

ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO

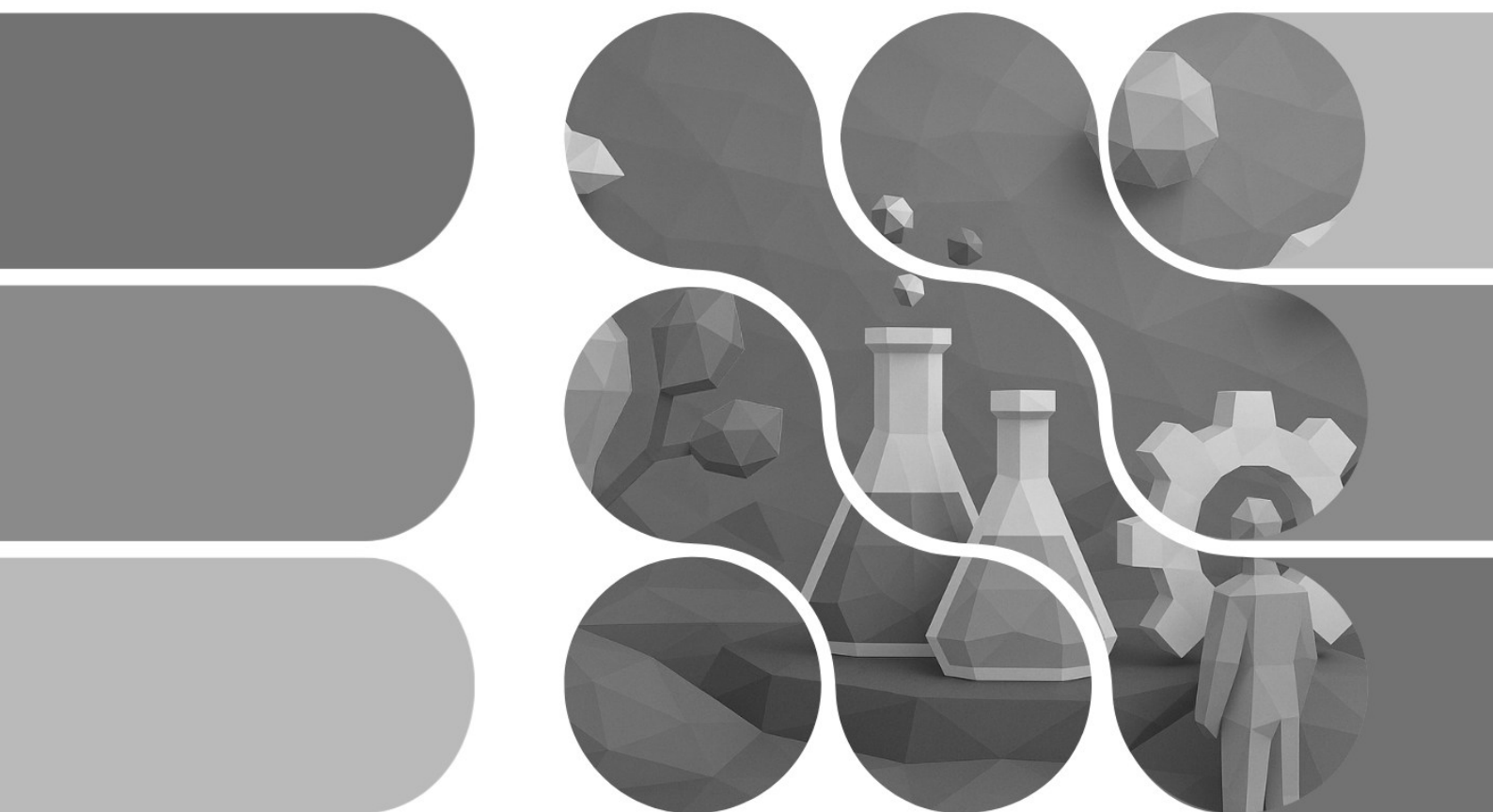
NOVAS PERSPECTIVAS EM CIÊNCIA E ENGENHARIA



HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR

ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO

NOVAS PERSPECTIVAS EM CIÊNCIA E ENGENHARIA



HIGOR COSTA DE BRITO
ORGANIZADOR



2025 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Ecossistemas de inovação: novas perspectivas em ciência e engenharia está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

