esse processo é a relação carbono/ hidrogênio, um equilíbrio adequado entre carbono (C) e nitrogênio (N) é fundamental para otimizar a decomposição dos materiais (Augusto, 2011).

O carbono é geralmente fornecido por materiais secos e fibrosos, como folhas ou serragem, enquanto o nitrogênio é encontrado em materiais úmidos e verdes, como resto de alimentos e grama cortada. Um C/N ideal é entre 25:1 e 30:1. Quando essa proporção é desequilibrada, surgem problemas, como odores desagradáveis (se há muito nitrogênio) ou um processo de decomposição mais lento (se há muito carbono) (Augusto, 2009).

A escolha de materiais de mistura também é um fator importante para a realização dessa atividade sustentável, a seleção apropriada dos materiais de mistura é crucial. É importante considerar não apenas a proporção de C/N, mas também o custo e a contaminação potencial dos materiais escolhidos. Essa escolha pode afetar a eficiência do processo de compostagem e a qualidade final do composto. No que concerne à granulometria, o tamanho das partículas dos materiais compostos impacta a aeração do sistema. Partículas de 2 a 15 mm favorecem a penetração de oxigênio, prevenindo a anaerobiose, que pode prejudicar a atividade microbiana responsável pela decomposição (Augusto, 2011).

A localização da compostagem deve ser estratégica, levando em conta a proximidade da fonte de resíduos para reduzir os custos de transporte. Além disso, o solo deve ser impermeável, e a consideração das direções do vento ajuda a manejar a umidade e os odores, por isso é importante um manejo adequado do local, sendo mais um fator importante para uma compostagem eficaz e funcional (Augusto, 2011).

Compostagem de Animais Mortos

A compostagem de aves mortas é um método controlado de decomposição que combina processos aeróbios e anaeróbios, resultando em um composto orgânico de alta qualidade. Este processo é fundamental para evitar contaminações ambientais e problemas sanitários (Augusto, 2011).

O processo de decomposição controlada envolve decomposição aeróbia (de fora para dentro) e anaeróbia (de dentro para fora), permitindo que os materiais se decomponham eficientemente ao longo de aproximadamente 90 dias. Já no resultado final, o composto resultante é rico em nutrientes, embora possa conter penas, ossos maiores e bicos, que requerem um beneficiamento final (Augusto, 2011).

As aves mortas devem ser recolhidas em até 24 horas após a morte para evitar contaminações e a atração de vetores de doenças. A compostagem deve ser realizada em

um local coberto e arejado, evitando a exposição a insetos e animais. É importante que haja uma preparação adequada para a área, deve ser escolhida uma área designada para a compostagem, como baias ou galpões (Augusto, 2011).

Processo e Montagem para Compostagem de Aves Mortas

A compostagem é iniciada com uma camada espessa (mínimo 15 cm) de material vegetal seco (palhas, serragens). Após, deve ser adicionado uma camada de dejetos seco ou composto orgânico suficiente para cobrir o material vegetal, as aves mortas devem ser colocadas sobre esta camada, evitando sobreposição e contato com as paredes (Augusto, 2009). As aves são cobertas com mais uma camada de dejetos ou composto, o que garante que nenhuma parte fique exposta. Por fim, é adicionado uma camada fina de material vegetal seco para cobrir tudo (Kuns, 2009).

É importante ressaltar também o controle da umidade, no qual a adição de água deve ser feita com cautela, o excesso pode causar problemas como chorume e odores. A umidade ideal deve ser mantida entre 40% e 50% (Collins, 1999).

No que concerne aos materiais que devem ser utilizados para realização desse tipo de compostagem, o primeiro passo é que seja uma construção adequada, com local fechado, coberto e arejado. No caso dos materiais orgânicos, deve ser utilizado esterco seco, compostos orgânicos e materiais vegetais ricos em carbono, o manejo também é importante, logo, é crucial que o responsável pelo processo seja capacitado, obtendo uma mão de obra treinada (Augusto, 2009).

Incineração e Aterro na Compostagem de Aves Mortas

A incineração é um método que beneficia principalmente no quesito biossegurança, realiza a queimação das carcaças, o que dissemina a propagação de patógenos. Foi desenvolvido pela Embrapa um incinerador destinado a pequenos animais, que podem ser utilizados para incineração carcaças de aves mortas, facilitando todo o processo (Augusto, 2011).

A disposição de animais mortos no solo deve ser feita com cuidados específicos e rígidos devido aos riscos ambientais, higiênicos e sanitários envolvidos. A prática de enterrar os animais no solo de forma direta não é recomendada, pois pode acarretar em contaminação e disseminação de doenças. Quando a disposição no solo é a única alternativa viável, é aconselhável utilizar valas sépticas ou aterros industriais. É crucial evitar aterros sanitários comuns, já que estes não são projetados para receber esse tipo de material, o que pode agravar os riscos ambientais (Collins, 2009).

Biodigestão Anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é considerada o processo em que há a conversão de dejetos em energia, produzindo uma mistura de gases chamada de biogás, sendo utilizado como substituto para os combustíveis fósseis (Augusto, 2011). O desenvolvimento deste biogás se caracteriza na carência de oxigênio molecular e a combinação dos microrganismos promove a conversão de agrupamentos químicos complexos em compostos mais simples, produzindo principalmente o gás metano e dióxido de carbono (Da Costa, 2009).

De acordo com Bonturi e Dijk (2012), este procedimento inclui a atuação de três microrganismos importantes, se destacando as bactérias fermentativas ou acetogênicas, envolvendo as espécies anaeróbias facultativas que produzem hidrogênio e fermentam ácidos como butirato e propanol; as bactérias hidrolíticas que quebram e fermentam moléculas maiores como polissacarídeos, proteínas e lipídeos; e as bactérias homoacetogênicas que fermentam diversos compostos desde do carbono ao ácido acético (Da Costa, 2009).

Uma das aplicações da biodigestão anaeróbia é caracterizada pelo tratamento de resíduos, com objetivo de diminuir os efeitos contaminadores e os impactos ambientais. Este processo também produz o biofertilizante, que como subproduto, surgiu como resultado da combinação da matéria orgânica convertida em biogás e de alguns nutrientes expostos. A aplicação no solo do biofertilizante deve ser feita com o balanceamento correto dos nutrientes, pois seus efeitos podem se transformar de benéficos para tóxicos (Augusto, 2011).

A decomposição destes microrganismos é composta por fases específicas: hidrólise, metanogênese e acidulação. Na primeira fase, enzimas vão ser liberadas hidrolisando os elementos orgânicos, transformando-os em solúveis. Na fase de acidulação, os ácidos vão degradar todas as moléculas complexas em ácidos orgânicos. Assim, na fase final de metanogênese, as bactérias vão transformar os subprodutos em metanol, também chamado de álcool (Da Silva, 2020).

O processo de anaerobiose e a produção do biogás acontecem em câmaras inteiramente fechadas, para que não haja a presença do oxigênio e os microrganismos consigam apreender os resíduos presentes. A atuação de biodigestores pode ser feita de duas maneiras, e de acordo com sua alimentação, o de batelada e o contínuo, sendo esse último se dividindo em modelos chineses, canadenses e indianos (Perdomo *et al.*, 2003).

Biodigestão Anaeróbia: Tipos de Biodigestores

O biodigestor com sistema de abastecimento de batelada possui como objetivo o tratamento de resíduos como camas de frango que ficam à disposição quando os lotes do galpão são retirados. Possuem as seguintes características: uma estrutura em forma de cilindro, um gasômetro e o guia do gasômetro com sistematização de trave. O funcionamento começa quando são abastecidos apenas uma vez no dia, tendo sua produção de biogás no pico, não possuindo divisória, nem caixa de entrada e de saída (Ortolani *et al.*, 1991).

A operação dos biodigestores precisa de três fatores principais, que vão promover a necessidade de cada tipo e sua eficiência, são eles: tempo de retenção de sólidos e tempo de retenção dos microrganismos que correspondem ao tempo de permanência dos microrganismos e dos sólidos dentro do biodigestores, e por fim, o tempo de retenção hidráulico caracterizado como a duração do afluente durante o processo. Para a avaliação da eficiência do biodigestor de batelada, apenas o tempo de retenção hidráulico é considerado (Fukayama, 2008).

O biodigestor semicontínuo possui características de alimentação diária, sendo recomendados para dejetos líquidos e grandes volumes de resíduos. São subdivididos em modelos de 3 países diferentes com características distintas, a escolha de cada tipo

dependendo do investimento e da necessidade de cada sistema de tratamento (Augusto, 2009).

O modelo chinês apresenta-se debaixo do solo, não utilizando o gasômetro. Dessa forma, este modelo reduz os custos e também consegue canalizar o gás produzido pela estrutura de entrada e de saída. A representação indiana precisa de uma divisória central, dividindo o tanque em dois compartimentos, e assim, o material consegue transitar dentro da câmara de fermentação. Esse tipo não necessita de aparelhos de regulação pois possui uma tampa que regula a biomassa sobre pressão constante. Já o modelo canadense é o mais utilizado no Brasil e é constituído por uma caixa de entrada, local em que o material é inserido; câmara de fermentação, onde ocorre a degradação do material pelas bactérias; o lugar onde o biogás é produzido chamado de campânula e uma caixa de saída. Também são presentes um registro e um queimador para regular o controle e saída do biogás (Da Silva, 2020).

Importância da Biodigestão Anaeróbia

Além da contribuição de uma alternativa de energia renovável, a biodigestão é utilizada para o tratamento de resíduos como abordado anteriormente, e se caracteriza-se como uma solução na redução desses dejetos, tendo impacto na redução de aterros sanitários também. Alguns impactos positivos que podem ocorrer por conta da biodigestão anaeróbia, se caracterizam para melhoria da qualidade do solo com biofertilizantes, minimização da contaminação, uma maior segurança sanitária no que se refere ao manejo incorreto dos resíduos (Manfron, 1991).

Tratamento de Dejetos de Aves no Brasil

A avicultura brasileira, que apresenta um crescimento projetado de cerca de 2,6% ao ano entre 2017/2018 e 2027/2028, demanda o desenvolvimento de novas tecnologias para um processo produtivo mais sustentável. A produção de aves de postura gera uma quantidade significativa de resíduos, especialmente a cama de frango, composta por dejetos das aves, penas, restos de ração e substrato vegetal. Essa cama contém uma alta carga de nutrientes e, se mal gerenciada, pode causar impactos ambientais graves.

A cama de frango geralmente é trocada a cada dois lotes, podendo ser utilizada em até três criações. O esterco de cada ave produz, em média, 1,5 kg de composto orgânico. Historicamente, a cama aviária foi utilizada como alimentação para ruminantes, mas esse uso foi proibido em 2001. Desde então, a compostagem tornou-se a alternativa preferida para o tratamento desses dejetos, já que é um método de fácil manejo e baixo custo, embora implique na perda de alguns nutrientes, como nitrogênio em forma de amônia.

Outra solução viável é o uso de biodigestores, que permitem a biodigestão da matéria orgânica gerando biofertilizantes ricos em micronutrientes e biogás. Este biogás pode ser utilizado para produzir energia térmica ou elétrica, oferecendo aos avicultores uma fonte de eletricidade autossuficiente, reduzindo a dependência de concessionárias. Desse modo, tanto a compostagem quanto o uso de biodigestores apresentam-se como alternativas relevantes para o tratamento sustentável dos dejetos na avicultura Brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo dos dejetos se enquadra em uma das boas práticas de produção na criação de frangos de corte e postura. Para sua eficiência, é recomendável atentar para certas características no momento da escolha do sistema, como a disponibilidade de mão-de-obra e capital, a ampliação do plantel de animais, a alteração nos padrões e as exigências da legislação ambiental.

A preocupação com a preservação ambiental e com as consequências dos impactos ambientais para o futuro vem sendo discutidas pesquisadas com o objetivo principal de resgatar a qualidade de vida no planeta. É preciso, porém, acrescentar que a responsabilidade pela execução de técnicas voltadas à redução de impactos ambientais e racionalização de uso da energia, não pode ser atribuída diretamente ao produtor rural, mas às ações governamentais fortalecendo os setores de educação, ciência, extensão e crédito, voltados à área.

REFERÊNCIAS

- ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. 2023. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- AUGUSTO, Karolina Von Zuben; KUNZ, Airton. **Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais**. 2011.
- AKRAM, A.; ZHANG, C. **Effect of ultrasonication on the yield, functional and physicochemical characteristics of collagen-II from chicken sternal cartilage**. *Food Chemistry*, v. 307, Artigo 125544, 2020.
- BAUS, R. *et al.* **Strategies for improved hair binding: Keratin fractions and the impact of cationic substructures**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 160, p. 201-211, 2020.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. **Pesquisa Trimestral da Pecuária**. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/fazenda/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2024/2024-06-06-pecuaria_2024_i-tri.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BONTURI, G. L.; DIJK, M. V. **Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais**. *Revista Ciências do Ambiente*, Campinas, v. 8, n. 2, p. 88-95, out. 2012.
- CAO, S. *et al.* **Structure and physical properties of gelatin from bovine bone collagen influenced by acid pretreatment and pepsin**. *Food and Bioproducts Processing*, v. 121, p. 213-223, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de carne de frango pode chegar a 16 milhões de toneladas em 2024 e atingir novo recorde**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5174-producao-de-carne-frango-pode-chegar-a-16-milhoes-de-toneladas-em-2024-e-atingir-novo-recorde>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- DA COSTA, Laura Vanessa Cabral. **Aproveitamento de resíduos da suinocultura e avicultura: potenciais para produção de biogás e biofertilizante**. *Pubvet*, v. 3, n. 10, 2009.

DA SILVA, José Antonio Ramos *et al.* **Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 13, n. 2, p. 797-817, 2020.

DE ALBUQUERQUE MATOS, Felipe; DA COSTA, Beatriz de Aquino Marques; SVINTISKAS, Luiz Henrique. **Aproveitamento de Resíduos Sólidos na Avicultura: Uma Mini-Revisão Focada na Sustentabilidade.** *CIAAGRO, Congresso Internacional da AgroIndústria*, 2020.

FAO. **Poultry species.** 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/en/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

FAGBEMI, O.; SITHOLE, B.; TESFAYE, T. **Optimization of keratin protein extraction from waste chicken feathers using hybrid pre-treatment techniques.** *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 17, Artigo 100267, 2020.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante.** 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista: UNESP. Jaboticabal – SP, 2008.

KANANI, F. *et al.* **Waste valorization technology options for the egg and broiler industries: A review and recommendations.** *Journal of Cleaner Production*, v. 262, Artigo 121129, 2020.

KAEWATIP, K.; CHIARATHANAKRIT, C.; RIYAJAN, S. **The effects of egg shell and shrimp shell on the properties of baked starch foam.** *Powder Technology*, v. 335, p. 354-359, 2018.

KIRUBAKARAN, M.; SELVAN, V. Arul Mozhi. **A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 390-401, 2018.

LEMONS, Carlos Fernando *et al.* **Manejo de dejetos sólidos de poedeiras pelo processo de biodigestão anaeróbica.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Mapa destaca vocação brasileira na exportação de carne de frango.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-destaca-vocacao-brasileira-na-exportacao-de-carne-de-frango#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Secretaria,representando%205%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MANFRON, Melânia Palermo. **Biodigestão anaeróbica: uma alternativa para usinas de laticínios.** *Ciência Rural*, v. 21, p. 145-152, 1991.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada.** Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35 p.

OECHSLE, A. *et al.* **Microstructure and physical–chemical properties of chicken collagen.** *Food Structure*, v. 7, p. 29-37, 2016.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico.** Documento nº 85. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83 p.

POURJAVAHARI, Firoozeh *et al.* **Extraction of keratin from waste chicken feathers using sodium sulfide and L-cysteine.** *Process Biochemistry*, v. 82, p. 205-214, 2019.

SIMSEK, S.; USLU, S. **Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions.** *Fuel*, v. 280, Artigo 118613, 2020.

SHI, Y. *et al.* **Egg shell waste as an activation agent for the manufacture of porous carbon.** *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 28, n. 3, p. 896-900, 2020.

YORSENG, K. *et al.* **Nanocomposite egg shell powder with in situ generated silver nanoparticles using inherent collagen as reducing agent.** *Journal of Bioresources and Bioproducts*, v. 5, n. 2, p. 101-107, 2020.

ZHOU, C. *et al.* **Extraction and characterization of chicken feet soluble collagen.** *LWT*, v. 74, p. 145-153, 2016.

**El uso de la Geoarqueología para Conocer
y Reestructurar los Nichos Ecológicos:
Recolección de Muestras de Suelo para
Análisis e Identificación de Principales
Agentes de Degradación Del Río
Papaloapan, Región de Tlacojalpan, Estado
de Veracruz, México**

**The use of Geoarchaeology to Understand
and Restructure Ecological Niches:
Collection of Soil Samples for Analysis and
Identification of Main Degradation Agents
in the Papaloapan River, Tlacojalpan
Region, Veracruz State, Mexico**

Sebastião Lacerda de Lima Filho

Licenciatura, Máster y Doctorado en Arqueología. Posdoctorado en Antropología/ Historia (IHS-UV, México). Investigador colaborador en Museo Comunitario y Centro Cultural Casa de las Mariposas de Tlacojalpan, México. Investigador del Laboratorio de Bioarqueología Translacional – LABBAT/NPDM – UFC y Doctorando en Medicina Translacional en el PPGMDT-NPDM/UFC, Brasil

Martha Judith Hernandez Velasco

Licenciada en Arqueología, Maestría en Antropología, Doctorado en Desarrollo Regional Sustentable. Docente Universidad Veracruzana, México

Marcos Tadeu Ellery Frota

Médico Forense y Supervisor del Sector de Antropología Forense del PEFOCE. Doctorando en Medicina Translacional en el PPGMDT-NPDM/UFC y Investigador en el Laboratorio de Bioarqueología Translacional (LABBAT), UFC, Brasil

Francisco López

Geólogo en la Empresa Privada Mecánica de Suelos. Centro Nacional de Agua de México

Rosa Maria Amador

Directora del Museo Comunitario y Centro Cultural Casa de las Mariposas de Tlacojalpan, Veracruz, México

Allysson Allan de Farias

Biólogo licenciado por la UEPB, Maestría en Arqueología por la UFPE. Doctor en Genética por la Universidad de São Paulo – USP. Profesor visitante en el Programa de Posgrado en Medicina Translacional (PPGMDT-NPDM/UFC) y investigador en el Laboratorio de Bioarqueología Translacional (LABBAT)

Manoel Odorico de Moraes Filho

Director del Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos – NPDM/UFC y Investigador del Laboratorio de Bioarqueología Translacional (LABBAT), UFC, Brasil



RESUMEN

Esta investigación es el resultado de la participación colaborativa en los campos de la geología, sedimentología y otras ciencias de la tierra. Aunque el proyecto no estaba originalmente relacionado con la investigación arqueológica, pudo aportar material y datos para reflexionar sobre los diferentes impactos sufridos en la Cuenca del Papaloapan, especialmente los impactos y transformaciones ambientales observadas en la región de Tlacojalpan, comunidad ubicada en el estado de Veracruz. La investigación es resultado de un proyecto mayor realizado entre 2019 y 2020. La metodología consistió en prospecciones y exploraciones documentadas, utilizando dispositivos, soportes y perforadoras de alto alcance para recolectar muestras en diferentes tramos del río Papaloapan. Investigaciones de esta naturaleza buscan recopilar información e interpretar los datos sobre el ambiente contemporáneo, así como explorar en los paleoambientes y analizar las transformaciones que enfrentaron las poblaciones que habitaron estos espacios.

Palabras-clave: geoarqueología; ciencias de la tierra; interdisciplinariedad; conocimiento participativo e integral; Tlacojalpan; Veracruz – México.

ABSTRACT

This research is the result of collaborative participation in work in the field of geology, sedimentology and other earth sciences. Although the project was not originally related to archaeological research, it was able to provide material and data to reflect on the different impacts suffered by the Cuenca del Papaloapan, especially the environmental impacts and transformations observed in the region of Tlacojalpan, a community located in the state of Veracruz. The research is the result of a larger project carried out between 2019 and 2020. The methodology involved prospecting and documented explorations, using devices, supports and high-reach drills to collect samples from different stretches of the Papaloapan River. Investigations of this nature seek to build information and interpretations about the recent environment, but especially ancient paleoenvironments, and to verify the transformations faced by the populations that inhabited these spaces.

Keywords: geoarchaeology; earth sciences; interdisciplinarity; participatory and integral knowledge; Tlacojalpan; Veracruz – Mexico.

INTRODUCCIÓN

La interdisciplinariedad en la investigación científica tiene la función de reunir distintos campos del saber, ayudando a construir un conocimiento participativo e integrado. Este enfoque participativo permite que expertos de diferentes campos se involucren en la construcción e integración del registro arqueológico en diferentes partes del mundo. Desde sus orígenes, la ciencia arqueológica ha recibido el apoyo de muchas otras áreas afines que trabajan para fortalecer y recopilar datos, además de ayudar recurrentemente en las reflexiones e interpretaciones de esta ciencia. Desde el punto de vista de la Geoarqueología, actúa para interpretar, por ejemplo, los procesos que forman el propio registro arqueológico. También ayuda a comprender las diferentes y constantes transformaciones que sufren los

ambientes, por ejemplo, que muchas veces actúan directamente sobre las modificaciones y adaptaciones humanas en un determinado espacio o nicho ecológico (Butzer, 2006; Rubim de Rubim e Silva, 2013).

En este sentido, entendemos la geoarqueología como la ciencia que aporta datos y reflexiones mediante la aplicación de principios y métodos geológicos, suelos, sedimentos, formas del terreno y estratigrafía, con el fin de investigar yacimientos arqueológicos y responder a cuestiones arqueológicas, históricas y sociales relacionadas con la actividad humana en el pasado (Renfrew e Bahn, 2011).

Así, la geoarqueología conjunta el estudio del registro de la actividad humana del pasado con las ciencias naturales para ofrecer vislumbres de distintos acontecimientos que han quedado registrados en la historia natural de la Tierra. El enfoque geocientífico en arqueología se utiliza de diversas formas, como la planificación y realización de trabajos de campo y la recopilación de información sobre el terreno, la decisión sobre las técnicas de laboratorio más apropiadas y la evaluación de las conexiones a largo plazo entre los seres humanos y el medio ambiente; así como los impactos que a lo largo del tiempo han repercutido en las sociedades, en su cultura y en los procesos históricos. Así pues, es posible abordar una gran variedad de problemáticas arqueológicas utilizando los enfoques de las ciencias de la tierra, como los estudios de los contextos medioambientales, la identificación de las diversas formas de apropiación de la tierra y los recursos naturales por parte de las sociedades, la predicción del potencial de conservación y localización de los yacimientos arqueológicos, la documentación de la sedimentología de los yacimientos; a escala regional en lo que se refiere a la estratigrafía, la identificación y descripción de las materias primas, la evaluación de los procesos tafonómicos y la dinámica de formación de los yacimientos, así como la datación y la integración ecológica. Conceptualmente, la geoarqueología proporciona un medio para examinar los vínculos a largo plazo entre los seres humanos y el entorno en el que se construyen sus dinámicas culturales y sociales, ya sea en el pasado o en el presente (Hill e Rapp, 2014; Butzer, 2006; Renfrew e Bahn, 2011).

La investigación colaborativa y las colecciones que son el foco de esta presentación tuvieron lugar entre 2019 y 2020. De hecho, hubo dos participaciones, la primera entre el 1 (uno), 2 (dos) y 3 (tres) de octubre de 2019 y una segunda incursión en febrero de 2020. Los datos recabados y las reflexiones realizadas en la Cuenca del Papaloapan sugieren los impactos ambientales que el río y sus comunidades han enfrentado desde el pasado hasta el presente y reflejan los retos que enfrentan los proyectos e investigaciones que trabajan para conservar los ecosistemas.

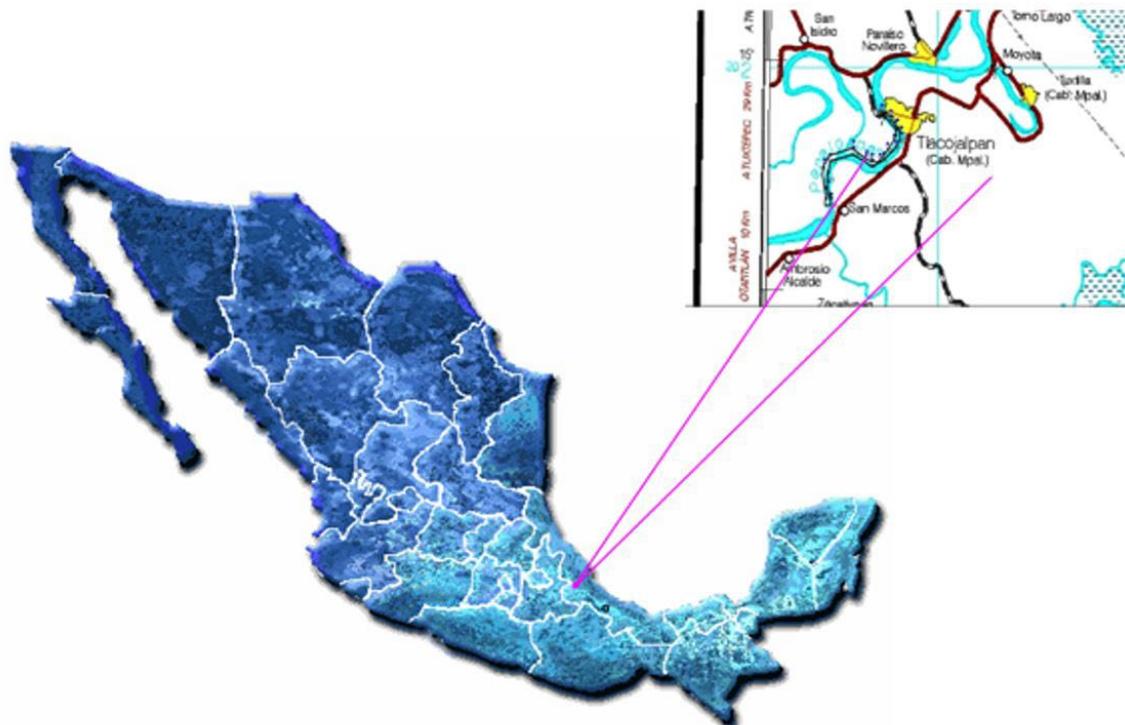
La investigación se llevó a cabo en la localidad de Tlacojalpan, en el Bajo Papaloapan, por el rico potencial arqueológico regional y por la posibilidad de desarrollar trabajos centrados en el campo de la Geoarqueología y Arqueología Ambiental como un medio de gestión para proteger y conservar el patrimonio natural regional. Además, de considerar los antecedentes de investigaciones arqueológicas realizadas al menos desde hace 30 años en la región. Nosotros destacamos las investigaciones dirigidas por el Dr. Pedro Jiménez Lara y equipo de la Universidad Veracruzana (UV). Para este trabajo se recibió apoyo por parte del Museo Complejo Cultural “Casa de las Mariposas” y aportes de investigadores de la Universidad Veracruzana. Parte de las reflexiones y datos aquí presentados forman parte

del Proyecto “¿Vamos a Construir un Sentido?!” **Por una Arqueología Social y Ambiental en la Región de Tlacojalpan, bajo Papaloapan, Veracruz – México**”. La investigación se realizó originalmente entre 2019 y parte de 2020, como parte de las actividades de una de las prácticas posdoctorales del autor principal de este artículo, durante sus actividades académicas en el Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales (IIHS) de la Universidad Veracruzana, en el estado de Veracruz, en el Golfo de México.

Desde el punto de vista de la ubicación y caracterización general, Tlacojalpan es una ciudad y municipio en el sureste del estado de Veracruz dentro de los límites de la cuenca de Papaloapan en México. El nombre de Tlacojalpan proviene de los vocablos de origen náhuatl *Tlahco – Xal – Pan*, que se traducen como “*tierra dividida*”, “*en la mitad del arenal*”, otra acepción indica que significa “*tierra sobre las arenas del río*” (Guzmán, 2010; Lara, 2003).

Se encuentra en la costa del Golfo de México, es conocida por su tradición pesquera y por festivales anuales de música jarocho y décimas, especialmente interesante es el vínculo cultural e histórico entre la música de Andalucía, África Central y las culturas nativas de Mesoamérica (El Cuenca, 2016; Licea e Ramírez, 2005; Guzmán, 2010) (figura 01).

Figura 1 - Mapa de México destacando el estado de Veracruz y la región de Tlacojalpan.



Fuente: Jiménez Lara, 2016.

Es parte de un puerto fluvial rodeado e irrigado por el río Papaloapan y como ríos tributarios el San Juan y Tesechoacán. Tiene una extensión de 646.51 km², en relación con el 0.89% del territorio total del estado y se encuentra a 90 km del puerto de Veracruz, a 110 km de la ciudad de Tuxtepec, a 203 km de la ciudad de Xalapa, capital de estado y aproximadamente a 500 km de la ciudad de México (figura 02). Ubicado en la frontera entre los estados de Oaxaca y Veracruz, pero perteneciente a este último, Tlacojalpan es un pueblo con más de medio milenio de historia y una rica herencia cultural. Su nombre significa

“*lugar entre arenas*” y fue hogar de la etnia Popolucua, conocida como “bárbaros” en la época prehispánica (Monika - El Piñero, 2024). Con una población de 5,000 a 10,000 habitantes, Tlacojalpan se dedica principalmente a la siembra de mango manila y caña. Sin embargo, su verdadera riqueza radica en su patrimonio cultural. También, en este pueblo, se celebran fiestas importantes como el Día de Muertos, reconocido por la UNESCO como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad. También se disfrutan el Carnaval en abril y las fiestas titulares de San Cristóbal. La música de jarana, pandero, arpa y requinto, y la danza de los Huehues, son solo algunas de las expresiones culturales que hacen de Tlacojalpan un destino único y auténtico (Monika - El Piñero, 2024). También, está delimitado al norte por Cosamaloapan, al este por Tuxtilla, al sur por el estado de Oaxaca y al oeste por Otatitlán. Está regado por arroyos que son afluentes del río Papaloapan (Guzmán, 2010; Lara, 2003).

Figura 2 - Vista panorámica del pueblo de Tlacojalpan y el río Papaloapan – Veracruz, México.



Fuente: Jiménez Lara, 2016.

Según la guía “**Tlacojalpan, Papaloapan, Veracruz, México**” (2021), podemos resumir algunos de los hitos en la formación de la región de Tlacojalpan: fue una población popolucua; En 1600 era una aldea sujeta a Otatitlán; En 1831 era ya una municipalidad y limitaba con Acula, Otatitlán, Chacaltianguis y hacienda de las lomas; El decreto del 5 de noviembre de 1932 cambió el nombre al pueblo de San Marcos por el de Ambrosio Alcalde; El municipio de Tlacojalpan tiene una población de aproximadamente entre 5.400 personas; El río Papaloapan es uno de sus atractivos naturales más importantes; La urna de la Dama de Tlacojalpan es la más grande en la historia arqueológica de Veracruz.

Entre sus características, Tlacojalpan el municipio tiene un clima principalmente cálido, con abundantes lluvias en verano y principios de otoño; Celebra sus tradicionales fiestas de carnaval en el mes de abril, y en los días 15 y 16 de septiembre las fiestas patrias; Entre sus singularidades se encuentra la panga ferry como medio de transporte; Tiene atributos simbólicos, historia y leyendas, que hoy en día significan una gran oportunidad para el aprovechamiento turístico (Rivera, 2007; Velásquez, 2007).

Actualmente Tlacojalpan es una ciudad que ofrece a los visitantes recorridos que le permiten observar una arquitectura caribeña sin igual, una cocina de fusión de sabores españoles, indígenas y africanos, un legado que también se vive y se escucha en sus hijos y las décimas temerarias e improvisadas. A Tlacojalpan se le conoce como “*La Perla del Papaloapan*”, y con esta perspectiva de acontecimientos que han sido objeto de diversos proyectos de investigación nacionales e internacionales, destaca la trayectoria del investigador Pedro J. Lara y sus trabajos con diversas instituciones internacionales que han buscado recuperar parte de la historia local y regional de los diferentes grupos humanos prehispánicos que habitaron, interactuaron o eventualmente transitaron por la región de Tlacojalpan y otros sectores de la Cuenca del Papaloapan (SEGOB, 2010; Guzmán, 2010; Velásquez, 2007; Aguirre, 1992).

Por lo tanto, los datos que aquí se presentan y las sencillas reflexiones que también se sugieren forman parte de estas posibilidades de trabajo en distintos momentos y espacios. Consideramos que la Geoarqueología y la Arqueología Ambiental en esta investigación aportarán una forma distinta de observar el territorio y las relaciones que establecieron las sociedades que en este habitaron, además de las implicaciones sociales, ambientales y económicas que representa el río como un recurso al alcance de la población.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación realizada en la región de Tlacojalpan, ubicada en la Cuenca del Bajo Papaloapan, es un área marcada por complejas dinámicas ambientales e histórico-culturales (Lima Filho, 2020; Lima Filho et al., 2021). El estudio integró enfoques de la geología, la sedimentología y la geoarqueología, a partir de un proyecto originalmente enfocado a los análisis geológicos y desarrollado por una empresa privada llamada Mecánica de Suelos, que presta servicios de consultoría desde hace muchos años al Centro Nacional del Agua de México (Comunicación personal con el geólogo coordinador, Sr. Francisco López). Durante el muestreo y los análisis preliminares, fue posible realizar una ampliación y reinterpretación para investigar los impactos ambientales y las transformaciones paleo ambientales que a su vez pudieron haber impactado a las comunidades que habitaron esta región en el pasado.

Por lo tanto, la metodología geoarqueológica de campo durante la investigación se basó en:

- a. Prospección sistemática en la red central y en puntos específicos de las riberas.** En esta ocasión se realizaron prospecciones en tramos estratégicos del río Papaloapan, seleccionados por su importancia geomorfológica e histórico-sedimentaria;
- b. Documentación y caracterización de los espacios y muestras recogidas.** En los procedimientos de preparación y recogida de datos desde el punto de vista de la fotogrametría se utilizaron dispositivos de alta precisión, como un GPS georreferenciado y un pequeño sonar. El objetivo era registrar las características superficiales y subsuperficiales del suelo. En casos seleccionados, se documentaron estratigrafías de corte para identificar capas sedimentarias y cualquier huella

antropogénica, y verificar su continuidad en tramos más centrales del Papaloapan;

c. Recolección de muestras con taladros de percusión y barrenas mecánicas.

Se extrajeron muestras de suelo y sedimentos a diferentes profundidades (entre 15 y 30 metros de profundidad), cubriendo perfiles verticales en la parte central del río, pero también tramos de riberas y planicies de inundación, definidos por características sedimentarias particulares y geomorfología dominante. Las muestras se almacenaron en bolsas estériles y se georreferenciaron para su análisis en laboratorio, este se llevó a cabo en los laboratorios de Mecánica de Suelos en Ciudad de México. En su momento se donaron 4 muestras de diferentes sectores para poder realizar investigaciones de paleoambientes en la Universidad Veracruzana, campus Xalapa, en el estado de Veracruz.

En cuanto a los análisis de laboratorio y la integración de datos, destacan los siguientes procedimientos:

1. Caracterización fisicoquímica de las muestras: En su momento, fueron sometidas a análisis granulométricos, mineralógicos (por difracción de rayos X) y geoquímicos (contenido en carbono orgánico, metales pesados) con el fin de identificar variaciones en la composición sedimentaria, ya fuera en tramos centrales o en sectores de las riberas. También se pudo comprobar si la configuración sedimentaria era la misma tanto en la malla central como en los tramos paralelos.

2. La idea es que las muestras donadas a la Universidad Veracruzana sirvan para **datar y contextualizar temporalmente estos paquetes sedimentarios**. Para ello, se aplicarán técnicas como la datación por radiocarbono (C14) y luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) a los materiales orgánicos y minerales de estas muestras, con el fin de establecer cronologías de las capas sedimentarias y entender las transformaciones sufridas por el río Papaloapan en el pasado y consecuentemente en el presente desde el punto de vista geoambiental y paleoambiental.

3. Sugerencia preliminar para la reconstrucción paleoambiental. Al integrar los datos estratigráficos, geoquímicos y cronológicos, fue posible sugerir cambios ambientales, especialmente al observar los ciclos de inundación, los cambios en la vegetación y la pérdida de matriz sedimentaria y la sedimentación en algunos de los tramos que fueron objeto de investigación y recolección. También fue posible correlacionarlos con períodos de ocupación humana registrados en la región, a partir de datos arqueológicos, etnográficos e históricos locales/regionales.

Los datos paleoambientales verificados, aunque aún preliminares, se contrastaron con información sobre degradación reciente, documentada durante las actividades de campo realizadas en 2019, como registros de deforestación, contaminación del agua y alteraciones hidrológicas, verificados en sectores cercanos a las localidades de Tlacojalpan, Otatitlán, Saladero y Paraíso Novillero. En esta ocasión, el equipo pudo hacer uso de imágenes satelitales multitemporales y reportes ambientales locales realizados previamente para este sector de la Cuenca del Papaloapan. Estos procedimientos permitieron identificar patrones de cambio a largo plazo y evaluar cómo las intervenciones antropogénicas modernas han acelerado los procesos de erosión y reducido la resiliencia ecológica del río Papaloapan, al menos a partir de lo verificado en este sector de investigación en el Bajo Papaloapan.

ACTIVIDADES DE CAMPO, CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO LOCAL Y RECOGIDA DE MUESTRAS: VISIÓN GENERAL

Como parte del trabajo de campo vinculado a nuestro proyecto de investigación en la región de Tlacojalpan y Bajo Papaloapan, pudimos integrarnos con un grupo de profesionales compuesto por un geólogo y sus colaboradores de la empresa privada “*Mecánica de Suelos*” que estaban reuniendo muestras para el Centro Nacional del Agua de México. Como parte de nuestro proyecto en la región, identificar con precisión el grado de degradación del río y trabajar con la comunidad desde el punto de vista de la educación ambiental colaborativa; fue un buen momento para participar como colaborador y recorrer al realizar los muestreos de ríos, estas muestras también se podrán utilizar en futuros proyectos de conservación y preservación de ríos. Así, entre los días 1, 2 y 3 de octubre de 2019 y 5, 6 y 7 de febrero del año 2020, participamos en la recolección de muestras para tener acceso a datos geológicos, sedimentológicos y pedológicos del río. Se tomaron muestras utilizando maquinaria desarrollada específicamente para este tipo de recolección y muestreo de suelos, no solo dentro del río, sino a lo largo de tramos de márgenes en los lados de Saladero y Tlacojalpan, como una visión general de la zona.

La distancia total recorrida por el personal de la compañía fue de 11 km, y se tomaron muestras cada 1 km para estudios químicos en los laboratorios de la compañía, con sede en Ciudad de México. Durante las actividades y en diálogo con el personal especializado pudimos ver la presencia de 3 estratos, subdivididos en:

- 1ª Capa compuesta de arena fina;
- 2ª Capa compuesta de arcilla plástica y
- 3ª Capa compuesta de arena mediana y gruesa.

Se pudo participar en las tres fases de recolección en el medio del río y en tramos de ribera al costado del Saladero, observando la misma configuración. Afortunadamente, obtuvimos muestras tomadas a profundidades que oscilan entre 14m y 18m de profundidad en el medio del río.

Al mismo tiempo, los datos contextuales y ambientales se describieron en cuadernos de campo, acompañados de documentación fotográfica. El objetivo era disponer de un compendio de información que sirviera para realizar análisis comparativos, tanto de lo verificado sobre el terreno como de las futuras reflexiones llevadas a cabo en el laboratorio. La posibilidad de realizar una caracterización de extractos y contextos sirve como modelo para entender los diferentes impactos sufridos por el río Papaloapan, al mismo tiempo que permite reflexionar sobre los retos para su conservación o mantenimiento a largo plazo. Se tienen dos opciones para el análisis de las muestras, los laboratorios de la Universidad Veracruzana o los de la Universidad Autónoma de México, en la ciudad de México.

Es importante recordar que la región fue foco de ocupación de diferentes sociedades en el pasado prehispánico, incluyendo grupos humanos como los totonacas y popolucas que habitaron toda la región de Tlacojalpan, Otatitlán, Paraíso del Novilero y muchas otras comunidades que siguen el curso y meandros del Papaloapan (Lima Filho, 2019; Cabanas, 2007; García, 2007). Estas poblaciones han sido testigos de los cambios que ha sufrido el

río, por lo que los análisis permitirán abundar en el conocimiento de las dinámicas sociales en distintas épocas.

Las actividades de laboratorio estuvieron a cargo del geólogo Francisco López, estas consistieron en: 1. Recolección de la arena/muestra (testigo), 2. Peso y humedad 3. Inserción en el horno y eliminación de la humedad general, 4. Pesaje nuevo y 5. Mezcla con compuestos para identificación y separación de agentes químicos en muestras (López, 2020 – comunicación personal).

Vale la pena mencionar que este es un trabajo extremadamente extenuante debido a la configuración ambiental y al tipo de actividades realizadas por los diferentes recolectores. También es muy meticuloso el proceso de tomar y documentar las muestras, que se recogen, etiquetan y almacenan para su posterior análisis, también se completa con información técnica en una hoja de control de muestras para la sistematización y organización del muestreo. Para comprender todo el proceso de recolección, organización, etiquetado y llenado de muestras, se pudo participar en diferentes momentos para construir una visión general mental y técnica del trabajo realizado. Las actividades de esta naturaleza son fundamentales para nuestra maduración y diálogo con otros investigadores que trabajan en diferentes áreas, pero que pueden proporcionar datos para nuestra investigación ya que aportará información sobre las transformaciones que ha sufrido la Cuenca del Papaloapan en los últimos tiempos. Esto también se refleja en la calidad de vida, por ejemplo, en el uso del agua: además de ayudar a entender las innumerables destrucciones en las orillas y las crecidas variables que terminan por destruir cultivos en las riberas y, sobre todo, inundar pueblos y comunidades enteras a lo largo del Papaloapan. La destrucción del río es un reflejo de la mentalidad local/social y también refleja los desafíos para la investigación ambiental, geológica, arqueológica e histórica en la región que es el foco de este trabajo colaborativo (figuras 03 y 04).

Figura 3 - Descripción general de la base y la maquinaria utilizada para la recolección de muestras.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Figura 4 - Preparación de brocas para muestreo profundo.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Vale la pena mencionar que después de nuestra colaboración y participación voluntaria en el trabajo, solo recolectarían muestras en dos estaciones de muestreo más, ambas hacían del pueblo Paraíso de Novirello, totalizando la extracción de docenas de muestras en diferentes puntos a lo largo de 11kms y que contemplaba el proyecto original en la región (figuras 05 y 06).

Figura 5 - Tipos de muestra recolectados a profundidades que oscilan entre 16m y 18m de profundidad.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Figura 6 - Participación en el llenado y catalogación de las muestras recolectadas.

Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Es importante mencionar que varias muestras también nos fueron proporcionadas para análisis complementarios en los laboratorios de la Universidad Veracruzana, como se mencionó anteriormente. Las muestras que nos fueron amablemente donadas serán enviadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Veracruzana en un intento por identificar los principales agentes que actúan sobre la degradación del ecosistema ambiental de Cuenca del Papaloapan. Se puede solicitar información adicional al personal de la compañía que amablemente nos proporcionó sus datos de contacto, pero algunos datos y resultados específicos del proyecto no se han podido obtener hasta la fecha, debido al acuerdo de confidencialidad entre la compañía y el gobierno mexicano.

El proyecto y las actividades de campo fueron sumamente positivos porque nos permitieron ampliar los conocimientos arqueológicos adquiridos durante otras investigaciones en la región, como los trabajos en curso sobre arqueología social y colaborativa, así como las posibilidades de estudios sobre las contribuciones de las geociencias a la reparación y mejora de entornos y comunidades. Nuestra investigación en arqueología ambiental, ecológica y del paisaje, junto con nuestro trabajo de arqueología pública, tiene este objetivo en la región: construir datos al tiempo que se incide en la población hacia la reflexión de la importancia de su patrimonio cultural y natura, que en este caso es el río Papaloapan la parte medular de los procesos sociales que se han desarrollado en este territorio.

Por lo tanto, la recuperación de muestras y la comprensión de los procesos deposicionales y postdeposicionales, la diagénesis, el mantenimiento y la pérdida de suelo, las transformaciones locales y regionales, han proporcionado nuevos datos para el registro arqueológico en el presente. En las siguientes figuras (07, 08 y 09), presentamos algunos momentos de las actividades en las que se pudo colaborar.

Figura 7 - Parte de la recolección y documentación de muestras tomadas entre 16 y 25 metros de profundidad en la parte central del río Papaloapan.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Figura 8 - Diálogo, información y explicación del objetivo técnico del trabajo, proporcionado por el geólogo Francisco López en el campo en Tlacojalpan, Veracruz, Cuenca del Papaloapan.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

Figura 9 - Descripción general de parte de las muestras recolectadas durante nuestra estancia con el equipo de trabajo de campo en Campaña 2019.



Fuente: Colección privada del autor, 2019.

DISCUSIÓN DE DATOS

El Bajo Papaloapan, ubicado en el sureste de México, es una región influenciada por la dinámica fluvial del río Papaloapan y sistemas deltaicos cercanos al Golfo de México. Sus capas sedimentarias se forman principalmente por la depositación de materiales como arenas, limos y arcillas, transportados por el río y sus afluentes durante periodos de inundación estacional o en episodios de inundaciones impredecibles causadas por lluvias torrenciales en el alto y medio Papaloapan (Casas, 2022). Estos procesos deposicionales incluyen ambientes aluviales, donde la sedimentación ocurre en planicies de inundación, y zonas deltaicas, influenciadas por mareas y aportes fluviales, dando lugar a estratos con variaciones granulométricas y composicionales (Comisión Nacional del Agua, 2016). La alternancia entre periodos de alta y baja energía hidrológica se refleja en la estratificación, con estratos más gruesos asociados a eventos de inundación y más delgados a periodos de calma, registrando así la historia geológica y ambiental de la región.