ISBN: 978-65-5381-313-7

DOI: 10.51859/ampla.ein5337-0

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil

contato@amplaeditora.com.br

www.amplaeditora.com.br

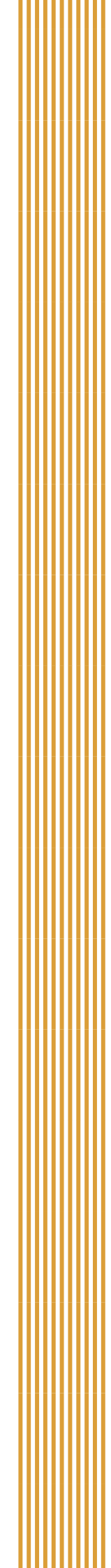


2025

CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Marina Magalhães de Moraes – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autônoma do Estado do México
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sabrynn Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carlotto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande



2025 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

E19

Ecosistemas de inovação: novas perspectivas em ciência e engenharia /
Organização de Higor Costa de Brito. – Campina Grande/PB: Ampla, 2025.

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-313-7

DOI 10.51859/ampla.ein5337-0

1. Inovação tecnológica. 2. Ciência. 3. Engenharia. I. Brito, Higor Costa de
(Organizador). II. Título.

CDD 608

Índice para catálogo sistemático

I. Inovação tecnológica

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br



2025

PREFÁCIO

A inovação científica e tecnológica do século XXI não se define apenas pela criação de novos produtos ou processos, mas pela capacidade de integrar diferentes saberes em prol de soluções sustentáveis e socialmente relevantes. O livro ***Ecosistemas de Inovação: novas perspectivas em ciência e engenharia*** traduz com clareza essa visão contemporânea, apresentando estudos que exploram o diálogo entre biotecnologia, engenharia, sustentabilidade, tecnologia digital e ciências aplicadas.

Em um mundo marcado por rápidas transformações e desafios complexo, a pesquisa científica assume um papel estratégico na construção de novos paradigmas de desenvolvimento. As contribuições reunidas nesta obra evidenciam que o conhecimento não floresce em isolamento, mas em ecossistemas colaborativos, onde diferentes áreas se encontram e interagem para gerar avanços significativos.

Ao reunir experiências de natureza experimental, tecnológica e aplicada, esta coletânea revela como a inovação emerge da prática científica comprometida com o bem-estar social, o respeito à vida e o uso responsável dos recursos naturais. A interdisciplinaridade aqui apresentada deixa de ser apenas um método e passa a ser um princípio estruturante.

Mais do que apresentar resultados, este livro propõe uma reflexão sobre o próprio conceito de inovação, entendida não como fim em si mesma, mas como processo contínuo de criação coletiva, mediado pela ética, pela sustentabilidade e pela busca por impacto positivo. Assim, esta obra oferece ao leitor uma visão abrangente sobre o papel da ciência e da engenharia na formação de um futuro mais equilibrado, integrado e humano.

Higor Brito

SUMÁRIO

CAPÍTULO I. AVANÇOS BIOTECNOLÓGICOS NA DERMOCOSMÉTICA: APLICAÇÃO DE CULTIVO CELULAR E CÉLULAS-TRONCO COMO ALTERNATIVA À EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL E COMO ESTRATÉGIA TERAPÊUTICA.....	9
CAPÍTULO II. CONSTRUÇÃO COLABORATIVA E ÁGIL DE SOLUÇÕES DIGITAIS: A EXPERIÊNCIA DA LEAN INCEPTION EM UM ÓRGÃO PÚBLICO...29	
CAPÍTULO III. EXTRAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE ALCALOIDES BIOATIVOS EM RESÍDUO SÓLIDO DE “UNHA-DE-GATO” (<i>UNCARIA TOMENTOSA</i> (WILD.) D. C.).....	40
CAPÍTULO IV. AMBIÊNCIA E BEM-ESTAR ANIMAL NA PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE	53

AVANÇOS BIOTECNOLÓGICOS NA DERMOCOSMÉTICA: APLICAÇÃO DE CULTIVO CELULAR E CÉLULAS-TRONCO COMO ALTERNATIVA À EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL E COMO ESTRATÉGIA TERAPÊUTICA

BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS IN COSMETICS: THE USE OF STEM CELLS AND CELL CULTURE IN MODERN DERMOCOSMETICS AND THERAPEUTIC STRATEGIES

DOI: 10.51859/amplla.ein5337-1

Lyara Bruna Soares Nascimento ¹
Andressa Beatriz do Nascimento Monteiro ¹
Helen Raynara Dantas ¹
Ranne Beatriz Santana de Lima ¹
José Isaac Gonzaga da Silva ¹
Geovani Pereira Guimarães ²

¹ Graduando do curso de Farmácia. Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

² Farmacêutico. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

RESUMO

Dermocosméticos são produtos classificados como cosméticos de grau 2, por conterem ativos com ação terapêutica que aliam benefícios estéticos à promoção da saúde cutânea. Nos últimos anos, a biotecnologia tem desempenhado papel central no avanço desse segmento, especialmente por meio do desenvolvimento de alternativas éticas à experimentação animal. O presente trabalho aborda a cultura celular como ferramenta promissora na formulação de dermocosméticos, explorando o uso de células-tronco, com destaque para as mesenquimais, devido ao seu potencial regenerativo e à capacidade de retardar o envelhecimento cutâneo. Trata-se de uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da biotecnologia na indústria cosmética, contemplando, principalmente, artigos publicados entre 2016 e 2025, nos idiomas português e inglês, além de referências clássicas pela relevância histórica. O estudo evidencia como essas inovações têm impulsionado a produção de dermocosméticos cada vez mais inovadores e seguros, alinhados às exigências contemporâneas de sustentabilidade e ética no uso de animais.

Palavras-chave: Avanços na biotecnologia. Dermocosméticos. Cultura celular.

ABSTRACT

Dermocosmetics are classified as grade 2 cosmetics, as they contain active ingredients with therapeutic properties that integrate aesthetic benefits with the promotion of skin health. In recent years, biotechnology has played a pivotal role in advancing this field, particularly through the development of ethical alternatives to animal testing. This chapter examines cell culture as a promising tool in dermocosmetic formulation, with a focus on the use of stem cells, especially mesenchymal stem cells, due to their regenerative potential and ability to slow skin aging. It presents a literature review on the application of biotechnology in the cosmetic industry, drawing primarily on publications from 2016 to 2025 in Portuguese and English, as well as classic references of historical relevance. The findings underscore how these innovations have driven the development of increasingly advanced and safe dermocosmetics, aligned with contemporary standards of sustainability and ethical practices in relation to animal use.

Keywords: Advances in biotechnology. Dermocosmetics. Cell culture.

1. INTRODUÇÃO

Os cosméticos tradicionais são intencionalmente projetados para embelezar, higienizar e proteger a camada córnea da epiderme, possuindo propriedades que oferecem soluções de cuidado imediatas e superficiais (Nogueira, 2023; Silva; Gomes; Neto; 2021). A utilização de cosméticos e produtos para pele ocorre há mais de 8000 anos e desempenha um papel significativo na vida humana (Xu *et al.*, 2025). Nesse contexto, o setor da beleza cresceu progressivamente nos últimos anos e a indústria dos cosméticos evoluiu, acompanhando o avanço da tecnologia. Com isso, as preparações de dermocosméticos de fórmulas exclusivas gerou impacto nas rotinas de skincare (Nogueira, 2023).