Las transformaciones en las capas sedimentarias de la Cuenca del Papaloapan implican procesos diagenéticos, como la compactación y la cementación, que consolidan los sedimentos en rocas, así como alteraciones químicas promovidas por la interacción con las aguas subterráneas. Los factores tectónicos, como el hundimiento de la cuenca, contribuyen a la acumulación continua de sedimentos, mientras que las intervenciones humanas, como las presas y la deforestación, modifican la dinámica del transporte y la deposición de sedimentos, reduciendo los aportes naturales y alterando los ecosistemas. Estos elementos combinados conforman la evolución geológica de la zona, registrando tanto los procesos naturales como los impactos antropogénicos a lo largo del tiempo (Comisión Nacional del Agua, 2016; Casas, 2022).

Tabela 1 - Resumen de las muestras y los procedimientos llevados a cabo durante las actividades de recogida.

SÍNTESIS DE LA INVESTIGACIÓN Y LAS COLECCIONES							
Total de muestras tomadas	Número de muestras donadas para UV:	Muestra testimonial para verificar un único perfil estratigráfico:	Secciones/ sectores de recogida y cantidad:	Información preliminar:	Presencia de fauna y flora en las muestras:	Recuperación de restos arqueológicos:	Observaciones
40	04	01 (recolectado en la parte central del río entre Tlacojalpan y la comunidad de Saladero);	Orilla derecha (10 muestras); Orilla izquierda (10 muestras); Malla central del río (20 muestras);	03 capas revisadas: 1ª Capa compuesta de arena fina; 2ª Capa compuesta de arcilla plástica; 3ª Capa compuesta de arena mediana y gruesa.	Si, parcialmente	No	Comprensión sedimentológica de la deposición fluvial en los sectores centrales y en las orillas del río.

Fuente: Elaboración de los autores, 2025.

Los datos recogidos en la región del Bajo Papaloapan, centrados en el trayecto entre Tlacojalpan y las comunidades de Saladero, Paraíso de Novillero y Otatitlán, revelan aspectos significativos de la dinámica fluvial, la estratigrafía sedimentaria y sus implicaciones para el conocimiento paleoambiental y geoarqueológico que estuvo presente durante los cientos de miles de años de formación de la Cuenca del Papaloapan, tomando en cuenta sus particularidades en el alto, medio y bajo Papaloapan (Comisión Nacional del Agua, 2016; Casas, 2022).

La distribución de las 40 muestras, con una mayor concentración en el tramo central del río (20 muestras) e igual representación en las márgenes derecha e izquierda (10 cada una), sugiere un esfuerzo por delimitar patrones deposicionales en diferentes ambientes hidrodinámicos (Francisco López - Comunicación personal, 2019). La muestra de testigos recolectada en el sector central presentó una dualidad en el perfil estratigráfico, indicando cierta homogeneidad en la columna sedimentaria en este tramo, aunque también se constataron otras dos capas de sedimentos a diferentes profundidades en las recolecciones del tramo central del río, Esto posiblemente esté asociado a procesos de deposición continua en un ambiente de baja energía, como llanuras de inundación o zonas de transición entre canales y riberas, así como a las sucesivas oleadas de sedimento que tienden a depositarse con el movimiento asociado a la crecida del propio río y con ello a la erosión de parte de sus riberas. En este sentido, es posible considerar que las tres capas identificadas preliminarmente pueden representar ciclos deposicionales distintos, marcados por variaciones en la energía del río Papaloapan, como eventos de inundación (capas más gruesas y arenosas) intercalados con periodos de estabilidad (capas delgadas, limosas/ arcillosas) (tabela 01).

Desde el punto de vista paleoambiental, la presencia parcial de fauna y flora en las muestras sugiere condiciones favorables para la preservación de materia orgánica en determinados estratos, posiblemente ligadas a momentos de estabilidad ecológica o

ambientes pantanosos/lénticos. El predominio de sedimentos fluviales (arenas, limos y arcillas) refuerza la influencia de dinámicas activas de transporte y deposición, propias de sistemas meandriformes o deltaicos, que pueden haber enterrado o dispersado materiales arqueológicos y precisamente por ello no se encontraron restos a profundidades significativas, aunque existen sitios arqueológicos a lo largo de todo el tramo del bajo Papaloapan. Además, las intervenciones antropogénicas modernas (como presas o cambios en el curso del río) pueden haber modificado los patrones naturales de sedimentación, dificultando la identificación de contextos conservados, algo que ya ha sido ampliamente descrito en la literatura para otros contextos mexicanos, por ejemplo (Casas, 2022).

Finalmente, el análisis integrado y los datos recopilados en campo y laboratorio sugieren que la Cuenca del Papaloapan ha sufrido transformaciones ambientales cíclicas, con pulsos de alta energía fluvial alternados con estabilidad, conformando un paisaje dinámico que, aunque rico en registros sedimentarios, geológicos y geomorfológicos, aún carece de estudios profundos del conjunto de sitios y cultura material asociados directamente con ocupaciones en el bajo Papaloapan, especialmente los más antiguos. Futuros estudios, como la datación radiocarbónica de la materia orgánica encontrada y análisis de paleosuelos, podrían esclarecer cronologías y correlacionar estratos sedimentarios con eventos climáticos o antrópicos (uso y reutilización de ecosistemas, nichos ecológicos y paisajes) (Butzer, 2006), ampliando la comprensión de la interacción entre sociedades antiguas y el medio fluvial en esta estratégica región de México.

CONSIDERACIONES FINALES

Las diferentes actividades de campo realizadas en los soportes instalados en medio del río Papaloapan, apoyados en estructuras y embarcaciones, demostraron los diversos caminos y retos para investigar los impactos ambientales que sufre la cuenca, especialmente en las regiones de Tlacojalpan, Paraíso Novillero y Otatitlán. El uso de diferentes perforadoras para la captura de sedimentos y parte del muestreo de paquetes geológicos en el interior del río, a profundidades que van desde los 15m hasta los 30m – dependiendo de los bolsones o zonas elegidas para el muestreo – terminan siendo un indicador de la complejidad y el costo de realizar trabajos de esta naturaleza en campo.

Aunque la investigación no se inició ni se diseñó para responder preguntas específicamente desde el punto de vista arqueológico, fue en sí misma una gran aliada, ya que permitió a investigadores de diferentes campos del conocimiento reflexionar juntos sobre metodologías de investigación, técnicas de recolección y otros procedimientos operativos aplicados a sus áreas de investigación. De este modo, también se pudieron hacer reflexiones desde las perspectivas de la geoarqueología y un enfoque medio ambiental. A través de la recolección y análisis de muestras de suelo se pueden conocer elementos del paleoambiente, lo que proporciona datos que pueden complementar en el conocimiento de las formas de vida de la población que ha habitado esta región desde un punto de vista social, histórico y cultural en la región.

Los estudios desde la perspectiva de la geoarqueología son relevantes porque combinan métodos de la arqueología con técnicas y conceptos de las geociencias, permite caracterizar sitios arqueológicos y comprender mejor a las sociedades que habitaron

determinado territorio con la posibilidad de reconstruir los paleopaisajes, tal es el caso de los análisis de suelos realizados sobre el río Papaloapan, que proporcionarán datos que apoyen a la comprensión de las dinámicas sociales y culturales desarrolladas alrededor del río, tanto como un elemento natural para la obtención de recursos, como su importancia en la construcción simbólica del pensamiento mágico-religioso de los grupos humanos que habitaron esta región de México.

La interpretación de las culturas antiguas a través de la Geoarqueología continuará involucrando una variedad de enfoques y métodos que permitan vislumbrar de manera coherente la forma en que estas sociedades vivieron y se adaptaron a su entorno, así como aportar datos que reflejen los impactos y transformaciones que contribuyeron a su desaparición a lo largo de la historia humana en el Papaloapan.

Al combinar enfoques multidisciplinares, los investigadores pueden desarrollar interpretaciones exhaustivas de las sociedades del pasado y su relación con el entorno natural, contribuyendo a una narrativa más apegada a lo que pudo ser la realidad que se vivió en estos territorios. En lo que respecta a la investigación en la región de Tlacojalpan, por ejemplo, la Geoarqueología y la Arqueología Ambiental están trabajando para superar retos recurrentes, como la degradación de muchos de los sitios ceremoniales que se encuentran al aire libre. La destrucción de la vegetación, la remoción de varias toneladas de arena y arcilla de las riberas del Papaloapan, la construcción de canales, las constantes quemadas, el vertido de cientos de litros de aguas negras y basura a lo largo del río terminan por generar una serie de impactos a corto, mediano y largo plazo. En periodos de inundación, sin apoyo ni amortiguamiento en las riberas (orillas), el gran Papaloapan se desborda e impacta directamente a muchas de las comunidades ubicadas en sus márgenes, entre ellas Tlacojalpan.

Por otro lado, muchos de los yacimientos y materiales culturales provenientes de sitios arqueológicos son arrastrados o destruidos más allá de su contexto original de formación y deposición. Estos sitios arqueológicos están sujetos a procesos de degradación natural, como la erosión del suelo, la actividad biológica y la meteorización, asociados a la degradación humana recurrente, generando así perturbaciones e impactos modernos; por ejemplo, la expansión urbana, las actividades agrícolas y mineras, así como el desarrollo de infraestructura para plantaciones de caña de azúcar y plátano, maíz y frijol, como se puede ver a lo largo del Papaloapan. Tales procedimientos y acciones causan perturbaciones a los sitios arqueológicos y al medio ambiente circundante, comprometiendo su integridad y dificultando la interpretación de los datos identificados.

La combinación de técnicas geoarqueológicas (documentación estratigráfica, recolección vertical) con análisis interdisciplinarios ofreció un marco para descifrar la interacción entre factores naturales y humanos en la transformación del paisaje. Los resultados no sólo dilucidan los paleoambientes, sino que también proporcionan apoyo científico a las políticas de mitigación de los impactos ambientales en la región.

Por último, somos conscientes de los retos que plantea la construcción de información a partir de las reflexiones de la Geoarqueología (muestreo de suelos) y la Arqueología Ambiental (reflexiones sobre el medio ambiente pasado y actual y sus implicaciones para el futuro local/regional). Esto se debe a que la interpretación de los datos geoarqueológicos

puede ser compleja debido a la naturaleza multidisciplinar de la misma, por lo que resulta esencial integrar datos geológicos, arqueológicos, químicos y medioambientales para el análisis de los sedimentos y su interpretación. También es importante contar con la colaboración entre arqueólogos, geocientíficos, especialistas en conservación y los pobladores de las comunidades donde se realizan las investigaciones. En consecuencia, es esencial desarrollar continuamente tecnologías y métodos de investigación que permitan un análisis más preciso y exhaustivo de las interacciones entre las culturas antiguas y el medio ambiente, contribuyendo a las posibilidades de investigación en el Golfo de México, y especialmente a lo largo de la Cuenca del Papaloapan.

REFERENCIAS

AGUIRRE, Gonzalo Beltrán. **Pobladores del Papaloapan biografía de una hoyo**, CIESAS. México. 1992.

BUTZER, Karl W. **Arqueología, una ecología del hombre: método y teoría para un enfoque contextual**. Bellaterra, Universidade do Texas, 2006.

CABANAS, José Ángel Ruíz. **“El Socorro” un Complejo Residencial Prehispánico en el Bajo Papaloapan, municipio de Tlacojalpan, Ver.** Xalapa. Tesis/Facultad de Antropología-UV, 2007.

CASAS, Regina Martínez. **It's all for Development: resettlement of indigenous communities for the construction of dams in Alto Papaloapan**. João Pessoa, O Público e o Privado · nº 42 · mai/ago · 2022.

EL CUENCA. **Tlacojalpan, comunidad ubicada en la cuenca del Papaloapan: aspectos históricos y Sociales**. Ver., 2016. Disponible em: <https://www.elpinero.mx/>

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. **Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuenca Río Papaloapan, estado de Veracruz**. 2016. Disponible em: sigagis.conagua.gob.mx

GARCÍA, Dolores Pale. **Transformación del Espacio Territorial: el Bajo Papaloapan a Principios del Siglo XVI**. Tesis/Facultad de Historia-UV, 2007.

GOBIERNO del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave: **Tlacojalpan, Papaloapan, Veracruz, México**. 2021. Disponible em: https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_de_Tlacojalpan.

GUSMÁN, Sofía. **Los retos de los estudios antropológicos y sociales en la Cuenca del Papaloapan, Veracruz, México**. UNAM, Ciudad de México. 2010.

HILL, Christopher L. & RAPP, George. **Geoarchaeology**. In: SMITH, C. (eds) *Encyclopedia of Global Archaeology*. Springer, New York, NY. 2014.

LARA, Pedro Jimenez. **PAYPPCUBAPA 2001, 2002, 2003. Informes técnicos. Temporadas I, II y III**. Archivo Nacional del INAH. Inédito, México. 2001-2003.

LICEA, Daniel Murillo & RAMÍREZ, Eduardo López. **Organización social y producción en la cuenca del río Papaloapan**. In. *Problemas Socio-Ambientales y Experiencias Organizativas en las cuencas de México*. Sergio Vargas y Eric Mollard (Editores). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2005.

LIMA FILHO. Sebastião Lacerda de. “¿Vamos a Construir un Sentido?!” **Por una Arqueología Social y Ambiental en la Región de Tlacojalpan, bajo Papaloapan, Veracruz – México.** Reporte de Investigación Posdoctoral. Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales – IIHS, Universidad Veracruzana – UV, Xalapa, Veracruz, México, 180p. 2019.

_____. LEÓN ESTRADA, X. A.; AMADOR, R. M.; PINTO, K. M. **Apontamentos sobre a identificação e documentação preliminar de coleções arqueológicas de moradores do Baixo Papaloapan, estado de Veracruz – México.** Tarairiú – Revista eletrônica do Laboratório de Arqueologia e Paleontologia da UEPB., v. 01, p. <http://revista>. 2021.

MONIKA – EL PIÑERO. **Veracruz: Tlacojalpan, un pueblo con raíces milenarias y tradiciones vivas; cuenta con panteón de más de 300 años de antigüedad.** Ver., noviembre 1, 2024. Disponible em: <https://www.elpinero.mx/veracruz-tlacojalpan-un-pueblo-con-raices-milenarias-y-tradiciones-vivas-cuenta-con-panteon-de-mas-de-300-anos-de-antiguedad/>

RENFREW, Colin; BAHN, Paul. **Arqueología. Teoría, Métodos e Práctica.** Espanha, editora Akal. 2011.

RIVERA, Dunia Salas. **Dama de Tlacojalpan revivió el orgullo de su tierra.** Universo: el periódico de los Universitarios, Xalapa – Veracruz, Año 7, n. 284. 2007

RUBIN DE RUBIN, Julio Cezar; DA SILVA, Rosiclér Theodoro. **Geoarqueología: teoría e prática.** Goiania, editora da PUC. 2013.

SEGOB. **Tomado de la publicación editada por la Junta Estatal de Mejoras en el año.** Coordinación Estatal de Juntas de Mejoras, Gobierno del Estado de Veracruz. 2010.

VELÁSQUEZ, Amilcar Guillermo Vargas. **Vinculación de la Investigación Arqueológica con la comunidad. El caso del Complejo Cultural “Casa de las Mariposas” de Tlacojalpan, Veracruz.** Facultad de Antropología, Universidad Veracruzana – México. 2007.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal que colaboró directa e indirectamente para llevar a cabo esta investigación y el gran proyecto científico desarrollado entre 2019-2020. Extienden estos agradecimientos a los empleados de la empresa privada “*Mecánica de Suelos*”, que en su momento prestó sus servicios y realizó estos estudios para el Centro Nacional del Agua de México. Así como a las comunidades de Tlacojalpan, Paraíso Novillero, Saladero y Otatitlán por permitirnos ser parte de su dinámica cultural y social. Un enorme agradecimiento al Museo Comunitario *Casa de las Mariposas en Tlacojalpan* y a todas las infancias y juventudes que realizan actividades en estas zonas, al grupo de danza y sonido Jorocho, a La Panga por facilitar una lancha para visitar la parte de las zonas arqueológicas ubicadas en la ribera (orillas) del Papaloapan, al Ayuntamiento de Tlacojalpan y al Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales de la Universidad Veracruzana – UV con especial agradecimiento al supervisor de la investigación postdoctoral, el Dr. Pedro Jiménez Lara, del IIHS-UV, por proporcionar el ambiente estructural e intelectual en el que se pudo pensar y llevar a cabo gran parte de esta investigación. Somos conscientes de que la investigación colaborativa internacional acaba uniendo a las personas y generando un intercambio cultural

Biotecnologia Vegetal: Desenvolvimento de Cultivares Tolerantes a Estresses Ambientais

Plant Biotechnology: Development of Cultivars Tolerant to Environmental Stresses

Jordana Caroline Nagel

*Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo-RS.
<http://lattes.cnpq.br/1544914259635851>*

RESUMO

A biotecnologia vegetal tem se consolidado como uma ferramenta fundamental no desenvolvimento de cultivares capazes de tolerar estresses ambientais, incluindo seca, salinidade e temperaturas extremas, contribuindo diretamente para a sustentabilidade da produção agrícola. Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura científica sobre as principais abordagens biotecnológicas aplicadas à melhoria genética de plantas, com destaque para técnicas como transgenia, edição genômica via CRISPR-Cas9 e o uso de marcadores moleculares. A metodologia baseou-se em uma análise bibliográfica detalhada, contemplando artigos indexados em bases de dados renomadas, como Scopus, PubMed e Web of Science, publicados ao longo da última década. Os resultados evidenciam avanços significativos na identificação de genes relacionados à tolerância a diferentes tipos de estresses, além do desenvolvimento de cultivares mais resilientes às condições ambientais adversas. A discussão aborda os desafios que ainda cercam a implementação dessas tecnologias, incluindo aspectos éticos, regulamentares e a aceitação pela sociedade. A biotecnologia vegetal oferece soluções promissoras para os desafios da agricultura contemporânea, sendo indispensável o investimento contínuo em pesquisa científica e a formulação de políticas públicas que fomentem sua adoção e aplicação prática.

Palavras-chave: adaptação; edição genômica; agrobiotecnologia; melhoramento.



ABSTRACT

Plant biotechnology has established itself as a fundamental tool in the development of cultivars capable of tolerating environmental stresses, including drought, salinity, and extreme temperatures, directly contributing to the sustainability of agricultural production. This study aims to conduct a review of the scientific literature on the main biotechnological approaches applied to plant genetic improvement, with a focus on techniques such as transgenics, genome editing via CRISPR-Cas9, and the use of molecular markers. The methodology was based on a detailed bibliographic analysis, including articles indexed in renowned databases such as Scopus, PubMed, and Web of Science, published over the past decade. The results highlight significant advances in the identification of genes related to tolerance to various types of stresses, as well as the development of cultivars more resilient to adverse environmental conditions. The discussion addresses the challenges that still surround the implementation of these technologies, including ethical and regulatory aspects and societal acceptance. Plant biotechnology offers promising solutions to the challenges of contemporary agriculture, making continuous investment in scientific research and the formulation of public policies that promote its adoption and practical application indispensable.

Keywords: adaptation; genome editing; agrobiotechnology; breeding.

INTRODUÇÃO

A biotecnologia vegetal tem se destacado como uma ferramenta essencial para a agricultura contemporânea, trazendo soluções inovadoras que permitem o desenvolvimento de cultivares capazes de lidar com estresses ambientais, como seca, salinidade e temperaturas extremas. Esses fatores abióticos comprometem diretamente a produtividade agrícola, gerando preocupações sobre a segurança alimentar global. Nesse contexto, torna-se urgente a adoção de estratégias científicas que ampliem a capacidade das plantas de enfrentar essas adversidades. De acordo com Yamaguchi-Shinozaki e Shinozaki (2006), embora as plantas possuam mecanismos naturais de adaptação a esses desafios, as demandas atuais por alimentos exigem a aplicação de tecnologias que complementem e fortaleçam essas características.

Uma das principais abordagens da biotecnologia vegetal é a transgenia, que permite a introdução de genes de interesse em plantas, conferindo características específicas, como tolerância à seca. O gene HaHB-4, originário do girassol, é um exemplo prático dessa aplicação, utilizado para desenvolver variedades de trigo adaptadas a condições climáticas adversas sem perdas significativas de produtividade (Revista Cultivar, 2022). Esse exemplo ilustra como a engenharia genética pode contribuir para enfrentar os desafios da agricultura moderna, mostrando-se um caminho relevante quando aliada a práticas de manejo sustentável.

Outra abordagem que tem ganhado destaque é a edição genômica, especialmente com a tecnologia CRISPR-Cas9, que possibilita alterações precisas no DNA das plantas. Essa ferramenta tem acelerado o desenvolvimento de cultivares ajustadas às condições ambientais mais desafiadoras. Carrer *et al.* (2010) apontam que, além de aumentar a eficiência no melhoramento genético, a edição genômica também reduz os custos e o

tempo envolvidos no processo. Assim, sua aplicação representa uma estratégia eficaz para atender às demandas crescentes por uma agricultura mais adaptada às mudanças ambientais.

A seleção assistida por marcadores moleculares é outra técnica amplamente utilizada na biotecnologia vegetal. Essa metodologia facilita a identificação de genótipos superiores em estágios iniciais do melhoramento genético, especialmente em características complexas, como a tolerância a fatores ambientais. Gonçalves e Lynch (2014) destacam que essa abordagem reduz significativamente o tempo necessário para o desenvolvimento de cultivares que atendam às exigências de regiões agrícolas mais vulneráveis, contribuindo para a estabilidade da produção agrícola.

Apesar dos avanços alcançados, a adoção de tecnologias biotecnológicas ainda enfrenta desafios consideráveis. Questões éticas e regulamentares, somadas à resistência pública em relação aos organismos geneticamente modificados (OGMs), constituem barreiras importantes. Silveira *et al.* (2005) observam que, mesmo com evidências científicas que asseguram a segurança de muitos cultivares geneticamente modificados, aspectos culturais e políticos continuam dificultando sua aceitação em larga escala. Por isso, é fundamental que a comunidade científica dialogue com os formuladores de políticas públicas e a sociedade, promovendo maior entendimento e superação dessas barreiras.

Além das questões sociais e políticas, é necessário avaliar os impactos econômicos e ambientais dessas tecnologias. A biotecnologia vegetal contribui para a redução do uso de insumos químicos, como fertilizantes e pesticidas, diminuindo os impactos ambientais e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Carrer *et al.* (2010) destacam que esses avanços se alinham às diretrizes de sustentabilidade, pois permitem a adoção de métodos agrícolas que utilizam recursos de forma mais eficiente.

Nesse cenário, políticas públicas que incentivem a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico são indispensáveis para consolidar os avanços da biotecnologia vegetal. A colaboração entre instituições de pesquisa, empresas e governos pode acelerar a aplicação dessas inovações em larga escala. Além disso, a capacitação de profissionais e a disseminação do conhecimento sobre essas tecnologias são essenciais para ampliar seus impactos positivos no setor agrícola.

Dessa forma, a biotecnologia vegetal apresenta-se como uma solução viável para os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por alimentos. O investimento em pesquisa e inovação, aliado ao suporte de políticas públicas eficazes, pode transformar a agricultura em uma atividade mais adaptada às necessidades atuais e futuras, garantindo maior eficiência e sustentabilidade no uso dos recursos naturais.

METODOLOGIA

Esta pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, com o objetivo de mapear e analisar as principais abordagens da biotecnologia vegetal direcionadas ao desenvolvimento de cultivares capazes de tolerar estresses ambientais. A escolha dessa metodologia justifica-se pela sua ampla utilização em estudos acadêmicos, sendo fundamental para proporcionar uma visão crítica e sistematizada sobre o estado atual do co-

nhecimento na área. De acordo com Gil (2008), a revisão bibliográfica é uma ferramenta indispensável para organizar o saber já existente e identificar lacunas que possam orientar futuras investigações.