A cosmetologia contemporânea vai além da estética, atuando intimamente na saúde e cuidado pessoal. Esse campo contribui com a visão moderna de prevenção e promoção de saúde, unindo beleza e qualidade de vida (Michalak, 2020). Sendo assim, a demanda por novos dermocosméticos têm aumentado devido a busca dos consumidores por itens com efeitos menos prejudiciais e invasivos (Costa *et al.*, 2022).

Os dermocosméticos se caracterizam como produtos que promovem limpeza e cuidados com a pele, podendo chegar nas camadas mais profundas da mesma, para gerar efeitos reparadores e duradouros quando aplicados topicamente. Estes possuem em sua composição ingredientes terapeuticamente ativos, que atingem aspectos fisiopatológicos. Diante disso, se adequam a uma categoria próxima de preparações farmacêuticas dermatológicas de uso tópico e cosméticos propriamente ditos (Nogueira, 2023). A dermocosmética constitui um campo especializado voltado à prevenção, ao manejo e à correção de distúrbios ou alterações cutâneas, promovendo uma abordagem integrada que transforma os paradigmas tradicionais de cuidados pessoais.

Os dermocosméticos, por sua vez, são formulações com indicações específicas, desenvolvidas para exercer ações simultâneas de caráter estético e terapêutico, visando à manutenção e à promoção da saúde da pele. Ademais, podem ser utilizados como uma monoterapia em casos leves de tratamento mas também podem atuar de forma eficaz como adjuvantes terapêuticos (Cruz *et al.*, 2025). Por atingirem diretamente a causa de problemas na pele, visando o tratamento, são considerados cosméticos de grau 2 conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), exigindo testes de segurança e eficácia (Nogueira, 2023).

Com o crescimento da indústria cosmética e os avanços da biotecnologia, o uso de células-tronco e de cultivo celular se destacam como métodos planejados e desenvolvidos para atender as necessidades de estética e cuidado de forma mais ética. Tais abordagens, por dispensarem o uso de modelos animais nas etapas de desenvolvimento, atendem aos Princípios de Russell-Burch, que abordam a redução e substituição do uso de animais em experimentação científica. Nesse cenário, a validação da segurança e da eficácia pode ser realizada por meio de testes e análises utilizando culturas de células *in vitro* (Bedard *et al.* 2020; Cruz *et al.*, 2023).

Em suma, o presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, a aplicação de ferramentas biotecnológicas como alternativas à experimentação animal, destacando seu potencial como uma abordagem promissora na dermocosmética moderna.

2. METODOLOGIA

A pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica de cunho narrativo, que analisou os artigos de maior relevância da biotecnologia na indústria cosmética, no âmbito de cultura celular e células-tronco, abordando suas aplicações e incluindo seu emprego como alternativa ao uso de modelos animais.

As bases de dados utilizadas para a pesquisa foram: Sciencedirect, PubMed, Google Acadêmico, MDPI, RESEARCH GATE e BMC. Foram utilizados os seguintes descritores: “History of cosmetology”, “contemporary cosmetology”, “cultura celular tridimensional”, “exossomos”, “secretoma”, “defensinas” e “dermocosméticos”.

Com o objetivo de garantir a atualidade e a relevância dos debates contemporâneos sobre a aplicação da biotecnologia na área cosmética, foram incluídos artigos científicos e capítulos de livros publicados entre o período compreendido entre o ano de 2016 e julho de 2025. Adicionalmente, foram incorporadas algumas obras anteriores (1999, 2007, 2008 e 2009) devido à sua relevância histórica e conceitual para o tema. Foram priorizados para análise os idiomas português e inglês e que abordaram a biotecnologia como ferramenta inovadora na cosmetologia, com ênfase em modelos alternativos à experimentação animal, como cultura celular e células-tronco. Foram excluídos: dissertações, teses, monografias, resumos de eventos, documentos sem acesso ao texto completo, publicações duplicadas e estudos que não abordassem diretamente a temática proposta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. AVANÇOS DA BIOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA COSMÉTICA

Consolidando-se como um dos setores de maior crescimento ao longo da última década, a indústria cosmética, com sua longa história, vem movimentando uma boa parte da economia global. Os cosméticos, desde os tempos antigos, são utilizados para rotinas de beleza, saúde e bem-estar, desempenhando um papel de grande importância na vida da humanidade, estando, também, relacionados com práticas culturais e religiosas de determinados povos, como os egípcios, mesopotâmicos e os gregos, civilizações que contribuíram significativamente para o desenvolvimento dos cosméticos tal como os conhecemos atualmente (Liu, 2022; McMullen, 2023).