A coleta de dados foi realizada a partir de publicações disponíveis em bases de dados de referência internacional, como Scopus, Web of Science, PubMed e SciELO. A seleção dessas fontes deve-se à sua credibilidade e relevância científica. Os descritores utilizados incluíram termos como “biotecnologia vegetal”, “estresses ambientais”, “melhoramento genético” e “cultivares transgênicos”, empregados de forma isolada e em combinações. Essa estratégia garantiu a identificação de estudos recentes e alinhados ao escopo da pesquisa, considerando publicações dos últimos dez anos.

O processo de análise dos artigos foi dividido em duas etapas principais. Na primeira, foi realizada uma leitura exploratória, que envolveu a triagem de títulos e resumos para selecionar trabalhos relacionados ao tema proposto. Posteriormente, os artigos escolhidos foram analisados integralmente, com atenção aos objetivos, metodologias aplicadas, resultados obtidos e sua contribuição para o campo da biotecnologia vegetal. Essa abordagem permitiu a organização dos dados em categorias temáticas, facilitando a discussão e a síntese das informações.

Além dos artigos originais, foram incluídos estudos de revisão anteriores para complementar a análise e oferecer uma perspectiva mais ampla sobre as tendências e os avanços tecnológicos. Conforme destacado por Marconi e Lakatos (2017), a inclusão de revisões bibliográficas em trabalhos dessa natureza enriquece a análise, pois permite articular diferentes abordagens metodológicas e consolidar argumentos a partir de múltiplos pontos de vista. A triangulação de fontes, portanto, foi um elemento essencial para validar os dados coletados e fortalecer a fundamentação teórica do estudo.

Os resultados obtidos foram apresentados de forma descritiva e analítica, destacando as contribuições mais relevantes das técnicas biotecnológicas no desenvolvimento de cultivares tolerantes a estresses abióticos. A metodologia adotada garantiu o rigor científico necessário, possibilitando uma análise aprofundada do tema e assegurando a relevância da pesquisa para enfrentar os desafios atuais da agricultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As técnicas biotecnológicas têm se mostrado promissoras no enfrentamento de estresses ambientais que afetam a produtividade agrícola, especialmente em regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas. De acordo com Zhu *et al.* (2016), a introdução de genes associados à tolerância à salinidade e à seca em culturas como trigo e milho tem garantido maior adaptação das plantas a condições adversas, sem comprometer sua produtividade. Esses resultados reforçam a relevância da transgenia como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de cultivares adaptadas às demandas agrícolas contemporâneas.

Entre as inovações biotecnológicas, a edição genômica desponta como uma das mais eficazes no melhoramento genético de plantas. A tecnologia CRISPR-Cas9, por exemplo, tem permitido alterações precisas no DNA vegetal, possibilitando ajustes direcionados que aumentam a resistência ao estresse hídrico. Gao *et al.* (2020) relataram o uso

bem-sucedido dessa técnica em culturas alimentares, destacando sua eficiência em gerar resultados em um período de tempo reduzido. Essa abordagem representa um avanço significativo, especialmente em programas de melhoramento que visam atender às crescentes demandas por alimentos em um cenário de instabilidade climática.

Outro recurso amplamente utilizado na biotecnologia vegetal é a seleção assistida por marcadores moleculares. Essa técnica possibilita a identificação de características genéticas desejáveis em estágios iniciais do desenvolvimento das plantas, acelerando o processo de seleção e reduzindo os custos associados. Conforme Varshney, Pandey e Tuberosa (2018), o uso de marcadores moleculares tem sido essencial para programas que buscam desenvolver cultivares com maior tolerância a estresses ambientais, otimizando o uso de recursos e diminuindo o tempo necessário para a obtenção de resultados.

Apesar dos avanços tecnológicos, alguns desafios permanecem. Gressel (2015) aponta que a aceitação pública de organismos geneticamente modificados (OGMs) ainda enfrenta resistência em determinadas regiões, influenciada por questões éticas e ambientais. Essa barreira cultural dificulta a implementação de inovações biotecnológicas em larga escala, evidenciando a necessidade de estratégias de comunicação mais efetivas que expliquem os benefícios e a segurança dessas tecnologias à população em geral.

Além das questões sociais, há também desafios econômicos e técnicos a serem superados. Zhu *et al.* (2016) destacam que tecnologias avançadas, como a edição genômica, apresentam custos elevados que limitam sua adoção em países em desenvolvimento. Para ampliar o acesso, investimentos em infraestrutura, capacitação técnica e políticas públicas são indispensáveis, permitindo que as tecnologias beneficiem uma parcela maior da população agrícola, especialmente pequenos agricultores.

Por outro lado, os impactos ambientais positivos associados às tecnologias biotecnológicas não podem ser ignorados. Gao *et al.* (2020) observam que cultivares geneticamente modificadas para tolerância a estresses abióticos demandam menos insumos, como água, fertilizantes e pesticidas, contribuindo para uma agricultura mais sustentável. Em regiões com recursos naturais limitados, essa redução no uso de insumos pode ser decisiva para garantir a viabilidade da produção agrícola, além de mitigar impactos negativos ao meio ambiente.

A articulação entre ciência e políticas públicas também desempenha um papel central no sucesso da biotecnologia vegetal. Varshney, Pandey e Tuberosa (2018) argumentam que iniciativas governamentais que promovam a pesquisa e incentivem a adoção de inovações tecnológicas são fundamentais para enfrentar os desafios do setor agrícola. Essa colaboração entre cientistas, formuladores de políticas públicas e agricultores é essencial para acelerar a implementação dessas tecnologias em diferentes contextos produtivos.

Um aspecto adicional a ser considerado é a atualização dos marcos regulatórios que regem o uso de organismos geneticamente modificados. Gressel (2015) observa que muitos países ainda possuem regulamentações complexas ou desatualizadas, que dificultam tanto a pesquisa quanto a comercialização de produtos biotecnológicos. A harmonização de políticas regulatórias em nível internacional poderia facilitar a circulação de conhecimentos e produtos, ampliando o impacto positivo da biotecnologia.

Outro ponto relevante é a inclusão de pequenos agricultores no processo de desenvolvimento e disseminação dessas tecnologias. Zhu *et al.* (2016) afirmam que, em diversas regiões, o acesso a variedades geneticamente melhoradas é restrito, perpetuando desigualdades no setor agrícola. Programas de extensão rural e capacitação podem desempenhar um papel transformador, garantindo que esses agricultores se beneficiem das inovações e contribuam para a adoção mais ampla das biotecnologias.

A interação entre tecnologias biotecnológicas e práticas agrícolas tradicionais oferece um caminho promissor para a adoção sustentável de inovações. Gao *et al.* (2020) sugerem que a integração de conhecimentos locais com soluções tecnológicas avançadas pode gerar alternativas mais adequadas às necessidades específicas de cada região, facilitando a aceitação dessas práticas pelos agricultores.

Dessa forma, embora as biotecnologias representem avanços significativos para a agricultura, sua aceitação e aplicação em larga escala ainda dependem de esforços que envolvam a disseminação de informações claras e acessíveis, a capacitação técnica e o fortalecimento de políticas públicas. Campanhas educativas baseadas em evidências científicas podem desempenhar um papel crucial na redução de resistências e na promoção de uma agricultura mais inovadora, sustentável e adaptada às demandas globais.

Outro ponto que merece atenção é a relevância das parcerias público-privadas no avanço da biotecnologia vegetal. De acordo com Tiwari *et al.* (2021), a colaboração entre instituições de pesquisa acadêmica e empresas privadas tem desempenhado um papel estratégico na criação de cultivares tolerantes a estresses abióticos. Essa sinergia tem acelerado o desenvolvimento de tecnologias, pois combina os recursos financeiros e tecnológicos do setor privado com o conhecimento científico de centros de pesquisa. Contudo, para que os benefícios sejam amplamente distribuídos, especialmente em países em desenvolvimento, é essencial implementar mecanismos de governança claros, garantindo que pequenos agricultores, muitas vezes limitados tecnologicamente, também tenham acesso a essas inovações.

A interdisciplinaridade também tem sido um fator decisivo no avanço da biotecnologia vegetal. Kumar *et al.* (2020) destacam que a integração de áreas como biologia molecular, bioinformática e genômica funcional tem possibilitado avanços significativos na identificação de genes relacionados à tolerância a estresses ambientais. O uso de ferramentas computacionais, como modelagem genômica e redes de interação gênica, tem ampliado a compreensão das vias metabólicas que contribuem para a adaptação das plantas a condições adversas. Essa abordagem integrada não apenas otimiza o desenvolvimento de cultivares, mas também aprimora a precisão e a eficiência dos processos de melhoramento genético.

Além disso, o impacto crescente das mudanças climáticas sobre a agricultura reforça a importância de tecnologias biotecnológicas como aliadas na mitigação de danos ambientais. Segundo Lopes *et al.* (2019), eventos extremos, como secas prolongadas e inundações, têm pressionado os sistemas agrícolas em escala global, comprometendo a produtividade e a estabilidade alimentar. Nesse contexto, o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições climáticas adversas é fundamental para garantir a segurança alimentar a longo prazo. Quando combinadas a práticas de manejo sustentável, essas

inovações podem contribuir para a estabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas, especialmente em regiões mais vulneráveis.

As questões éticas e sociais relacionadas ao uso de organismos geneticamente modificados (OGMs) continuam sendo objeto de debate. Singh e Sharma (2020) observam que, mesmo em países onde a segurança dos OGMs já foi amplamente documentada, a aceitação pública ainda encontra resistência, muitas vezes motivada por desinformação ou desconfiança. Para superar essas barreiras, os autores sugerem iniciativas educacionais e campanhas de conscientização baseadas em evidências científicas, capazes de apresentar de forma equilibrada os benefícios e os possíveis riscos associados às tecnologias biotecnológicas. Esse esforço seria crucial para promover uma percepção mais informada e reduzir a oposição pública a essas inovações.

Outro aspecto fundamental é a necessidade de aprimorar os marcos regulatórios relacionados aos OGMs. Johnson *et al.* (2021) enfatizam que a harmonização das regulamentações internacionais poderia facilitar tanto a troca de tecnologias quanto o comércio global de produtos biotecnológicos. Além disso, marcos regulatórios mais claros e acessíveis reduziram a burocracia, incentivando a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias, especialmente em países onde os processos regulatórios ainda representam entraves significativos.

A pesquisa em biotecnologia vegetal tem ampliado o entendimento sobre os mecanismos que permitem às plantas se adaptarem a condições ambientais adversas, explorando processos moleculares que regulam a expressão de genes relacionados ao estresse. Conforme destacado por Sharma *et al.* (2021), avanços no estudo de vias de sinalização, como as mediadas por ácido abscísico (ABA) e proteínas de choque térmico, têm proporcionado novas perspectivas para intervenções biotecnológicas mais específicas. Esses mecanismos moleculares exercem funções centrais na capacidade das plantas de resistirem a estresses como seca e temperaturas extremas, evidenciando a relevância da pesquisa básica para o desenvolvimento de soluções aplicadas na agricultura.

A integração de tecnologias emergentes, como a fenotipagem de alto rendimento, também tem impulsionado os programas de melhoramento genético. De acordo com Tester e Langridge (2010), plataformas automatizadas que monitoram características fisiológicas e morfológicas das plantas oferecem uma maneira mais eficiente de avaliar genótipos sob condições de estresse. Quando associadas a dados genômicos, essas tecnologias criam um fluxo de trabalho otimizado para o desenvolvimento de cultivares adaptadas, reduzindo custos e o tempo necessário para a obtenção de resultados. Esse avanço representa uma estratégia promissora para aumentar a eficiência e a precisão das pesquisas agrícolas.

Outro aspecto relevante no campo da biotecnologia vegetal é o papel dos microrganismos associados às plantas nas estratégias de tolerância a estresses abióticos. Laskhmanan, Selvaraj e Bais (2014) destacam as interações planta-micróbio como elementos fundamentais para a promoção da adaptação a condições adversas. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal têm mostrado capacidade de melhorar a absorção de nutrientes e de regular o estresse oxidativo em plantas submetidas a fatores ambientais limitantes. A biotecnologia aplicada ao microbioma surge, assim, como uma abordagem complementar às técnicas genéticas, contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas.

A aplicação de tecnologias biotecnológicas em sistemas agrícolas de pequena escala é outro tema que requer atenção especial. Campos e Carvalho (2019) apontam que o acesso limitado a essas inovações em comunidades rurais impede que pequenos agricultores se beneficiem do progresso científico. Para superar essas limitações, programas de extensão rural e iniciativas de capacitação devem ser priorizados, permitindo que agricultores adotem práticas biotecnológicas viáveis e acessíveis. A inclusão dessas comunidades no processo de modernização agrícola é essencial para garantir a equidade na distribuição dos benefícios tecnológicos e para fortalecer a segurança alimentar em regiões vulneráveis.

A adoção de tecnologias baseadas em RNA interference (RNAi) tem se consolidado como uma abordagem promissora no enfrentamento de estresses ambientais em plantas. De acordo com Li *et al.* (2020), a RNAi tem sido aplicada para silenciar genes que aumentam a sensibilidade das plantas a condições adversas, permitindo respostas mais eficazes e adaptativas. Entre as vantagens dessa técnica destacam-se sua especificidade, que reduz efeitos colaterais, e o menor impacto ambiental, quando comparada a outros métodos. Dessa forma, a RNAi representa uma alternativa viável para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às mudanças climáticas e às limitações ambientais.

Outro avanço significativo é a utilização de plantas modelo para o estudo de mecanismos de tolerância ao estresse. *Arabidopsis thaliana*, por exemplo, tem sido amplamente empregada como modelo para a identificação de genes relacionados à regulação de estresses como déficit hídrico e temperaturas extremas. Conforme Meyer *et al.* (2019), os resultados obtidos em estudos com espécies modelo têm acelerado a transferência de tecnologias para culturas de interesse agrícola, como milho e arroz. Essa abordagem translacional, ao permitir a aplicação prática do conhecimento científico, desempenha um papel crucial na modernização das práticas agrícolas e na adaptação às condições climáticas adversas.

Além disso, a introdução de genes que conferem maior eficiência no uso de nutrientes tem se destacado como uma área de interesse na biotecnologia vegetal. Xu *et al.* (2021) destacam que cultivares geneticamente modificados para otimizar a captação de nitrogênio e fósforo apresentam maior produtividade, mesmo em solos de baixa fertilidade. Essa estratégia não apenas contribui para o enfrentamento de estresses relacionados à limitação de nutrientes, mas também reduz a necessidade de fertilizantes químicos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Ao diminuir a dependência de insumos externos, essas inovações auxiliam na mitigação dos impactos ambientais associados à agricultura intensiva.

A biotecnologia também desempenha um papel fundamental na preservação da biodiversidade agrícola, especialmente em um cenário de mudanças climáticas. Kang *et al.* (2020) ressaltam que ferramentas como a genômica comparativa têm permitido a conservação de variedades nativas e a identificação de traços genéticos raros que conferem tolerância a condições extremas. Essa integração entre inovação tecnológica e conservação é essencial para garantir a segurança alimentar e preservar os recursos genéticos para as futuras gerações. Além disso, a valorização de variedades nativas promove a diversificação das culturas agrícolas, reduzindo os riscos associados à homogeneidade genética em sistemas produtivos.

Por outro lado, a aceitação social das tecnologias biotecnológicas continua sendo um desafio significativo. Park e McFarlane (2021) observam que a percepção pública sobre cultivares geneticamente modificadas é frequentemente influenciada por desinformação e desconhecimento dos benefícios dessas inovações. Para superar essa barreira, é fundamental investir em estratégias de comunicação científica que apresentem os avanços biotecnológicos de forma clara, acessível e embasada em evidências.

A edição epigenética tem emergido como uma ferramenta inovadora e promissora no campo da biotecnologia vegetal. Segundo Hu *et al.* (2020), essa técnica permite modificar de forma reversível a expressão gênica sem alterar a sequência de DNA. Em cenários de estresse ambiental, os ajustes epigenéticos podem melhorar a plasticidade fenotípica das plantas, possibilitando uma adaptação mais eficiente a condições adversas. Essa abordagem é especialmente útil em programas de melhoramento que demandam soluções rápidas e temporárias para enfrentar desafios climáticos, ampliando o repertório de ferramentas disponíveis para a agricultura contemporânea.

Além das ferramentas genéticas, a integração entre biotecnologia e práticas de agricultura de precisão tem demonstrado um impacto significativo na otimização dos sistemas produtivos. De acordo com Jones *et al.* (2021), o uso de sensores avançados e sistemas de monitoramento em tempo real permite a aplicação mais eficiente de recursos como água e nutrientes, maximizando o desempenho de cultivares geneticamente modificados. Essa sinergia entre biotecnologia e tecnologia da informação promove sistemas agrícolas mais adaptados, sustentáveis e capazes de responder melhor às incertezas climáticas.

Outro aspecto relevante é o papel da biotecnologia na adaptação de culturas marginais, como sorgo e milho, a ambientes hostis. Ramírez-Villegas *et al.* (2019) destacam que essas culturas, embora já possuam características naturais de resistência a estresses, podem ser geneticamente aprimoradas para aumentar sua produtividade em regiões áridas e semiáridas. A valorização de espécies tradicionalmente negligenciadas, por meio de ferramentas biotecnológicas, não apenas amplia a base alimentar global, mas também contribui para a segurança alimentar em regiões vulneráveis, ao diversificar as culturas disponíveis e melhorar a eficiência do uso de recursos.

A utilização de bioestimulantes em conjunto com abordagens biotecnológicas também tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar a tolerância ao estresse em plantas. Conforme Calvo *et al.* (2014), compostos como aminoácidos, hormônios vegetais e extratos naturais podem complementar os efeitos das modificações genéticas, promovendo o crescimento e a resistência das plantas em condições adversas. Essa abordagem integrada oferece uma solução prática e acessível para agricultores, especialmente em países em desenvolvimento, que frequentemente enfrentam os desafios impostos por eventos climáticos extremos.

Uma área de pesquisa emergente no campo da biotecnologia vegetal é a biologia sintética, que busca construir novas funções biológicas em plantas por meio da montagem de circuitos genéticos artificiais. Segundo Nielsen e Keasling (2016), essa abordagem tem possibilitado o desenvolvimento de plantas com maior eficiência no uso de recursos naturais, como água e luz, o que é particularmente relevante para o cultivo em regiões afetadas pelas mudanças climáticas. A capacidade de personalizar as respostas das plantas a condições

ambientais adversas abre novos horizontes para a agricultura de precisão, promovendo sistemas produtivos mais adaptados às demandas globais.

A aplicação da pangenômica também tem transformado o panorama da biotecnologia vegetal. De acordo com Montenegro *et al.* (2020), a análise do pangenoma em culturas agrícolas oferece uma visão abrangente das variações genéticas dentro de uma mesma espécie, incluindo genes associados à resistência a estresses abióticos. Essa abordagem tem sido valiosa para identificar genes de interesse em variedades selvagens que podem ser incorporados em programas de melhoramento genético. Além de fortalecer o desenvolvimento de cultivares mais adaptáveis, a pangenômica contribui para a preservação da biodiversidade, integrando inovação tecnológica com a conservação de recursos genéticos.

Outro avanço significativo é o uso de biomateriais e nanobiotecnologia para proteger as plantas contra estresses abióticos. Mukherjee *et al.* (2021) destacam que nanopartículas podem ser aplicadas diretamente às plantas, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e fortalecendo a resistência ao estresse oxidativo. Essa abordagem oferece uma alternativa sustentável ao uso de insumos químicos, reduzindo os impactos ambientais da agricultura. Além disso, a nanobiotecnologia apresenta potencial para melhorar o desempenho das plantas em condições adversas, promovendo práticas agrícolas mais ecológicas e eficientes.

A engenharia metabólica tem se consolidado como uma estratégia crucial para ampliar a tolerância das plantas a estresses ambientais. Sangwan e Kumar (2018) destacam que a manipulação de vias metabólicas específicas, como as envolvidas na síntese de osmólitos e antioxidantes, tem permitido melhorar a capacidade das plantas de suportar condições como alta salinidade e temperaturas extremas. Essa abordagem une estudos fundamentais e aplicações práticas, permitindo o desenvolvimento direcionado de cultivares com características desejáveis e maior adaptação às condições ambientais adversas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biotecnologia vegetal tem se afirmado como uma ferramenta indispensável para enfrentar os desafios contemporâneos impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda global por alimentos. Tecnologias emergentes, como a edição genômica, a engenharia metabólica e a biologia sintética, têm demonstrado grande potencial para aumentar a capacidade das plantas de tolerarem estresses abióticos, assegurando maior produtividade mesmo em condições adversas. Além disso, a combinação dessas inovações com práticas agrícolas sustentáveis e o uso estratégico de dados genômicos em programas de melhoramento genético tem contribuído para tornar a agricultura mais eficiente e adaptada às necessidades atuais e futuras.

No entanto, para que os avanços da biotecnologia vegetal sejam amplamente implementados, é fundamental superar uma série de barreiras econômicas, sociais e políticas. O acesso equitativo às tecnologias deve ser garantido, especialmente em comunidades rurais e para pequenos agricultores, que frequentemente enfrentam limitações de recursos e infraestrutura. Além disso, questões como a aceitação pública das tecnologias biotecnológicas e a modernização dos marcos regulatórios precisam ser tratadas de forma

prioritária. A promoção de iniciativas educacionais que esclareçam os benefícios dessas inovações, assim como o estímulo a colaborações internacionais, será essencial para ampliar sua aplicação e impacto global.

Dessa forma, a biotecnologia vegetal se apresenta como uma aliada estratégica no desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis, inclusivos e preparados para atender às demandas de uma população em constante crescimento. O contínuo investimento em pesquisa científica, aliado a políticas públicas eficazes e à cooperação entre diversos setores, será determinante para transformar o potencial dessas tecnologias em soluções práticas que promovam segurança alimentar e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. **Agricultural uses of plant biostimulants**. *Plant and Soil*, v. 383, p. 3-41, 2014.
- CAMPOS, J. R.; CARVALHO, S. R. **Biotecnologia e inclusão social no meio rural: desafios e oportunidades**. *Revista de Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 15, n. 4, p. 324-340, 2019.
- CARRER, H.; LOUREIRO, M. E.; BARROS, L. M. G. **Edição genômica e suas aplicações no melhoramento genético de plantas**. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 59-75, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/rckkXMJ7cc6hxPhbNFhVWGm/>. Acesso em: 02 jan. 2025.
- DIAZ, P.; HERNANDEZ, L.; VALLEJO, R. **Agricultural biotechnology policies and their impact on innovation: a global perspective**. *Journal of Agricultural Policy and Innovation*, v. 19, n. 2, p. 145-163, 2022.
- GAO, C.; CHENG, D.; ZHANG, J. **Applications of CRISPR technology in crop improvement**. *Journal of Agricultural Science*, v. 58, n. 3, p. 121-139, 2020.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GONÇALVES, C. L.; LYNCH, J. P. **Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos**. *Academia.edu*, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/105579522>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- GRESSEL, J. **Genetic modification to combat climate change: the role of agricultural biotechnology**. *Plant Science*, v. 7, p. 156-170, 2015.
- HU, Z.; LIU, Q.; SONG, H. **Epigenetic engineering in plants: applications and challenges**. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 1517, 2020.
- JOHNSON, R.; MILLER, S.; CARTER, J. **Harmonizing regulations for GMOs: a global perspective**. *Regulatory Science in Biotechnology*, v. 12, n. 2, p. 45-62, 2021.
- JONES, H.; BROWN, M.; CLARK, S. **The integration of biotechnology and precision agriculture: advances and future directions**. *Agricultural Technology Journal*, v. 18, n. 5, p. 245-259, 2021.

- KANG, H.; KIM, H.; LEE, J. **Genomic approaches for the conservation of crop biodiversity: challenges and opportunities**. Biodiversity and Conservation Journal, v. 29, n. 7, p. 1235-1250, 2020.
- KUMAR, S.; PATHAK, A.; GUPTA, P. **Bioinformatics in crop improvement: challenges and prospects**. Computational Biology Journal, v. 14, n. 1, p. 29-47, 2020.
- LAKSHMANAN, V.; SELVARAJ, G.; BAIS, H. P. **Functional roles of rhizosphere microorganisms in salt tolerance mechanisms of plants: prospects for enhancing agricultural productivity**. Plant Signaling & Behavior, v. 9, n. 6, p. 622-635, 2014.
- LI, Z.; WANG, L.; ZHANG, H. **Application of RNA interference in crop improvement: strategies and potential**. Molecular Biotechnology, v. 62, n. 4, p. 287-298, 2020.
- LOPES, A. R.; SILVA, J. B.; MENEZES, C. L. **Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola global: estratégias biotecnológicas para mitigação**. Revista Brasileira de Agrociências, v. 25, n. 3, p. 312-325, 2019.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MEYER, P.; SCHMIDT, T.; KELLER, H. **Arabidopsis as a model for understanding stress tolerance in crops: translational approaches**. Plant Molecular Biology, v. 99, n. 1, p. 15-25, 2019.
- MONTENEGRO, J. D.; VIDAL, R. O.; MENDES, R. F. **Pangenomics as a tool for crop improvement: challenges and opportunities**. Frontiers in Plant Genetics, v. 7, n. 3, p. 122-136, 2020.
- MUKHERJEE, A.; SINGH, S.; ROY, A. **Nanotechnology in plant stress management: applications and prospects**. NanoBiotechnology Journal, v. 15, n. 1, p. 98-115, 2021.
- NIELSEN, J.; KEASLING, J. D. **Synthetic biology for engineering biology**. *Nature Biotechnology*, v. 34, n. 6, p. 546-558, 2016.
- NUNES, A. L.; OLIVEIRA, P. R.; MARTINS, G. C. **Integração de práticas tradicionais e biotecnologia na agricultura sustentável**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 25, n. 3, p. 210-225, 2020.
- PARK, S.; MCFARLANE, G. **Public perceptions of genetically modified crops: a systematic review of communication strategies**. Agricultural Communication Research, v. 12, n. 2, p. 85-98, 2021.
- RAMÍREZ-VILLEGAS, J.; KHOURY, C. K.; FERREROS, J. M. **Harnessing the potential of underutilized crops: a biotechnological approach**. Food Security Journal, v. 11, n. 1, p. 99-113, 2019.
- REVISTA CULTIVAR. **Cultivos tolerantes à seca com uso de biotecnologia**. Revista Cultivar, 2022. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/cultivos-tolerantes-a-seca-com-uso-de-biotecnologia>. Acesso em: 03 jan. 2025.
- ROSSI, L.; FERRARI, G. **Stakeholder collaboration in agricultural biotechnology: a pathway to sustainable adoption**. Journal of Agricultural Policy Studies, v. 23, n. 2, p. 132-148, 2020.

SANGWAN, R. S.; KUMAR, V. **Metabolic engineering approaches for stress resilience in plants**. *Plant Metabolism Journal*, v. 14, n. 2, p. 67-81, 2018.

SHARMA, R.; KUMAR, A.; GUPTA, S. **Signal transduction pathways in abiotic stress tolerance: insights into molecular biology**. *Journal of Plant Biotechnology*, v. 15, n. 2, p. 55-72, 2021.

SILVEIRA, J. M.; SANTOS, R. J.; OLIVEIRA, A. P. **A biotecnologia aplicada ao melhoramento genético vegetal: controvérsias e discussões**. Academia.edu, 2005. Disponível em: <https://www.academia.edu/76512685>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SINGH, K.; SHARMA, V. **Public perception and ethical challenges of GM crops: a global perspective**. *Journal of Agricultural Ethics*, v. 8, n. 1, p. 78-94, 2020.

TESTER, M.; LANGRIDGE, P. **Breeding technologies to increase crop production in a changing world**. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 818-822, 2010.

TIWARI, R.; MEENA, V.; YADAV, M. **Public-private partnerships in agricultural biotechnology: a sustainable solution for food security**. *Sustainable Agriculture Journal*, v. 10, n. 2, p. 56-72, 2021.

VARSHNEY, R. K.; PANDEY, M. K.; TUBEROSA, R. **Genomics-assisted crop improvement for drought and heat stress**. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 25, p. 10-16, 2018.

XU, Y.; LIU, R.; CHEN, Z. **Genetically modified crops for nutrient efficiency: implications for sustainable agriculture**. *Plant Science Advances*, v. 35, n. 4, p. 420-435, 2021.

YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. **Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses**. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 57, n. 3, p. 781-803, 2006.

ZHU, J.-K.; WANG, Y.; LIU, Y. **Adaptation of crops to drought and salinity using biotechnology**. *Annual Review of Plant Biology*, v. 67, p. 781-803, 2016.

The Main Agricultural Products Currently Employed in Brazil: Economic Importance, Biotechnological Applications and Genetic Improvement

Os Principais Produtos Agrícolas Atualmente Utilizados no Brasil: Importância Econômica, Aplicações Biotecnológicas e Melhoramento Genético

Jackeline Maria da Silva

Department of Antibióticos, Federal University of Pernambuco, Recife, Brasil

Gilberto Henrique Teles Gomes da Silva

Department of Antibióticos, Federal University of Pernambuco, Recife, Brasil

Eliana Costa dos Santos

Department of Antibióticos, Federal University of Pernambuco, Recife, Brasil

Gabriel Barboza da Silva

Department of Antibióticos, Federal University of Pernambuco, Recife, Brasil

Ester Ribeiro de Andrade

Department of Antibióticos, Federal University of Pernambuco, Recife, Brasil

ABSTRACT

Brazil is a country with prominence on the world scenario regarding agricultural processes, being one of the largest exporters of these types of products. The main crops used in agriculture are sugarcane, soybeans and corn grain, according to indices of quantity produced, cultivated area and economic contribution. The southeast and central-west regions lead the ranking these parameters for the three agricultural crops mentioned, however, the northeast region also contributes and lead in the indices of other products in this sector. These agricultural products are the basis for several industrial applications and have high biotechnological potential, such as for production of ethanol, biogas and oils. Furthermore, studies show that the waste generated by these crops can also be used for improving the Brazil's energy matrix. Genetic studies are also carried out and seek to obtain genetically modified cultivars to improve several aspects such as increased productivity and resistance to environmental pests. Other important characteristics of these three agricultural cultivars are described in the following topics.

Keywords: crops; sugarcane; soybeans; grain corn; biotechnological potential.



RESUMO

O Brasil é um país de destaque no cenário mundial no que diz respeito aos processos agrícolas, sendo um dos maiores exportadores desse tipo de produto. As principais culturas utilizadas na agricultura são a cana-de-açúcar, a soja e o milho em grão, de acordo com índices de quantidade produzida, área cultivada e contribuição econômica. As regiões Sudeste e Centro-Oeste lideram o ranking nesses parâmetros para as três culturas agrícolas mencionadas; no entanto, a região Nordeste também contribui e se destaca nos índices de outros produtos deste setor. Esses produtos agrícolas são base para diversas aplicações industriais e possuem elevado potencial biotecnológico, como na produção de etanol, biogás e óleos. Além disso, estudos demonstram que os resíduos gerados por essas culturas também podem ser utilizados para o aprimoramento da matriz energética brasileira. Estudos genéticos também são realizados com o objetivo de obter cultivares geneticamente modificadas para melhorar diversos aspectos, como o aumento da produtividade e a resistência a pragas ambientais. Outras características relevantes dessas três culturas agrícolas são descritas nos tópicos a seguir.

Palavras-chave: culturas; cana-de-açúcar; soja; milho em grão; potencial biotecnológico.

INTRODUCTION

Brazil is a country with a significant importance in the food industry, being responsible for supplying different types of agricultural products worldwide and occupying the fourth position in the ranking of food producers (Pellegrina, 2022). According to the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics), the most produced agricultural products in the country are (1) sugarcane, (2) soybean and (3) grain corn, with the following parameters used in statistics: quantity produced, harvested area and production value. The state of Mato Grosso (MT) stands out as the largest producer of soybean and grain corn, and the state of São Paulo (SP) of sugarcane (IBGE, 2023).

The culture of sugarcane (Brazil stands for 30% of the world's production), its productivity and the fact that the lignocellulosic material can be used in the energy production, raises this crop to a leading position as source of conventional biomass (Matos *et al.*, 2020). This agricultural crop is of fundamental importance, representing more than 80% of global sugar production (Matos *et al.*, 2020). Soybean, despite being produced less than sugarcane, is the leader in terms of economic contribution (IBGE, 2023), being a crop that boosts GDP (gross domestic product) and raises Brazil's level in the face of global competition (Trece and Considera, 2023). Next, the third place in the ranking of Brazilian production is grain corn, which represents an important portion of the grain supply in the country alongside soybeans, presenting records of tons produced, which are mostly distributed to the foreign market (Soliani, 2022).

In the following sections, data on production, export, as well as biotechnological applications and genetic improvement of sugarcane, soybeans and corn grain, the main agricultural products currently used in Brazil, will be discussed.

PRODUCTION AND EXPORTATION DATA FOR THE MAIN AGRICULTURAL PRODUCTS GROWN IN BRAZIL

Brazil plays a fundamental role in global agricultural production, being considered one of the largest producers in the world. In the last two decades, Brazil was the fourth largest producer of grains (rice, barley, soybeans, corn and wheat), after China, the United States and India. In 2023, Brazil produced around 152 million tons of soybeans and approximately 130 million grains of corn (IBGE, 2023, table 1). An increase in soybean and corn production has been estimated in the 2024/2025 harvest to around 166 million and 122 million tons, respectively, according to the February 2025 estimate (Conab, 2025). In the export scenario, Brazil is considered the largest exporter of soybeans and corn (ANEC, 2023). In 2024 (from January to November), Brazil exported around 96,8 million tons of soybeans and 30,65 million tons of corn (Conab, 2024). Among the countries that import corn grain, China was responsible for around a third of the volume of Brazilian corn exports in 2022. Together with China, Iran, Spain, Japan and South Korea are in the ranking of main importers of Brazilian corn (Coêlho, 2023).

Table 1 - Major agricultural produced in Brazil in 2023. Production (in tons), harvested area (in hectares), production value (thousand reais) and largest producer (State).

Product	Quantity produced	Harvested area	Production value	Largest producer
Sugarcane	782.585.836	10.065.599	101.968.896	São Paulo
Soybean	152.144.238	44.447.552	348.661.338	Mato Grosso
Grain corn	131.950.246	22.316.340	101.825.101	Mato grosso

Source: IBGE, 2025.

In terms of quantity produced, sugarcane is considered the main Brazilian agricultural product (Embrapa, 2022). Production data available (from 2023, table 1) shows that Brazil produced over 780 million tons of sugarcane, within an area of approximately 10 million hectares, having a significant impact in Brazilian economy (Wang *et al.*, 2022, IBGE, 2023). Data obtained from the 2020/21 harvest show that Brazil produced around 654.5 million tons of sugarcane, of which were attributed to the production of sugar (41.2 million tons) and ethanol (29.7 billion liters) (Nachiluk, 2021). On the other hand, the 2023/24 harvest show the final sugar production reached a historic record of 42.42 million tons (Unica, 2024). Among Brazilian states, São Paulo leads the production of this crop in the country. Alongside with Brazil, India and China are the largest world producers (Wang *et al.*, 2022).

BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS OF THE SUGARCANE, SOY-BEAN AND CORN

Sugarcane

Sugarcane, *Saccharum* spp. is known for its traditional sugar production and is recognized for its contribution to energy culture (Budeguer *et al.*, 2021). In Brazil, sugarcane is the main source for ethanol production and has potential to generate sugar and first-generation ethanol (1G) from sugarcane juice (Embrapa, 2022). Furthermore, the sugarcane bagasse (residue) generated in the process (ethanol 1G) also has the potential to produce

second-generation ethanol (2G) (Santos *et al.*, 2020). The use of sugarcane bagasse provides an increase in ethanol production without increasing the planted area, which favours the process (Carpio and Souza, 2017). This production could benefit the economies of more than 40 countries that use ethanol as fuel, however, currently the bagasse is mostly used for bioelectricity production (Carpio and Souza, 2017). In order to produce second-generation ethanol, some benefits can be listed with the use of sugarcane bagasse: increased productivity (around 50%), provision of a greater energy input to the market, economic viability, reuse and low cost of raw materials and low greenhouse gas emissions and integrated production in the same first-generation ethanol plant (Carpio and Souza, 2017). In the world, the first industrial 2G ethanol plant was built in Italy by the company Chemtex (from M&G Group), in Crescentino, with operations to produce 75 million litres on a commercial scale, using rice straw, wheat straw and arundo donax (Santos *et al.*, 2023). In Brazil, the first production plant, located in the state of Alagoas, started work in 2014 with around 65,000 t / year of ethanol using sugarcane straw and the second plant in 2015 in the state of São Paulo, this last one combining 1G / 2G technology (Maga *et al.*, 2019).

Sugarcane biomass has valuable applications, such as paper, wood panels, acetic acid, fertiliser for crops and the manufacture of animal feed (Ramos *et al.*, 2018; Rahman *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2019; Salatein *et al.*, 2024). The production of paper from sugarcane bagasse is an economically viable alternative as it requires few processes and is a material that is simple to handle (Ramos *et al.*, 2018). The application of cellulose obtained from sugarcane bagasse can be used to manufacture regenerated cellulosic fibres that can be used as a substitute for cotton fibres in the textile sector (Mahmud and Anannya 2021).

Soybean

Soybean (*Glycine max L.*) is a legume originating in China and currently has the largest cultivation area in the world (Guo *et al.*, 2022). Brazil is responsible for 50% of global soybean trade, being the second largest producer and exporter of soybeans from 2000 to 2020. Mainly used in the food sector, soybean seeds accumulate approximately 20% lipids, 40% protein and approximately 30% carbohydrates, making it an ideal raw material in the food and feed industries. The high protein content of soybeans economically compensates for its lower lipid content as an oilseed crop (Song *et al.*, 2023).

In addition to serving humans and animals in the food sector, soybeans also play a crucial role in renewable energy (Souza *et al.*, 2016). Considering the soy biodiesel production chain, contextualised in Brazil and its different distribution scenarios, soy oil has become the main raw material to produce this biofuel. Renewable fuel produced from soy represents a sustainable way to mitigate greenhouse gas emissions, serving as an alternative to fossil fuels. Furthermore, technologically enhanced production systems have the potential to further improve the environmental performance of this process (Cerri *et al.*, 2017).

The oilseed continues to play a significant role as a raw material in various industries, such as the cosmetics and pharmaceutical sectors. In the cosmetic sector, soy-derived proteins and amino acids are often incorporated into skin care products. These compounds have moisturising properties, improve skin elasticity and reduce the formation of wrinkles

(Ochiai, 2023). On the other hand, in the pharmaceutical sector, the isoflavones present in soy influence reducing blood pressure in hypertensive individuals (Liu *et al.*, 2012).

Grain Corn

Grain corn (*Zea mays*) is an important cereal produced throughout the world and is the second most produced crop worldwide. The main purposes are for human consumption, feed for different groups of animals and as raw material for bioenergy (Li *et al.*, 2016; Abbade, 2021;). Corn grain fibre contains a large amount of cellulose and hemicellulose, which drives its application as a substrate for 2G ethanol (Gandam *et al.*, 2022). Corn straw, being a lignocellulosic biomass, when going through a sequence of combinations of biochemical processes can result in two types of fuels: bioethanol and biogas (Zhou *et al.*, 2022).

In addition, the waste generated can still be applied for pellet manufacturing, metal adsorbent and anthocyanin production (Maj *et al.*, 2019; Jing, Giusti, 2005; Indah, Helard, Sasmita 2016). Anthocyanins are flavonoids with antioxidant, anti-aging and anti-cancer properties, and have been reported to provide liver and vision protection (Cui *et al.*, 2021). Responsible for multifunctional properties, anthocyanins may be of interest to various industrial sectors, such as dietary supplements, food additives and cosmetics (Cai, Ge-Zhang, Song, 2023). For this reason, breeding technologies have been suggested to increase the anthocyanin content in other corn varieties, mainly those traditionally cultivated in South and Central America (Colombo, Ferron, Papetti, 2021).

GENETIC DATA AND BREEDING OF THE SUGARCANE, SOYBEAN AND CORN

Genetic improvement is associated with the application of genetic principles to obtain cultivars with desirable and useful characteristics for humans. These qualities are related to human and animal nutrition, production of biofuels as an alternative to fossil fuels, fiber production, generation of molecules applied to drugs, among other human activities (National Research Council (US) Board on Agriculture, 1984). In this sense, genetic improvement strategies have the main aim of obtaining superior genotypes in order to increase crop productivity, nutritional quality of food, resistance to environmental adversities, disease-causing pathogens and pests (Peixoto e Vilela, 2018; Chavarría-Perez, 2020). More details about plant genetic improvement programs in sugarcane, soybean and maize (corn) will be discussed in the following sessions.

Sugarcane

Sugarcane presents one of the most complex and challenging genomes (among several crops) for applying genetic improvement (Thirugnanasambandam *et al.*, 2018). The *Saccharum* genus, belonging to the Poaceae family, has both wild (*S. spontaneum* and *S. robustum*) and cultivated species (*S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinensis* and *S. edule*) (Zhang *et al.*, 2012, Morais *et al.*, 2015). Among these, *S. officinarum* and *S. spontaneum* present interesting economic features, such as high sucrose content and high stress resistance, respectively (Panje and Babu, 1960, Chai *et al.*, 2023).

Currently, modern varieties of sugarcane result from the interspecific crossing between female *S. officinarum* and male *S. spontaneum* (Morais *et al.*, 2015). These cultivars may have a complex aneuployploid genome with 100-300 chromosomes, 80% of which are from *S. officinarum*, 10%–20% from *S. spontaneum* and 5-17 % from recombination of chromosomes of the two species (Cuadrado *et al.*, 2004, D'Hont, 2005, Zhang *et al.*, 2019, Thirugnanasambandam *et al.*, 2023). In addition, sugarcane has low fertility when grown in natural conditions, as well as being propagated vegetatively and not through seeds (Basso *et al.*, 2017, Budeguer *et al.*, 2021). These characteristics make both the traditional breeding process and improvement via genetic transformation a challenge to enhance interesting economic traits, such as sucrose content, increased tolerance to water deficit, greater production of biomass and ethanol (Ingelbrecht *et al.*, 1999, Morais *et al.*, 2015, Budeguer *et al.*, 2021). In order to achieve those goals, tools aiming genetic improvement of sugarcane cultivars employ mostly *Agrobacterium*-mediated transformation and biolistics (Budeguer *et al.*, 2021, Dessoky *et al.*, 2021, Verma *et al.*, 2022).

Increasing productivity or expanding the sugarcane cultivation area in Brazil may face different challenges due to environmental stresses specific to each region, such as temperature differences, drought, nutritional deficiency, metal toxicity, among others (Ramiro *et al.*, 2016, Cursi *et al.*, 2022, Li *et al.*, 2023). In this sense, genetic transformation studies have been carried out to avoid the loss of sugarcane productivity due to low resistance to abiotic factors, such as drought. The introduction of the Bax Inhibitor-1 gene from *Arabidopsis thaliana* (*AtBI-1*) into *S. officinarum* (variety RB835089) confers greater drought tolerance (Ramiro *et al.*, 2016). The expression of this gene (*BI-1*) in plants is upregulated by several stress stimuli, including pathogens, as well as oxidative and thermal stress (Watanabe and Lam, 2009). Other genes can also increase tolerance to drought, such as the *BRK1* gene, whose overexpression in transgenic sugarcane (*S. spontaneum* clone IND 00–1037) leads to increased resistance to this type of stress and culminates in increased sugarcane productivity (Narayan *et al.*, 2023). Under drought stress, *BRK1* acts to modulate actin polymerization and formation of interconnected marginal lobes in the epidermal cells of sugarcane leaves (Narayan *et al.*, 2023).

Another factor that negatively affects sugarcane productivity is insect attacks. Around 80 species of pests are able to attack sugarcane fields, resulting in significant annual losses for the sugar-energy sector (Embrapa, 2022). In Brazil, the stem borer insect (*Diatraea saccharalis*) is a major problem, since it can penetrate the stalks, pierce, and feed on the internal tissue of the plant, compromising the structure and flow of nutrients (Rossato *et al.*, 2011, da Silva *et al.*, 2022). In order to generate cultivars that are more resistant to this pest, the insertion of a resistance gene (*cry1Ac*) from the gram-positive bacterium *Bacillus thuringiensis* in sugarcane seems to be a great alternative to reduce the impact caused by this insect (Zhou *et al.*, 2018, Dessoky *et al.*, 2020, de Oliveira *et al.*, 2022). This gene, also inserted in other plant species, is associated with improved agronomic efficiency and improved product quality due to greater resistance to insects (Zhao *et al.*, 2003, Narendran *et al.*, 2013, Naqvi *et al.*, 2017). Despite the challenges observed in the genetic improvement of sugarcane, transgenics favours the formation of more productive cultivars, more resistant to biotic and abiotic factors and with characteristics desired in the economic sector (Marone *et al.*, 2023).

Soybean

Soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill), belonging to the Fabaceae family, have been considered the main crop of Brazilian agriculture since the 1970s (Bicudo da Silva *et al.*, 2019). The notorious relevance of soybeans in Brazil has encouraged the carrying out of several studies with the aim of producing new cultivars with characteristics desired by the market (Todeschin *et al.*, 2019, Campos *et al.*, 2022). Among these characteristics, we can highlight greater resistance to diseases, high productivity, shorter cycle, greater resistance to insects, among others (Bel *et al.*, 2019, Yijun *et al.*, 2022). In this sense, genetic engineering experiments are used to create genetically modified plants resistant to pests in various agroecosystems (Roush and Mckenzie 1987). These plants, known as *Bt* crops, express genes from the bacteria *Bacillus thuringiensis* that lead to the production of proteins with insecticidal effects (Bortolotto *et al.*, 2014, Bel *et al.*, 2019). Soybean *Bt* MON 87701 × MON 89788 is one of the examples of modified soybeans and efficiently targets a variety of species including *Anticarsia gemmatalis* (Velvetbean caterpillar) and *Chrysodeixis includens* (Soybean looper) (Bernardi *et al.*, 2012).