A indústria cosmética tem se desenvolvido cada vez mais e esse crescimento é constantemente impulsionado pelos avanços tecnológicos, pela mudança do perfil do consumidor, que têm direcionado progressivamente a sua procura aos produtos mais sustentáveis e pelo aumento da longevidade que gera maior demanda por produtos que retardam o envelhecimento cutâneo e preservam a juventude. Esse cenário pressiona a substituição imediata de ingredientes convencionais derivados de combustíveis fósseis por alternativas naturais, éticas e de alto desempenho. Ao mesmo tempo, a ciência do bem estar animal vem ganhando mais força e notoriedade, requerendo métodos tecnológicos que incorporem meios alternativos nessas produções e colocando em evidência a necessidade de inovações que diminuam o uso de animais ou que contribuam para uma aumento da qualidade de vida das cobaias utilizadas em pesquisas (Silva; Ericson; Da Silva, 2021; Goyal, 2021).

Nesse cenário, as pesquisas vêm se baseando cada vez mais no princípio dos 3Rs (Reduction, Refinement e Replacement), criado pelos pesquisadores William Russel e Rex Bursch em 1959, visando a proteção animal na pesquisa científica, que se baseia na redução do uso de animais, na minimização da dor, sofrimento e estresse animal, objetivando um aprimoramento nas técnicas de manuseio, e na adoção de procedimentos alternativos sempre que possível (Gorzalczany; Basso, 2021; Guterres *et al.*, 2024).

Métodos biotecnológicos vêm ganhando visibilidade como uma alternativa ao uso de animais pelo meio científico. A utilização de cultura de células tem se destacado como um método alternativo, valiosíssimo, ao uso de animais. O método consiste no isolamento de

células, que podem ser provenientes de diferentes tipos de tecidos, as quais são incubadas em placas ou em frascos com meio de cultura específico, em um ambiente controlado para seu crescimento. A cultura de células é muito utilizada na avaliação preliminar da toxicidade e eficácia de determinados compostos, apresentando como vantagens a diminuição do tempo, redução de custo e a facilidade da aplicação (Guterres, *et al.*, 2024). A biotecnologia na indústria cosmética tem se consolidado não apenas como uma alternativa ética ao uso de animais, mas também como uma ferramenta promissora na produção de dermocosméticos. Além de possibilitar o desenvolvimento de ativos e/ou excipientes de forma mais sustentável, contribui para otimizar processos produtivos, reduzir impactos ambientais e atender às demandas contemporâneas por inovação responsável (Gomes *et al.*, 2020).

3.2. CULTURA CELULAR E MODELOS TRIDIMENSIONAIS

O princípio dos 3Rs é um marco para o aumento da preocupação ética sobre o uso de seres vivos em pesquisas. Além de ignorar a proposta ética, modelos animais podem não conseguir demonstrar resultados precisos, inclusive em testes de toxicidade, por causa das diferenças do organismo da cobaia para o organismo humano. Assim, a cultura celular 3D, definida como capaz de mimetizar a organização e arquitetura de um órgão vivo, vem sendo utilizada com método alternativo para substituição de uso animal e tem se expandido consideravelmente, visto que resulta em melhor reprodutibilidade, facilita o estudo de mecanismos celulares e respeita o princípio dos 3Rs. A adoção de métodos *in vitro* permite a visualização e avaliação dos efeitos cosméticos por vezes mais próximos das condições humanas. À vista disso, o método de cultivo de células é uma alternativa vantajosa para o mercado atual (Bedard *et al.* 2020; Cruz *et al.*, 2023).