The focus of genetic improvement on developing more pest-resistant cultivars occurs because soybean production in Brazil is affected by severe episodes of invasions by non-native arthropod species (Pozebon *et al.*, 2020). These invasive arthropods strongly impact the harvest, reducing its productivity and generating impacts on biodiversity, food security, health and the economy (Pozebon *et al.*, 2020, Lin *et al.*, 2022). In order to facilitate this process, Embrapa Soja offers a portfolio of genetically improved and highly productive soybean cultivars, tested and regionally adapted, with greater security in controlling caterpillars and other pests (Rufino *et al.*, 2016).

Corn or Maize

Corn or maize (*Zea mays*), belonging to the Poaceae family, is one of the main cereal crops in the world, being widely used in human nutrition and animal feed production, due to its nutritional qualities, as mentioned before (Zhang *et al.*, 2021). In Brazil, the estimated production of corn grains in 2024 is 124.3 million tons, an increase compared to the production obtained in 2019, of 101 million tons (CropLife Brasil, 2020, IBGE, 2023). In the 2019/2020 harvest, 131 out of 196 of the cultivars available in Brazil were transgenic, while 35 were conventional cultivars (Pereira Filho and Borghi, 2020). Due to its phenotypic and genotypic diversity, as well as its global importance, corn is a model vegetable widely studied in fundamental research (Liu *et al.*, 2019).

As previously mentioned, knowing the genetic features is crucial for the application of plant breeding. The maize genome is available in the MaizeGDB database (<https://www.maizegdb.org/>) and it is approximately 2.4 Gb, with 85% of the genome composed of dispersed transposable elements (Schnable *et al.*, 2009, Tenailon *et al.*, 2011). Unlike other grasses, the maize genome arose from a tetraploid event exclusive to its lineage, which culminated in the formation of a diploid genome, with the haploid number of chromosomes equal to 10 ($2n = 2x = 20$) (Lawrence *et al.*, 2008). Similar to sugarcane, corn is also a target for genetic improvement through the formation of fertile and stable transgenics, through biolistic and *Agrobacterium*-mediated transformation (Yassitepe *et al.*, 2021, Zobrist *et al.*,

2021). The first attempts to generate transgenic corn dates to 1996, in the USA, aiming to increase its productivity (Nannas and Dawe, 2015). To date, several objectives have been set to improve corn in other aspects, such as improve its resistance to abiotic factors (Tian *et al.*, 2023).

One of the limiting factors for corn productivity is water deficit (Tian *et al.*, 2023). Because of this, the identification of genetic components related to corn resistance to drought is one of the major objectives of biotechnology and genetic improvement (Woodhouse *et al.*, 2010, Lin *et al.*, 2020, Tian *et al.*, 2023). In this sense, different whole-genome association studies (GWAS) are carried out to determine which genes are potential to overcome this bottleneck (Xiao *et al.*, 2017, Lin *et al.*, 2020). Wang *et al.*, (2016) observed a natural variation in the *ZmVPP1* gene encoding a vacuolar-type H⁺ pyrophosphatase, an enzyme that acts in maintaining the ionic and energetic homeostasis of the plant cell. This variation appears to contribute significantly to the plant's response to drought. In fact, transgenic maize with enhanced expression of this gene exhibits greater drought tolerance (Wang *et al.*, 2015). Furthermore, the identification of another stress-related gene (*ZmSRG7*) was carried out through transcriptome sequencing results. Overexpression of the *ZmSRG7* gene is capable of increasing drought and salt tolerance in corn (Wei *et al.*, 2022) and can result in an increase in productivity.

FINAL CONSIDERATIONS

The agricultural production in Brazil, which is driven by different products, plays an essential role in global food security and is a major pillar in the Brazilian economy. These products are mainly used as food, yet they have a wide biotechnological application, especially as raw material for industrial sectors, such as bioenergy, and medicine. When employed for bioenergy production, especially ethanol, these products help mitigating the waste footprint, as well as changing the national energy matrix. Therefore, biotechnology strategies are crucial to increase the productivity, sustainability and competitiveness of Brazilian agribusiness. In this context, genetic improvement emerges as a field worth to invest in research and development, along with practices of sustainable agricultural and the valorisation of biodiversity.

REFERENCES

- Abbade, E. B. (2021). *Estimating the potential for nutrition and energy production derived from maize (Zea mays L.) and rice (Oryza sativa L.) losses in Brazil. Waste Management, 134*, 170–176.
- ANEC. (2023). *Brazilian grain exports: 2022–2023. Disponível em <https://anec.com.br/article/brazilian-grain-exports-2022-2> (Acesso em 15/03/2025).*
- Basso, M. F., Da Cunha, B. A. D. B., Ribeiro, A. P., *et al.* (2017). *Improved genetic transformation of sugarcane (Saccharum spp.) embryogenic callus mediated by Agrobacterium tumefaciens. Current Protocols in Plant Biology, 2*, 221–239.
- Bel, Y., Zack, M., Narva, K., & Escriche, B. (2019). *Specific binding of Bacillus thuringiensis Cry1Ea*

toxin, and Cry1Ac and Cry1Fa competition analyses in Anticarsia gemmatalis and Chrysodeixis includens. Scientific Reports, 9, 1–7.

Bernardi, O., Malvestiti, G. S., Dourado, P. M., Oliveira, W. S., Martinelli, S., Berger, G. U., Head, G. P., & Omoto, C. (2012). *Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against Anticarsia gemmatalis and Pseudoplusia includens (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. Pest Management Science, 68(7), 1083–1091.*

Bicudo da Silva, R. F., Batistella, M., Moran, E., Celidonio, O. L. D. M., & Millington, J. D. A. (2020). *The Soybean Trap: Challenges and Risks for Brazilian Producers. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 12.*

Bortolotto, O. C., Silva, G. V., Freitas Bueno, A., Pomari, A. F., Martinelli, S., Head, G. P., Carvalho, R. A., & Barbosa, G. C. (2014). *Development and reproduction of Spodoptera eridania (Lepidoptera: Noctuidae) and its egg parasitoid Telenomus remus (Hymenoptera: Platygasteridae) on the genetically modified soybean (Bt) MON 87701 × MON 89788. Bulletin of Entomological Research, 104(6), 724–730.*

Budeguer, F., Enrique, R., Perera, M. F., Racedo, J., Castagnaro, A. P., Noguera, A. S., & Welin, B. (2021). *Genetic Transformation of Sugarcane, Current Status and Future Prospects. Frontiers in Plant Science, 12, 768609.*

Cai, T., Ge-Zhang, S., & Song, M. (2023). *Anthocyanins in metabolites of purple corn. Frontiers in Plant Science, 14, 1154535.*

Campos, L. H. R., Cabral, P. D. S., Silva, F. H. L., Castoldi, G., & Marques, R. P. (2022). *Genetic progress of 18 years of a soybean breeding program for the Brazilian Central-West. Revista Ciência Agronômica, 54, e20217833.*

Cao, S. L., Masilamany, P., Li, W. B., & Pauls, K. P. (2014). *Agrobacterium tumefaciens-mediated transformation of corn (Zea mays L.) multiple shoots. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 28(2), 208–216.*

Carpio, L. G. T., & Souza, F. S. (2017). *Optimal allocation of sugarcane bagasse for producing bioelectricity and second generation ethanol in Brazil: Scenarios of cost reductions. Renewable Energy, 111, 771–780.*

Cerri, C. E. P., You, X., Cherubin, M. R., Moreira, C. S., Raucchi, G. S., Castigioni, B. A., Alves, P. A., Cerri, D. G. P., Mello, F. F. C., & Cerri, C. C. (2017). *Assessing the greenhouse gas emissions of Brazilian soybean biodiesel production. PLoS ONE, 11, 1–14.*

Chai, J., Xue, L., Lei, J., Yao, W., Zhang, M., Deng, Z., & Yu, F. (2023). *All nonhomologous chromosomes and rearrangements in Saccharum officinarum × Saccharum spontaneum allopolyploids identified by oligo-based painting. Frontiers in Plant Science, 14, 1176914.*

Coêlho, J. D. (2023). *Milho: Produção e Mercados. Caderno Setorial ETENE, 8, 291.*

Colombo, R., Ferron, L., & Papetti, A. (2021). *Colored corn: An up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. Molecules, 26, 1–42.*

CONAB. (2025). *Safra de grãos está estimada em 325,7 milhões de toneladas no ciclo 2024/25.* Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5929-safra-de-graos-esta-estimada-em-325-7-milhoes-de-toneladas-no-ciclo-2024-25> (Acesso em 12 fev. 2025).

CropLife Brasil. (2020). *Milho, a evolução de uma cultura milenar.* Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/milho-a-evolucao-de-uma-cultura-milenar/> (Acesso em 27 nov. 2023).

- Cuadrado, A., Acevedo, R., Moreno Díaz de la Espina, S., Jouve, N., & De la Torre, C. (2004). *Genome remodelling in three modern S. officinarum x S. spontaneum sugarcane cultivars*. Journal of Experimental Botany, 55, 847–854.
- Cui, H., Si, X., Tian, J., Lang, Y., Gao, N., Tan, H., Bian, Y., Zang, Z., Jiang, Q., Bao, Y., & Li, B. (2022). *Anthocyanins-loaded nanocomplexes comprising casein and carboxymethyl cellulose: stability, antioxidant capacity, and bioaccessibility*. Food Hydrocolloids, 122, 1–11.
- Cursi, D. E., Hoffmann, H. P., Barbosa, G. V. S., et al. (2022). *History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil*. Sugar Tech, 24, 112–133.
- D'Hont, A. (2005). *Unraveling the genome structure of polyploids using FISH and GISH; examples of sugarcane and banana*. Cytogenetic and Genome Research, 109, 27–33.
- Da Silva, L. C. D., Ferreira, F. I. P., Dezoti, L. A., Nascimento, C. T., Orikasa, C., Takita, M. A., & De Medeiros, A. H. (2022). *Diatraea saccharalis harbors microorganisms that can affect growth of sugarcane stalk-dwelling fungi*. Brazilian Journal of Microbiology, 53, 255–265.
- De Oliveira, W. S., Sakuno, C. I. R., Miraldo, L. L., Tavares, M. A. G. C., Komada, K. M. A., Teresani, D., Santos, J. L. X., & Huang, F. (2022). *Varied frequencies of resistance alleles to Cry1Ab and Cry1Ac among Brazilian populations of the sugarcane borer, Diatraea saccharalis (F.)*. Pest Management Science, 78, 5150–5163.
- Dessoky, E. S., Ismail, R. M., Elarabi, N. I., Abdelhadi, A. A., & Abdallah, N. A. (2021). *Improvement of sugarcane for borer resistance using Agrobacterium mediated transformation of cry1Ac gene*. GM Crops & Food, 12, 47–56.
- EMBRAPA. (2022). *Praga*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/fitossanidade/pragas> (Acesso em 9 out. 2023).
- Gandam, P. K., Chinta, M. L., Pabbathi, N. P. P., et al. (2022). *Second-generation bioethanol production from corncob – A comprehensive review on pretreatment and bioconversion strategies, including techno-economic and lifecycle perspective*. Industrial Crops and Products, 186, 115245.
- Guo, B., Sun, L., Jiang, S., et al. (2022). *Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production*. Theoretical and Applied Genetics, 135, 4095–4121.
- IBGE. (2023). *Produção de cana-de-açúcar*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br> (Acesso em 14 jan. 2025).
- IBGE. (2023). *Produção de milho em grão*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br> (Acesso em 14 jan. 2025).
- IBGE. (2023). *Produção de soja*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br> (Acesso em 14 jan. 2025).
- Indah, S., Helard, D., & Sasmita, A. (2016). *Utilization of maize husk (Zea mays L.) as low-cost adsorbent in removal of iron from aqueous solution*. Water Science and Technology, 73, 2929–2935.
- Ingelbrecht, I. L., Irvine, J. E., & Mirkov, T. E. (1999). *Posttranscriptional gene silencing in transgenic sugarcane: Dissection of homology-dependent virus resistance in a monocot that has a complex polyploid genome*. Plant Physiology, 119, 1187–1198.

- Jing, P., & Giusti, M. M. (2005). *Characterization of anthocyanin-rich waste from purple corncobs (Zea mays L.) and its application to color milk*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 8775–8781.
- Lawrence, C. J., Harper, L. C., Schaeffer, M. L., Sen, T. Z., Seigfried, T. E., & Campbell, D. A. (2008). *MaizeGDB: the maize model organism database for basic, translational, and applied research*. International Journal of Plant Genomics, 2008, 496957.
- Li, A. M., Liao, F., Wang, M., et al. (2023). *Transcriptomic and proteomic landscape of sugarcane response to biotic and abiotic stressors*. International Journal of Molecular Sciences, 24, 8913.
- Li, Q., Heist, E. P., & Moe, L. A. (2016). *Bacterial community structure and dynamics during corn-based bioethanol fermentation*. Microbial Ecology, 71(2), 409–421.
- Lin, F., Chhapekar, S. S., Vieira, C. C., et al. (2022). *Breeding for disease resistance in soybean: a global perspective*. Theoretical and Applied Genetics, 135, 3873–3874.
- Lin, M., Matschi, S., Vasquez, M., et al. (2020). *Genome-wide association study for maize leaf cuticular conductance identifies candidate genes involved in the regulation of cuticle development*. G3: Genes, Genomes, Genetics, 10(5), 1671–1683.
- Liu, J., Fernie, A. R., & Yan, J. (2019). *The past, present, and future of maize improvement: domestication, genomics, and functional genomic routes toward crop enhancement*. Plant Communications, 1, 100010.
- Liu, X. X., Li, S. H., Chen, J. Z., Sun, K., Wang, X. J., Wang, X. G., & Hui, R. T. (2012). *Effect of soy isoflavones on blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials*. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases, 22, 463–470.
- Maga, D., Thonemann, N., Hiebel, M., Sebastião, D., Lopes, T. F., Fonseca, C., & Gírio, F. (2019). *Comparative life cycle assessment of first- and second-generation ethanol from sugarcane in Brazil*. International Journal of Life Cycle Assessment, 24, 266–270.
- Mahmud, M. A., & Anannya, F. R. (2021). *Sugarcane bagasse – A source of cellulosic fiber for diverse applications*. Heliyon, 7(8), e07771.
- Maj, G., Krzaczek, P., Gołębiowski, W., Słowik, T., Szyszak-Bargłowicz, J., & Zajac, G. (2022). *Energy consumption and quality of pellets made of waste from corn grain drying process*. Sustainability, 14(13), 8129. <https://doi.org/10.3390/su14138129>
- Marone, D., Mastrangelo, A. M., & Borrelli, G. M. (2023). *From transgenesis to genome editing in crop improvement: Applications, marketing, and legal issues*. International Journal of Molecular Sciences, 24, 7122. <https://doi.org/10.3390/ijms24087122>
- Morais, L. K., Cursi, D. E., Santos, J. M., et al. (2015). *Melhoramento genético de cana-de-açúcar*. Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- Matos, M., Santos, F., & Eichler, P. (2020). *Sugarcane world scenario*. In *Sugarcane biorefinery: Technology and perspectives* (pp. xx–xx). Academic Press.
- Nachiluk, K. (2021). *Alta na produção e exportações de açúcar marcam a safra 2020/21 de cana*. Análises e Indicadores do Agronegócio, 16(6), 1–5.
- Nannas, N. J., & Dawe, R. K. (2015). *Genetic and genomic toolbox of Zea mays*. Genetics, 199(3), 655–669. <https://doi.org/10.1534/genetics.114.172882>

- Naqvi, R. Z., Asif, M., Saeed, M., Asad, S., Khatoon, A., Amin, I., Mukhtar, Z., Bashir, A., & Mansoor, S. (2017). *Development of a triple gene Cry1Ac-Cry2Ab-EPSPS construct and its expression in Nicotiana benthamiana for insect resistance and herbicide tolerance in plants. Frontiers in Plant Science, 8*, 55. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00055>
- Narayan, J. A., Manoj, V. M., Nerkar, G., et al. (2023). *Transgenic sugarcane with higher levels of BRK1 showed improved drought tolerance. Plant Cell Reports, 42*, 1611–1628. <https://doi.org/10.1007/s00299-023-03011-2>
- Narendran, M., Deole, S. G., Harkude, S., Shirale, D., Nanote, A., Bihani, P., Parimi, S., Char, B. R., & Zehr, U. B. (2013). Efficient genetic transformation of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and generation of insect-resistant transgenic plants expressing the *cry1Ac* gene. *Plant Cell Reports, 32*, 1191–1198.
- Ochiai, A. (2023). Discovery of new functions of food proteins and their structural development for multifunctional applications. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 87*, 1102–1110.
- Panje, R. R., & Babu, C. N. (1960). Studies in *Saccharum spontaneum* distribution and geographical association of chromosome numbers. *Cytologia, 25*, 152–172.
- Pellegrina, H. S. (2022). Trade, productivity, and the spatial organization of agriculture: Evidence from Brazil. *Journal of Development Economics, 156*(C).
- Pereira Filho, I. A., & Borghi, E. (2020). *Sementes de milho: nova safra, novas cultivares e continua a dominância dos transgênicos* (59 p.). Embrapa Milho e Sorgo.
- Pozebon, H., Marques, R. P., Padilha, G., O'Neal, M., Valmorbidia, I., Bevilaqua, J. G., Tay, W. T., & Arnemann, J. A. (2020). *Arthropod invasions versus soybean production in Brazil: A review. Journal of Economic Entomology, 113*, 1591–1608.
- Rahman, M., et al. (2019). *Molecular breeding approaches for disease resistance in sugarcane*. In S. H. Wani (Ed.), *Disease resistance in crop plants*. Springer.
- Ramiro, D. A., Melotto-Passarim, D. M., Barbosa, M. A., et al. (2016). *Expression of Arabidopsis Bax Inhibitor-1 in transgenic sugarcane confers drought tolerance. Plant Biotechnology Journal, 14*, 1826–1837.
- Ramos, J. C., Dias, D. V. S., Monteiro, J. R., Rogalewski, K. P., Pereira, L. G., & Costa, R. C. (2018). *Fabricação de papel utilizando celulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata, como aditivo. Revista Técnico Científica do IFSC, 2*(7), 40–51.
- Rossato Jr, J. A. S., Fernandes, O. A., Mutton, M. J. R., Higley, L. G., & Madaleno, L. L. (2011). *Sugarcane response to two biotic stressors: Diatraea saccharalis and Mahanarva fimbriolata. International Sugar Journal, 113*, 453–455.
- Roush, R. T., & McKenzie, J. A. (1987). *Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. Annual Review of Entomology, 32*, 361–380.
- Rufino, C. G. R., Sôsa-Gomez, D. R., Adegas, F. S., et al. (2016). *Portfólio Embrapa de Cultivares de Soja. Safra 2015/2016. Fronteira Agrícola, 10*.
- Salatein, N. M., Ibrahim, R. A., & Fahim, I. S. (2024). *Sustainable utilization of sugarcane bagasse for wood-based panels: A promising approach for waste management in Egypt. Journal of Engineering Research*.

- Santos, D. C. L. P., Correa, C., Alves, Y. A., Souza, C. G., & Boloy, R. A. M. (2023). *Brazil and the world market in the development of technologies for the production of second-generation ethanol*. Alexandria Engineering Journal, 67, 153–170.
- Santos, L. A. dos, Valença, R. B., Silva, L. C. S., et al. (2020). *Methane generation potential through anaerobic digestion of fruit waste*. Journal of Cleaner Production, 256.
- Schnable, P. S., Ware, D., Fulton, R. S., et al. (2009). *The B73 maize genome: Complexity, diversity, and dynamics*. Science, 326, 1112–1115.
- Singh, P., Singh, S. N., Tiwari, A. K., Pathak, S. K., Singh, A. K., Srivastava, S., & Mohan, N. (2019). *Integration of sugarcane production technologies for enhanced cane and sugar productivity targeting to increase farmers' income: Strategies and prospects*. 3 Biotech, 9, 48.
- Song, H., Taylor, D. C., & Zhang, M. (2023). *Bioengineering of soybean oil and its impact on agronomic traits*. International Journal of Molecular Sciences, 24, 1–23.
- Souza, A. F., Rodriguez, D. M., Ribeaux, D. R., et al. (2016). *Waste soybean oil and corn steep liquor as economic substrates for bioemulsifier and biodiesel production by Candida lipolytica UCP 0998*. International Journal of Molecular Sciences, 17, 1–18.
- Soliani. (2022). *Logistics and transportation in Brazilian agribusiness*. Journal of Economics, 10(3).
- Tenaillon, M. I., Hufford, M. B., Gaut, B. S., & Ross-Ibarra, J. (2011). *Genome size and transposable element content as determined by high-throughput sequencing in maize and Zea luxurians*. Genome Biology and Evolution, 3, 219–229.
- Thirugnanasambandam, P. P., Hoang, N. V., & Henry, R. J. (2018). *The challenge of analyzing the sugarcane genome*. Frontiers in Plant Science, 9, 616.
- Tian, T., Wang, S., Yang, S., et al. (2023). *Genome assembly and genetic dissection of a prominent drought-resistant maize germplasm*. Nature Genetics, 55, 496–506.
- Todeschin, M. T., Milioli, A. S., Rosa, N. A., Dallacorte, L. V., Panho, M. C., Marchese, J. A., & Benin, G. (2019). *Soybean genetic progress in South Brazil: Physiological, phenological and agronomic traits*. Euphytica, 215, 124.
- Trece, J., & Considera, C. (2023). *Soja deve explicar 20% do crescimento do PIB brasileiro em 2023*. Available at: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/soja-deve-explicar-20-do-crescimento-do-pib-brasileiro-em-2023>. Accessed 15 Feb. 2025.
- UNICA. (2024). *Safra 2023/2024 termina como a maior da história*. Available at: <https://unica.com.br/noticias/safra-2023-2024-termina-como-a-maior-da-historia/>. Accessed 12 Feb. 2025.
- Verma, K. K., Song, X. P., Budeguer, F., et al. (2022). *Genetic engineering: An efficient approach to mitigating biotic and abiotic stresses in sugarcane cultivation*. Plant Signaling & Behavior, 17.
- Wang, D., Su, R., Xiong, Y., Wang, Y., & Wang, W. (2022). *Sugarcane-seed-cutting system based on machine vision in pre-seed mode*. Sensors, 2, 22.
- Wang, K., & Tester, J. W. (2023). *Sustainable management of unavoidable biomass wastes*. Green Energy Resources, 1, e100005.
- Wang, X., Wang, H., Liu, S., Ferjani, A., Li, J., Yan, J., Yang, X., & Qin, F. (2016). *Genetic variation in ZmVPP1 contributes to drought tolerance in maize seedlings*. Nature Genetics, 48, 1233–1241.

- Watanabe, N., & Lam, E. (2009). *Bax Inhibitor-1, a conserved cell death suppressor, is a key molecular switch downstream from a variety of biotic and abiotic stress signals in plants*. International Journal of Molecular Sciences, 10, 3149–3167.
- Wei, X., Fan, X., Zhang, H., et al. (2022). *Overexpression of ZmSRG7 improves drought and salt tolerance in maize (Zea mays L.)*. International Journal of Molecular Sciences, 23, 13349.
- Woodhouse, M. R., Schnable, J. C., Pedersen, B. S., Lyons, E., Lisch, D., Subramaniam, S., & Freeling, M. (2010). *Following tetraploidy in maize, a short deletion mechanism removed genes preferentially from one of the two homologs*. PLoS Biology, 8, e1000409.
- Xiao, Y., Liu, H., Wu, L., Warburton, M., & Yan, J. (2017). *Genome-wide association studies in maize: Praise and stargaze*. Molecular Plant, 10, 359–374.
- Yassitepe, J. E. C. T., da Silva, V. C. H., Hernandez-Lopes, J., et al. (2021). *Maize transformation: From plant material to the release of genetically modified and edited varieties*. Frontiers in Plant Science, 12, 766702.
- Yijun, G., Zhiming, X., Jianing, G., et al. (2022). *The intervention of classical and molecular breeding approaches to enhance flooding stress tolerance in soybean – A review*. Frontiers in Plant Science, 13, 1085368.
- Zhang, F., Wu, J., Sade, N., et al. (2021). *Genomic basis underlying the metabolome-mediated drought adaptation of maize*. Genome Biology, 22, 260.
- Zhang, J., Nagai, C., Yu, Q., et al. (2012). *Genome size variation in three Saccharum species*. Euphytica, 185, 511–519.
- Zhang, J., Zhang, Q., Li, L., et al. (2019). *Recent polyploidization events in three Saccharum founding species*. Plant Biotechnology Journal, 17, 264–274.
- Zhou, D., Liu, X., Gao, S., et al. (2018). *Foreign cry1Ac gene integration and endogenous borer stress-related genes synergistically improve insect resistance in sugarcane*. BMC Plant Biology, 18, 342.
- Zhou, X., Li, G., Liu, F., & Li, N. (2022). *Production of ethanol from corn straw based on chemical looping gasification: Economic analysis*. Bioresource Technology, 360, 127568.
- Zobrist, J. D., Martin-Ortigosa, S., Lee, K., Azanu, M. K., Ji, Q., & Wang, K. (2021). *Transformation of teosinte (Zea mays ssp. parviglumis) via biolistic bombardment of seedling-derived callus tissues*. Frontiers in Plant Science, 12, 773419.

Uma Cesta de Bens e Serviços Territoriais Através do Açaí e do Tucumã: Uma Discussão para o Desenvolvimento Territorial para as Cidades de Anamã e Beruri no Estado do Amazonas

A Basket of Territorial Goods and Services through Açaí and Tucumã: A Discussion on Territorial Development in the Cities of Anamã and Beruri, State of Amazonas

José Félix da Costa Filho

Doutorando em Biotecnologia - UFAM

Reinaldo Costa Corrêa

Doutor em Geografia (Geografia Humana). Pós-Doutorado – UJF/IGA/ PACTES – 2009. Prof. Orientador do Programa Mestrado profissional em Gestão de Areas Protegidas (INPA/MPGAP e em Gestão em Biotecnologia – UFAM

RESUMO

A discussão de uma cesta de bens e serviços territoriais é uma proposta de melhoria de mais oportunidades para os moradores das cidades de Anamã e Beruri no Estado do Amazonas. Neste direcionamento, buscamos a valorização das frutas nativas que são produzidas nos próprios municípios que são o açaí e o tucumã. Em inúmeras vezes estas frutas que são oriundas dessas cidades saem de suas origens para outros territórios, perdendo suas marcas e muitas das vezes até suas originalidades. Sendo que, quando estas frutas saem dos seus territórios, são os próprios municípios que perdem na arrecadação de encargos, deixando para trás um déficit no recolhimento de impostos e com isso, os serviços públicos destas cidades poderão ser reduzidos para os habitantes que são residentes e domiciliados nestas cidades.

Palavras-chave: gestão pública; frutas nativas; beneficiamento; recursos financeiros.



ABSTRACT

The discussion surrounding a basket of territorial goods and services represents a proposal to improve opportunities for the residents of the municipalities of Anamá and Beruri in the state of Amazonas. In this regard, the focus is on enhancing the value of native fruits produced within these municipalities—namely, açaí and tucumã. Frequently, these fruits are transported from their places of origin to other regions, losing their branding and, in many cases, even their originality. As these products leave their territories, the municipalities themselves experience a reduction in revenue from local levies, resulting in tax collection deficits. Consequently, this may lead to the reduction of public services available to residents who live and are domiciled in these municipalities.

Keywords: public management; native fruits; processing; financial resources.

INTRODUÇÃO

Trazer a realidade de uma cesta de bens e serviços como investigação, não se enquadra como uma nova política pública para as cidades investigadas (Anamá e Beruri), mas sim uma discussão, ou mesmo uma reflexão sobre as frutas nativas (açaí e tucumã) que são produzidas, crescidas, coletados e distribuídas para inúmeras cidades, que vai desde a capital do estado, e até mesmo para outros países. Desta forma, o legado deixado por estas frutas nativas, nas cidades de origem ainda são mínimos, tendo em vista que, ainda nos faltam uma grande discussão, ou ainda um trabalho mais específico sobre a realidade da rotatividade destas frutas nativas.

Envolver o açaí e o tucumã em uma cesta de bens e serviços territoriais, é trazer a valorização da própria cultura, a realidade e as especificidades das cidades investigadas, não só através das frutas nativas, mas também para os diversos atores sociais que vai desde o produtor rural, os microempresários dos diversos níveis de produção dos municípios investigados e até mesmo em outros estados e países. Embora, aqui não retratamos as dimensões destas frutas, mas sim, sua grandiosidade econômica e sua importância para os atores que são alocados nestes municípios investigadas.

Em uma outra observação, se estas frutas recebessem alguns benefícios, para o desenvolvimento de outros produtos na própria localidade de onde elas são geradas, os resultados seriam mais claros, deixando um legado financeiro e até cultural, não só para os atores das cidades, mas também para uma melhor qualidade de vida, incentivando a permanência da população em seus territórios de origem e a valorização da própria terra.

Outro ponto fundamental aqui defendido e discutido, além da valorização do meio ambiente e da sustentabilidade ambiental, é o destino destas frutas nativas, visto que as mesmas passam por diversos processos, que vai de sua origem a um determinado destino e de localidades que vão além da biotecnologia, que é o foco de investigação, ou seja, quando estas frutas nativas, saem de suas origens e são exportadas para outros fins, para promoção de novas formas, as mesmas são utilizadas pela indústria, entramos aí em um outro processo, pois além de aplicarmos a inovação e o uso da biotecnologia, as mesmas são benéficas, porém, em outras localidades, deixando suas marcas e cultura em outros espaços territoriais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Trazer a Biotecnologia para a cesta de bens e serviços territoriais, para as cidades de Anamã e Beruri, é envolver os diversos atores existentes das referidas cidades em um processo construtivo e inovador, elevando assim, uma outra perspectiva para estes municípios, tendo em vista a sua realidade destas cidades, onde uma boa parte dos atores existentes são moradores que dependem dos próprios serviços que são oferecidos, não só pelo poder público, mas também pelos diversos microempresários, ou até mesmo pelos esforços pessoais e a luta pela sobrevivência, a partir das especificidades destas cidades. E ao trazermos a biotecnologia, trazemos aqui a sua trajetória, confirmado em:

A Embrapa começou a investir em biotecnologia na década de 1980 e continua a desenvolver a maior parte das pesquisas no país. Em Brasília, na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, foi montada a primeira equipe de pesquisadores trabalhando com clonagem de genes e desenvolvimento de tecnologias para a obtenção de plantas geneticamente modificadas. Atualmente, além da Embrapa, diversos laboratórios em universidades federais e estaduais e empresas privadas trabalham no país com plantas geneticamente modificadas (Miranda, Quesado, Ribeiro, Vasconcellos, Anjos, Salvador, 2019. p. 52).

Assim, a biotecnologia poder ser utilizada em diversas situações, porém aqui, podemos elucidar as seguintes especialidades que são as áreas de: farmacêutica, alimentícia, agroindústria, agropecuária, saúde humana, meio ambiente, o que evidencia sua multilateralidade e gama infindável de possibilidades de processos. Sem adentrar de forma aprofundada em cada uma dessas áreas da biotecnologia, por não ser esse o foco do presente estudo, entendemos que a biotecnologia farmacêutica é um dos maiores setores de investimento da economia mundial. Assim, temos:

A biotecnologia, em uma vertente sustentável, tem convergido esforços para a obtenção de variados produtos provenientes da biomassa. Nesse aspecto, muitos processos comuns em refinarias têm dado lugar à processos desenvolvidos em biorrefinarias, adaptados à síntese de biomoléculas, desde a produção de biocombustíveis, de enzimas, até produtos químicos naturais, área chamada de “química verde” (Almeida; Santos, 2020).

Criar uma cesta de bens e serviços a partir da realidade dos municípios de Anamã e Beruri, partimos das frutas existentes e das plantações do açaí e do tucumã. Desta forma, quando observamos esta realidade, nos propusemos a averiguar e até mesmo entender a cultura destas plantas em circulação nas cidades investigadas. Partindo destas observações, olhamos para o que há de produção de bens e serviços na realidade de cada uma das cidades em discussão. Assim, se olharmos para estas plantas nativas, como prioridade e perspectiva de rendimentos econômicos, o desenvolvimento cultural e social destas cidades é a certeza de novo tempo para uma boa parte da população. Aqui nesta realidade, mencionamos as cidades de Anamã e Beruri no Estado do Amazonas.

Partindo desta realidade, Oliveira (2010, p. 32) nos adverte:

Em relação a essas questões, e como produto delas, torna-se fundamental analisar e discutir os problemas ambientais e a qualidade de vida nas cidades em relação às dimensões do modo de vida urbano, permitindo vincular a deterioração da qualidade de vida nas cidades e na própria degradação ambiental com as políticas territoriais. Dessa forma, a análise do processo de expansão do espaço urbano sobre áreas protegidas ambientalmente não é um fim em si mesma, e nem o ponto de chegada desta reflexão.

Partindo destes pressupostos, é possível afirmarmos que independentemente da realidade de cada uma das cidades amazonenses, percebemos a importância dos seus produtos e dos seus serviços, ou até mesmo, de uma cultura que são geradas, ou produzidas em cada realidade. Assim, aqui no Estado do Amazonas em seus sessenta e dois municípios, temos uma diferenciação de produtos. Nas cidades de Anamá e Beruri, há uma contribuição cultural, social e econômica significativa para o Estado. Desta forma, entendemos a importância das produções de cada município, que mesmo nas suas tradições empíricas detectamos esta prática, através do consumo dos diversos produtos e bens produzidos nos municípios em questão. Assim, confirmamos em:

O aperfeiçoamento da técnica permitiu o aumento da produção e a geração de excedentes que poderiam ser guardados para o consumo em épocas mais difíceis. As aglomerações urbanas se multiplicaram, e a primitiva divisão de tarefas por sexo deu lugar à divisão de trabalho por categoria social. O campo era a fonte de desenvolvimento econômico-social, e a essa característica predominou não apenas entre as civilizações do antigo Egito e da Mesopotâmia, mas atravessou as civilizações clássicas a partir de 600 a. C. (Grécia e Roma) e alcançou a Idade Média (Moreira, 1998, p.75).

Ao percebermos, um grande número do consumo do açaí e do tucumã, ou até mesmo quando presenciamos um determinado produto, é o ápice para construirmos, discutirmos, criarmos, ou até mesmo pensar em um determinado produto para o crescimento das oportunidades, e acima de tudo, a qualidade de vida de seus moradores. Quaisquer municípios, tem suas especificidades em nível de produtos, bem como suas produções, ou até mesmo, componentes diversificados em cada realidade.

Trazer uma cesta de bens e serviços territoriais, para uma determinada realidade, é apresentar o (os) produtos de maior consumo e conhecidos de uma determinada realidade, localidade ou cidade. Desta forma, nas contribuições de Hirczak, (2008a), a elucidação de uma CBST, é fundamental que a população, e a comunidade de maneira ampla entenda e conheça a importância dos seus diversos produtos e edifiquem três fatores fundamentais, que são de extrema importância:

- a) bens e serviços complementares que possuam uma origem territorial comum e uma imagem coerente com o território, dificilmente substituíveis por bens genéricos;
- b) laços de proximidade e de confiança, os quais podem se expressar em sistemas de venda direta, gastronomia típica e visitas turísticas diversas ao patrimônio paisagístico, histórico e cultural do território.
- c) bens públicos que desempenham um papel de cenário, ou que colocam o produto em cena. Esses bens estão associados ao ambiente e à natureza (paisagem e biodiversidade), ao patrimônio e à cultura (arquitetura e monumentos), ou ainda à história e às tradições do território.

Partindo destas contribuições, trazemos mais uma afirmação sobre a importância e a afirmação sobre a biotecnologia como um:

(...) conhecimento de métodos e técnicas que incorporam seres vivos (ou seus produtos derivados) como elementos na produção industrial de bens e/ou serviços, auxiliando assim a resolver produtos úteis e resolver problemas. É preciso refletir acerca dos problemas ambientais, observando planos e medidas que favoreçam um ambiente equilibrado e sustentável. “Os relatórios publicados, em 2007, pelo

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apontaram a responsabilidade do homem no futuro do planeta, indicando que não podem ser proteladas as ações concretas de proteção do meio ambiente” (Malajovic, 2016, p.131).

Assim, entendemos que um produto em expansão com os seus diversos processos em determinada cultura, realidade, ou até mesmo em um determinado município, poderá ser entendido como biotecnologia. A mesma tem caráter multidisciplinar, englobando conceitos relacionados as Ciências Biológicas e da Saúde, Engenharias e Química, dentre outras áreas, e atua em três áreas principais: saúde humana, meio ambiente e agricultura (Miranda, 2019).

Aqui, no presente trabalho, trazemos e enfatizamos, a área do “meio ambiente”, visto que os produtos escolhidos, são o açaí e o tucumã. Porém, a partir do momento em que estas frutas saem do seu habitat, local de produção, as mesmas passam por diversas modificações, e assim, nas cidades de origem destas plantas nativas, no pensamento de (Miranda, 2019), passamos por esta área, visto que a mesma, torna-se fundamental para a biotecnologia, o meio ambiente e acima de tudo, a sustentabilidade ambiental. Assim, trazemos as seguintes contribuições:

A biotecnologia é toda tecnologia que utiliza organismos ou partes deles para a produção de bens e serviços. Ela é resultado da integração de diferentes áreas do conhecimento, como a Biologia, a Química e Engenharia. Não nos damos conta, mas nosso cotidiano é repleto de exemplos da aplicação do conhecimento produzido na área biotecnológica. Podemos destacar a produção de antibióticos, vacinas e hormônios (como a insulina) pela indústria farmacêutica; a produção de queijos, bebidas alcoólicas e iogurte pela indústria alimentícia; uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura; construção de plásticos biodegradáveis, uso de biorremediação e produção de biocombustíveis. Os três últimos exemplos citados estão inseridos em uma área denominada Biotecnologia Ambiental, multidisciplinar, que envolve aspectos científicos, tecnológicos, sociais, econômicos e legais. A Biotecnologia Ambiental se ocupa principalmente de: desenvolvimento e aplicação de técnicas e processos biológicos que envolvam tecnologias limpas e desenvolvimento sustentável, como, por exemplo, a produção de materiais biodegradáveis; resolução e/ou prevenção de problemas de contaminação ambiental (biorremediação); produção de combustíveis menos poluentes, alternativos aos derivados de petróleo (biocombustíveis), (Miranda, 2019, p. 10-11).

Partindo das contribuições acima, é possível entendermos a importância da biotecnologia para o meio ambiente e para a própria sustentabilidade em quaisquer das localidades. Olhando a biotecnologia em um cenário mais amplo, porém aqui fazendo o recorte para as cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas, observamos um desenho interdisciplinar e multidisciplinar, tendo em vista as riquezas de cada uma destas localidades, visto que o cenário amazônico é diversificado para os diversos conhecimentos, cabendo mais investimento em cada tópico, ou modalidade do conhecimento específico de cada realidade. Desta forma, o recorte em questão, são apenas as duas frutas nativas, que são o açaí e o tucumã, das cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas.

Entretanto, ao elaborarmos esse panorama sobre a realidade da biotecnologia, elucidamos aqui, a ética, a consciência ambiental e acima de tudo o uso da sustentabilidade ambiental e a valorização de cada uma destas realidades e a sua cultura das quais estes produtos, ou frutas são vistos para o processo de desenvolvimento econômico e social dos seus moradores, elevando também a qualidade de vida destes atores sociais, que aqui enfatizamos como: moradores alocados, as associações diversas, os microempresários e acima de tudo, o poder público.

Trazer a biotecnologia para a cesta de bens e serviços territoriais para as cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas, e trazer uma realidade dos produtos que são “elucidados” nos próprios territórios das Comarcas. Aqui, apresentamos algumas afirmações sobre biotecnologia como: “...é o uso de organismos vivos ou parte deles para a produção de bens e serviços” (Faleiro; Andrade, 2011). Com estas contribuições, entendemos que a Biotecnologia é uma ciência que cresce a cada dia, bem como em consonância com as ciências humanas, e ainda está em nosso cotidiano nos diversos seguimentos da sociedade, contribuindo assim, para o desenvolvimento da sociedade de maneira ampla.

Percebemos ainda, que a sociedade de maneira ampla, espera mais respostas da biotecnologia, visto que ela participa direta e indiretamente no desenvolvimento e cotidiano da sociedade. Desta forma, é perceptível, que a mesma tem reflexos, atua diretamente na rotina e qualidade de vida das pessoas, através das investigações científicas, equilíbrio ambiental, e ainda, uma melhor perspectiva de vida através da produção de alimentos com a sustentabilidade e a qualidade do meio ambiente.

Trazendo o olhar de Miranda *et al.* (2019, p.10), temos uma afirmação de que: a biotecnologia e toda tecnologia que utiliza organismos ou partes deles para a produção de bens e serviços. Ela e resultado da integração de diferentes áreas do conhecimento, como a Biologia, a Química e Engenharia. Assim, a contribuição mencionada, propõe-nos um olhar para os diversos conhecimentos sobre a biotecnologia e partindo destes pressupostos, as produções do açaí e do tucumã nestas localidades, poderemos ir além dos serviços básicos que já são realizados por estes atores, que vai além, não só da produção do vinho, dos sorvetes e outros produtos, gerados nos próprios municípios.

Bentes (2017, p. 25 apud: Nascimento *et al.*, 2008; Queiroz e Mochiutti, 2001) em sua Tese de Dourado, afirma-nos sobre a valorização do açaí e suas finalidades, que vai muito mais do que a coleta dos frutos e a sua venda para os diversos transeuntes existentes em quaisquer territórios, confirmado em:

O elevado índice de consumo do açaí no Brasil é devido a sua composição nutricional, sendo considerado um fruto rico em lipídios, proteínas, fibras, antocianinas e com apreciáveis quantidades de ferro, cálcio, fósforo e potássio, podendo ser utilizado como um alimento energético com elevado valor nutricional quando combinado com cereais, frutas e carboidratos de assimilação rápida para compensar sua deficiência em açúcares.

A contribuição da pesquisadora mencionada acima, é de extrema importância sobre as finalidades da biotecnologia, tendo em vista que estas frutas, são de conhecimento de toda as comunidades, das cidades investigadas. E partindo destas atribuições das frutas nativas, entendemos que os produtos já existem, faltando apenas, uma discussão com os diversos atores, envolvendo ainda o poder público, nas três esferas públicas que vai do municipal, o estadual e acima de tudo o federal, porém não dependendo exclusivamente dos poderes públicos, mas sim um incentivo fiscal para a esfera privada, causando assim, um interesse por parte das empresas privadas.

Outra perspectiva e contribuição trazida pela mesma autora, Bentes (2017, p. 28) em sua Tese de Dourado, sobre as diversidades interdisciplinares apresentada nos tucumãs, a mesma afirma que estes frutos indicam um potencial para o desenvolvimento da biotecnologia, visto que através deste fruto, nós poderemos trazer vários produtos para

alimentação em nosso dia a dia, e ainda a geração de renda e empregos nestas localidades especificadas que são as cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas.

O tucumazeiro ou Tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey) é uma palmeira típica da região amazônica, que possui um fruto composto por uma polpa oleosa e fibrosa de coloração alaranjada e de sabor agradável, que lembra nozes e castanhas frescas, rico em calorias, vitaminas e minerais, que é consumida na forma in natura como recheio de sanduíches na culinária regional, como suco denominado “vinho de tucumã”, cremes, sorvetes, biscoitos, recheios de pizzas, tortas e outros, sendo muito apreciado na culinária regional (Bentes, 2017, p. 25 *apud* Ferraz e Didonet, 2014; Barbosa *et al.*, 2009; Figliuolo e Silva, 2009).

Ao averiguarmos as contribuições da pesquisadora, mencionado nas informações acima, percebemos que o referido fruto, que é o tucumã, tem uma capacidade de grande relevância para a criação de inúmeros alimentos. Entretanto, se olhamos o potencial nutritivo deste fruto, podemos afirmar a sua capacidade de trazeremos a biotecnologia, a serviço desta especificidade.

Quando olhamos o vasto consumo do tucumã, não só nas cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas, entendemos que os atores existentes nestas localidades têm o conhecimento cultural, ou seja, ambos conhecem a realidade deste fruto, mas de forma muito objetiva para a sua alimentação complementar, ou seja, no café da manhã e para pequenos lanches.

Ainda em Bentes (2017, p. 29 *apud* Leitão, 2008) em sua Tese de Doutorado, afirmamos:

[...] os frutos do tucumã possuem grande potencial como matéria-prima para o desenvolvimento de grande variedade de produtos tecnológicos na indústria alimentícia e na indústria de cosméticos, como também pode ser utilizado na fabricação de ração, sendo considerados promissores para o desenvolvimento econômico agroindustrial da região, gerando oportunidades de emprego para a população local.

Diante dos contextos investigados apresentados sobre o açaí e o tucumã, percebemos que a criação de uma cesta de bens e serviços territoriais, através destas frutas nativas, tornar-se-á fundamental, não só para o crescimento social e econômico, mas também, para a criação de uma identidade cultural. Assim, através do conhecimento desta realidade, poderemos buscar uma identificação cultural, uma marca, ou até mesmo um conceito de qualidade, através destas frutas. E partindo destas realidades, onde estão estas frutas, é perceptível nitidamente o potencial destas frutas, visto que as mesmas poderão ultrapassar as barreiras territoriais e nesta perspectiva poderemos buscar novos parceiros, ou até mesmo investidores com incentivos de um capital privado, para aplicabilidade de novos investimentos, e valorização destas localidades.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi realizado uma abordagem quantitativa, qualitativa, de forma exploratória descritiva. Segundo Bisquerra (2000, p. 56), a metodologia quantitativa é tida como uma ciência que tem por objetivo estabelecer relações com saberes que propaguem uma explicação do fenômeno estudado, visto que o método de investigação permite a leitura das variáveis independentes.

Para a análise dos dados, foram realizados, o Método de Interpretações de Sentidos, que nos levará a um aprofundamento na interpretação dos resultados que foram coletados, entretanto sempre estabelecendo [...] confrontos entre: dimensão subjetiva e posicionamentos dos grupos de atores públicos e atores privados; texto e subtexto; texto e contexto; falas e ações mais amplas; cognição e sentimento, dentre outros aspectos (Gomes, 2008b, p. 105).

A pesquisa de campo foi realizada nas cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas com os diversos atores envolvidos, que foram: os públicos e privados e os associativos. A mesma assumiu como contexto empírico os territórios investigados das cidades de Anamá e Beruri, com as delimitações geográficas. Com o intuito de identificar o açaí e o tucumã, frutos específicos dos territórios e alvo da presente investigação. A figura abaixo, indica as localizações das visitas *in loco*.

Figura 1 - Localização geográfica dos municípios dos Municípios de Anamá e Beruri no Estado Amazonas.



Fonte: IBGE, 2010.

Foram realizadas vinte e duas entrevistas semiestruturadas com os atores públicos, privados e associativos. Cabe mencionar que a pesquisa exploratória, teve o intuito de inventariar de forma preliminar os produtos específicos das cidades investigadas, que foram o açaí e o tucumã, bem como os diversos atores implicados com iniciativas de valorização destas frutas nativas e suas especificidades para os referidos territórios.

As informações coletadas preliminarmente possibilitaram perceber, também, o anseio de alguns atores públicos correlacionado ao propósito de promover o desenvolvimento territorial. Entretanto, nessa etapa exploratória, não foi possível identificar, qual o nível de articulação que há, entre os atores públicos, os privados e os associativos, tema que representa um dos objetivos específicos da presente tese.

A partir dessa primeira etapa da pesquisa de campo foram identificados atores sociais que foram entrevistados na sequência da investigação: profissionais das prefeituras que atuam nos municípios da região, das secretarias municipais de agricultura e de turismo, das cooperativas e ou associações de produtores, dos sindicatos dos trabalhadores rurais, agricultores familiares e empresários.

Para tanto, utilizou-se como instrumentos metodológicos a observação participativa e a realização de entrevistas piloto. Nesse processo houve contato com agricultores familiares, atores da esfera pública, como integrantes da representatividade dos municípios. Através da revisão de estudos regionais e da pesquisa exploratória foi possível revelar, previamente, os principais produtos e serviços que apresentam algum grau de especificidade nos municípios, a exemplo do açaí e do tucumã.

Na sequência, da pesquisa exploratória, procedeu-se a elaboração dos roteiros de entrevistas, direcionados a dois diferentes públicos, a saber: os atores públicos (Apêndice A) e os atores privados e associativos (Apêndice B). Esses roteiros foram constituídos por três partes: a primeira contém questões preliminares, visando reconstituir a trajetória socioprofissional do entrevistado associado aos produtos e serviços territoriais existentes nas cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas.

A segunda parte, buscou-se identificar, a partir da percepção do entrevistado, os produtos considerados específicos do território, bem como as principais características históricas, culturais e ambientais que diferenciam o território dos demais e respectivos serviços associados tanto aos produtos quanto ao cenário (paisagem, clima, patrimônio histórico, gastronômico e o cultural das referidas localidades).

A terceira parte, se voltou para a análise do processo de governança territorial, identificando e caracterizando as ações coletivas e coordenadas, atuação em rede e espaços de concentração das principais iniciativas de valorização dos produtos e serviços de um padrão de qualidade territorial.

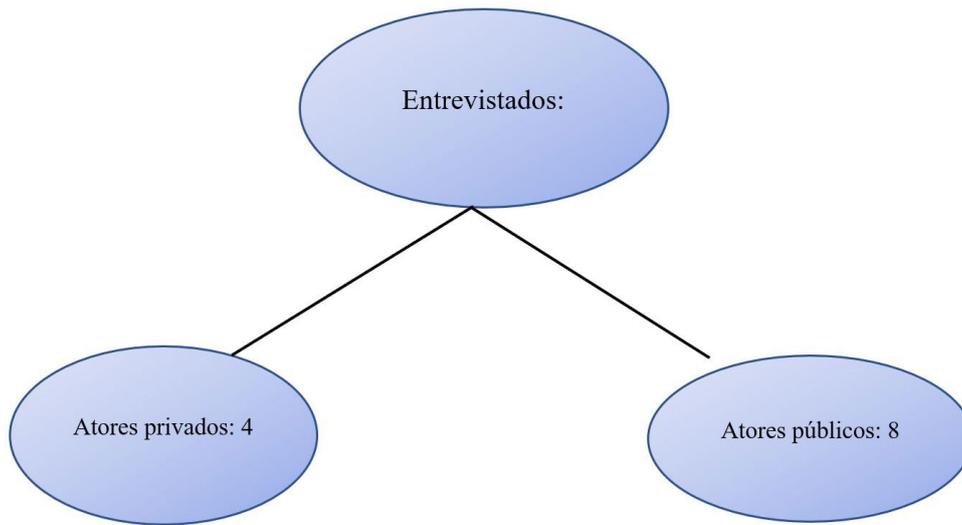
O roteiro de entrevista direcionado aos atores privados e associativos foi aplicado com produtores e empresários dos setores produtivos do açaí e do tucumã, além dos representantes de associações e cooperativas que trabalham com um, ou mais, desses produtos alocados nos territórios investigados. Já o roteiro construído para os atores públicos foi aplicado a representantes dos comércios e das secretarias municipais, além dos secretários municipais de agricultura e turismo. Vale ressaltar que todas as entrevistas realizadas foram avaliadas pelos entrevistados através da assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (apêndice C).

As entrevistas combinaram perguntas fechadas e abertas, pelas quais os entrevistados discutiram sobre o tema proposto pelo pesquisador. Desta forma, os roteiros foram compostos por um conjunto de questões previamente definidas, mas que os entrevistados abordaram de forma semelhante a uma conversa informal. A entrevista semiestruturada foi utilizada para delimitar o volume das informações, obtendo assim um direcionamento maior para o tema, com a intervenção do pesquisador sempre que necessária a fim de que os objetivos fossem alcançados (Boni; Quaresma, 2005).

As entrevistas foram realizadas, entre novembro de 2021 a junho de 2022. Foram realizadas 22 entrevistas, sendo oito com atores públicos e quatorze com atores privados. Dentre os atores privados, oito eram, também representantes associativos (figura 3). Para restringir o número de entrevistas foi utilizada a técnica de saturação amostral, determinada pelo momento em que o trabalho de campo não apresenta dados, ou esclarecimentos novos sobre o objeto estudado (Fontanella *et al.*, 2011).

Quanto ao local das entrevistas, houve uma variação de acordo com a localização e disponibilidade dos informantes. Os agricultores familiares e empresários foram entrevistados, na maioria, nas suas Unidades Produtivas (UP). Já os atores associativos prestaram suas informações na sede das cooperativas, ou associações. Em alguns casos específicos, as entrevistas foram realizadas nas residências dos entrevistados (caso daqueles produtos que não residam na UP e da indisponibilidade da realização da entrevista no horário comercial para os atores públicos e associativos). De modo geral, as entrevistas com os atores públicos foram realizadas nas sedes das organizações em que os mesmos trabalham.

Figura 2 - Esquema de apresentação dos entrevistados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das entrevistas, houve a observação participativa em três reuniões/ eventos após a pesquisa de campo, que qualificaram os resultados obtidos pelas entrevistas. A partir destes resultados, tivemos o legado de um resumo expandido no segundo congresso brasileiro de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia no período de 08 a 12 de agosto de 2022, através do seguinte título: O Manejo Florestal das palmeiras nativas: o açaí e o tucumã no pólo de produção florestal nos municípios de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas.

Esses momentos nos proporcionaram um maior entendimento sobre a opinião dos atores públicos, privados e associativos desses produtos, sob a valorização desses recursos por meio das Indicações Geográficas. Um outro encontro, ocorreu através de uma roda de conversa a partir de uma apresentação sobre o que é o enfoque teórico e metodológico da CBST. Este encontro possibilitou conhecer o ponto de vista de todos os comunitários, além de gerar novas ideias de ações que possam ser incrementadas na elucidação da cesta de bens e serviços territoriais nas cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas.

Antes de analisar o enfoque da CBST foi preciso esclarecer o conceito polissêmico de "território", por diversos autores. Os territórios podem ser resultados de lógicas distintas, como da ação pública, da ação coletiva e ou da regulação social, bem como da sobreposição dessas lógicas (Cazella *et al.*, 2009). Neste estudo, o conceito adotado de território é aquele concebido por Pecqueur (2005), o qual diferencia duas dimensões conceituais ligadas aos territórios.

A partir das averiguações e pressupostos mencionados acima, passou-se a análise dos resultados investigados: A transcrição das entrevistas precedeu sua análise pela técnica de Análise de Conteúdo (AC), proposta por Bardin (2011). A AC consiste em um conjunto de técnicas aplicável a qualquer discurso, possibilitando a compreensão das estruturas, características, ou modelos que estão presentes nas mensagens consideradas na pesquisa (Câmara, 2013).

Para utilizar a AC foi necessário o desenvolvimento de três etapas propostas por Bardin (2001, p. 125): “1) a pré-análise; 2) a exploração do material; 3) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação”.

A primeira etapa de pré-análise consistiu em ordenar as ideias obtidas no referencial teórico e estabelecer os indicadores que foram usados na interpretação dos dados coletados (Silva; Fossa, 2015). Dessa forma, foi feita uma leitura das entrevistas transcritas, anotações decorrentes das entrevistas, da participação de reuniões técnicas dos produtores da CBST do açaí e do tucumã. Tais informações foram correlacionadas com a revisão bibliográfica apresentada nesta introdução. Foram estabelecidos, então, os aspectos a serem analisados, tais como a coordenação dos atores privados dentro de cada setor produtivo, a existência, ou não de cooperativas ou associação, bem como o número de atores que participam dessas organizações. Também, foram analisadas a existência de canais de comunicação entre os diferentes atores e a capacidade de desenvolverem ações em conjunto, bem como as especificidades dos produtos e serviços do território a partir da percepção dos entrevistados e da frequência em que era repetida pelos mesmos. O mesmo procedimento foi feito para averiguar a notoriedade desses produtos e serviços entre os atores entrevistados.

A segunda etapa da análise do discurso foi a exploração do material, ou seja, a decodificação das entrevistas e sua classificação de acordo com os aspectos pré-estabelecidos. Ou seja, os elementos que se dialogavam com os seguintes pontos correlacionados ao enfoque da CBST: especificidade do produto, ou serviço, a relação deles com a história e cultura do território, existência de um sentimento de enraizamento territorial ligado ao produto, ou serviço, produtos, serviços e cenários que atraem pessoas externas ao território, projetos de valorização de produtos, ou de serviços, bem como uma relevância econômica e social do produto, ou serviço, organização coletiva dos atores, e a relação existente entre os diferentes atores, ações conjuntas, projetos, ou eventos que envolvem diferentes atores e dificuldades de articulação entre os atores envolvidos.

Já a última e a terceira etapa correspondeu ao tratamento dos resultados e sua interpretação. Para tanto, realizou-se uma análise comparativa do conteúdo através de sua sobreposição, de modo a considerar os pontos em comum e os diferentes. Encerrada a AC (análises de conteúdos) pode-se ter uma compreensão mais aprofundada da realidade do território das cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas, com destaque para os produtos e serviços considerados específicos pelos atores entrevistados, a coordenação existente entre os atores públicos, privados e associativos. Fatores que, a partir dos quais identificou-se não só as principais potencialidades, mas também fragilidades do processo de construção de um desenvolvimento territorial à luz do enfoque da CBST.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo da realidade das plantas nativas investigadas que são o açaí e o tucumã das cidades de Anamá e Beruri no Estado do Amazonas, entendemos que o aproveitamento destas frutas como fonte de renda das famílias, residentes e domiciliadas nestas cidades trarão novas perspectivas de qualidade de vida capazes de fazer uma mudança na rotina de cada morador das cidades investigadas.

Na presente pesquisa, propomos que estas frutas poderão fazer parte de uma cesta de bens e serviços, trazendo novos conceitos sobre a realidade de cada cidade investigada. E nesta proposta o distanciamento entre as localidades e os grandes centros do mercado é o diferencial, considerando que estas frutas trazem especificidades diferenciadas, tendo como ponto de referência o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade econômica.

Desta forma, a cesta de bens e serviços proposta nesta pesquisa é uma forma de equilibrar homem e meio ambiente, elevando assim, o equilíbrio econômico, fazendo com o que o homem valorize sua realidade, bem como possa evitar a evolução do êxito rural, e ainda valorize a sua realidade, elevando assim a temática entre homem e natureza.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Alex Fernando de; SANTOS, Cláudia Cristina Auler do Amaral. **Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade**, EDUF-TO. Universidade Federal de Tocantins. Palmas – TO, 2020.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo (ed. rev. e amp.)**. (LA Reto & A. Pinheiro. Trad.). Lisboa: Edições, v. 70, 2011.
- BENTES, Vera Lúcia Imbiriba. **Preparação e Caracterização de Compósitos a base de fosfatos de ferro suportados em carvões ativados de resíduos de Caroços de Açaí e do endocarpo de Tucumã para aplicação ambiental**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus-Am. 2017.
- BONI, V.; QUARESMA, S. J. **Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais**. Em Tese, v. 2, n. 1, p. 68-80, 2005. ISSN 1806-5023.
- BARBOSA, Christian. **A tríade do tempo**. Rio de Janeiro: GMT Editores. Sextante, 2012.
- CÂMARA, R. H. **Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações**. Gerais, Rev. Interinst. Psicol. [online], Belo Horizonte, v.6, n.2, p. 179-191, jul./dez., 2013. ISSN-1983-8220. Disponível em <<http://www.fafich.ufmg.br/gerais/index.php/gerais/article/viewFile/306/284>>. Acessado em 06 ago. 2022.
- CAZELLA, A. A. **Développement local et agriculture familiale: les enjeux territoriaux dans le département de l’Aude**. Thivernal-Grignon: UMR INRA-INA-PG / Mémoire set Thèses, 2002, v.1. p. 395.
- CAZELLA, A. A.; BONNAL, P.; MALUF, R. **Agricultura familiar: multifuncionalidade e desenvolvimento territorial no Brasil**. Manual X, 2009. ISBN 8574782920.

CAZELLA, A. A.; GONCALVES, D. A.; CERDAN, C. Trajetória do desenvolvimento: revisitando o passado para repensar o futuro. In:XLVI **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Anais. Rio Branco: SBEASR, 2008. p. 1 - 21.

CAZELLA, A. Aldemir; BONNAL, Philippe; MALUF, Renato S. (organizadores). **Agricultura familiar: multifuncionalidade e desenvolvimento territorial no Brasil**. - Rio de Janeiro: Mauad X, 2009.

COLUSSI, Cláudia Flemming; PEREIRA, Katiuscia Graziela, (Organizadoras). **Territorialização como instrumento do planejamento local na Atenção Básica**. [Recurso eletrônico]. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2016.

FALEIRO, Fábio Gelape; ANDRADE, Solange Rocha Monteiro de; JUNIOR, Breno dos Reis. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na Agropecuária**. 2011.

GOMES, C. M. P. **A governança da terra em questão: uma análise da política de crédito fundiário no Brasil**. 2013. Dissertação Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas Universidade Federal de Santa Catarina.

GOMES, Romeu. **Análise e interpretação de dados de pesquisa qualitativa**. In: DESLANDES, Suely Ferreira; GOMES, Romeu; MINAYO, Maria Cecília de Souza. Pesquisa Social: **Teoria, método e criatividade**. 27 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008b.

GOMES, C. M. P.; CAZELLA, A. A.; BÚRIGO, F. L.; BIROCHI, R. **Governança da terra e (re) territorialização da agricultura familiar: possibilidades do crédito fundiário no Brasil**. CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária, v. 9, n. 19, 2014.

MIRANDA, Jean Carlos; QUESADO, Mirna; RIBEIRO, Roberta Flávia; VASCONCELLOS, Rolando; ANJOS, Onofre Saback dos; SALVADOR, Daniel Fábio. **Biotecnologia Ambiental e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2019.

OLIVEIRA, E. S. **Impactos socioambientais e econômicos do turismo e as suas repercussões no desenvolvimento local: o caso do Município de Itacaré-Bahia**. Interações (Campo Grande), v. 8, n. 2, 2016.

OLIVEIRA, José Aldemir de. (Organizador). **Cidades Brasileiras Territorialidades, sustentabilidade e demandas sociais**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, v. II, 2010.

SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. **Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos**. Dados em Big Data, v. 1, n. 1, p. 23-42, 2017. Disponível em <<http://oficinas.incubadora.ufsc.br/index.php/Lucasfranco/article/view/2336>>. Acessado em 07ago. 2021.

Organizador

Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

Índice Remissivo

A

adaptação 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67
agrícolas 54, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72
agricultura 31, 37, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
69, 72, 89, 92, 93, 97
agrobiotecnologia 58
ambientais 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 36, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68,
72, 87, 88, 93
ambiental 10, 11, 12, 14, 17, 18, 27, 36, 46, 47, 49, 51,
53, 65, 66, 68, 86, 87, 89, 90, 96
ambiente 10, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 27, 28, 30,
31
aves 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36
avicultura 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36

B

beneficiamento 32, 85
biodegradação 10, 11, 12, 15, 18, 20, 21, 22
biodeterioração 10, 12
biotecnologia 23, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 86, 87, 88, 89, 90, 91
biotecnológicas 11, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69
biotecnológico 31, 72

C

condições 14, 18, 20, 21, 32, 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66,
67
conservação 27, 65, 67
cultivares 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 82
culturas 28, 41, 42, 54, 55, 61, 62, 65, 66, 67, 72

D

degradação 11, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 21
dejetos 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37
desenvolvimento 12, 15, 16, 18, 19, 28, 33, 35, 58, 59,
60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 86, 87, 88, 89, 90,
91, 92, 95, 96, 97

E

ecossistemas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 23
edição 58, 59, 61, 62, 66, 67
energética 72
estratégias 10, 11, 12, 13, 15, 16, 23

F

financeiros 63, 85
frutas 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 96

G

genômica 58, 59, 61, 62, 63, 65, 67, 68
gerados 15, 28, 29, 72, 90
gestão 14, 16, 18, 27, 85
grão 72, 80

I

impacto 12, 13, 17, 18, 23, 27, 35, 62, 63, 65, 66, 68

M

manejo 11, 12, 14
matriz 45, 72
meio 10, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 23, 27, 28, 30, 31, 60, 62, 66, 68, 86, 87, 89, 90, 94, 96
melhoramento 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 70
microbiana 11, 22
milho 18, 61, 65, 72, 79, 80, 82
mitigação 11, 12

N

nativas 42, 65, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 94, 96
naturais 12, 14, 16, 17, 18, 27, 59, 60, 62, 66, 87

P

plásticos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
polipropileno 10, 11, 13, 20
poluição 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23
potencial 10, 19, 22, 23, 27, 30, 31, 32, 41, 67, 68, 72, 90, 91
preocupação 10, 12, 13, 15, 19, 36
processos 12, 16, 20, 29, 32, 63, 64, 72, 86, 87, 89
produtividade 15, 59, 61, 63, 65, 66, 67, 72
propriedades 11, 12, 20, 27, 29, 31, 36
pública 17, 49, 60, 62, 64, 66, 67, 85, 86, 93, 94

Q

qualidade 10, 12, 14, 15, 27, 32, 35, 36, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 96

R

reciclagem 10, 12, 15, 16, 17, 18, 27, 32
recursos 17, 18, 27, 41, 54, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 85, 94
resíduos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 23
rurais 14, 27, 36, 37, 65, 67, 92

S

sistema 6
soja 18, 72, 80, 83
sólidos 13, 15, 16, 27, 34, 37

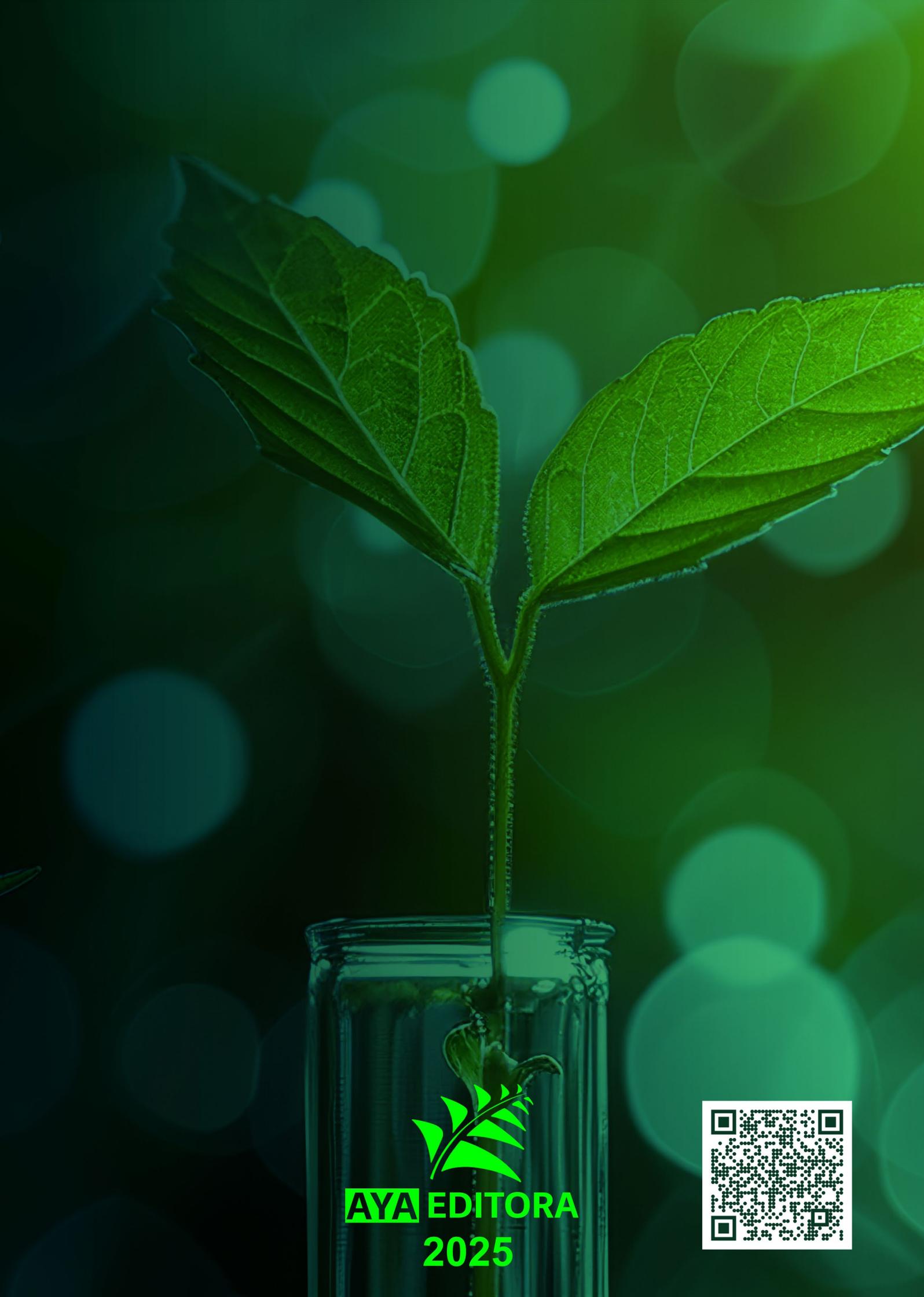
T

tecnologias 14, 16, 23, 27, 35, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87, 89

V

vegetal 31, 33, 35, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66,
67, 68, 70

vida 10, 12, 15, 16, 18, 27, 30, 36, 47, 53, 86, 87, 88,
89, 90, 96



AYA EDITORA
2025