Dessa forma, de acordo com Cruz *et al.* (2023) e Wang *et al.* (2024), o cultivo de células a partir de modelo 3D permite maior fidelidade ao comportamento do organismo humano em razão das culturas tridimensionais possibilitarem a simulação de vários ambientes da pele, incluindo recriação de epiderme, derme, migrações celulares e outras situações. A exemplo, o tecido epitelial da córnea é composta de 5 a 6 camadas com função de proteção, e o modelo epitelial corneano 3D imita esse tecido córneo (onde são utilizadas queratinócitos epiteliais neonatais para construção do modelo), o que permite seu uso para testes de irritabilidade ocular. Enquanto isso, Wang *et al.* (2024) reforçam que os modelos animais ou 2D são

incapazes de fornecer a toxicidade do produto cosmético efetivamente devido à diferença entre espécies.

3.3. CÉLULAS-TRONCO MESENQUIMAIS (MSCS) NA DERMOCOSMÉTICA

As células-tronco mesenquimatosas (ou *Mesenchymal stem cells* – MSCs) são células com propriedades como diferenciação e imunomodulação, isoladas de diferentes partes do corpo humano: tecido adiposo, medula óssea, placenta ou cordão umbilical, que oferecem células com características únicas. A aplicação clínica e o estudo experimental dessas células são possíveis para várias áreas, sendo viáveis em razão do fácil isolamento e por papéis imunomoduladores, homeostáticos e secretores visualizados por diversos estudos. As MSCs derivadas da medula óssea (ou BM-MSCs) são as mais utilizadas, mas o processo doloroso de aspiração da medula óssea ao qual o paciente é submetido incentivou alternativas de isolamento (Maldonado *et al.*, 2023).

Nesse sentido, as pesquisas voltadas para a ampliação da acessibilidade às MSCs destacam as células-tronco mesenquimais derivadas do tecido adiposo (Ad-MSCs), que, embora requeiram maior aporte de fatores de crescimento para alcançar uma diferenciação comparável à das células-tronco mesenquimais da medula óssea (BM-MSCs), apresentam vantagens significativas quanto à facilidade de isolamento, maior disponibilidade e potencial de diferenciação em múltiplas linhagens celulares, incluindo células epiteliais, adipócitos, osteoblastos, hepatócitos, miócitos, células neurais, entre outras (Maldonado *et al.* 2023). Apesar de determinadas desvantagens, o isolamento de células do cordão umbilical, da placenta e do líquido amniótico é conveniente, muitas vezes apresentando capacidade proliferativa superior. Os ensaios clínicos de MSCs se inclinam a diversas doenças, incluindo as doenças de pele.

Xue, Liao e Li (2023) argumentam que as MSCs vem sendo amplamente usadas em tratamentos clínicos por apresentarem grande potencial de reparação tecidual devido à liberação de moléculas funcionais parácrinas (secretoma), como fatores de crescimento, citocinas, quimiocinas, moléculas de adesão, interleucinas e hormônios. São esses os fatores protagonistas na transdução de sinais e comunicação célula-ambiente, com influência em vários processos biológicos (efeitos imunomodulatórios, anti-inflamatórios e estimulatórios na proliferação e diferenciação celular). Os fatores de crescimento secretados conseguem atuar diretamente no tecido, sendo alguns deles: VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*),

capaz de realizar angiogênese; HGF (*Hepatocyte Growth Factor*), com ação regenerativa e anti-inflamatória; IGF (*Insulin-like Growth Factor*), responsável por proliferação; TGF- β (*Transforming Growth Factor Beta*), que regula a diferenciação celular; IL-6, com papéis de diferenciação e anti-inflamatórios e IL-10, capaz de interferir em imunorregulação e angiogênese.

3.4. MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS E ABORDAGENS TERAPÊUTICAS NO ENVELHECIMENTO CUTÂNEO

A matriz extracelular da pele, composta principalmente por colágeno, elastina, glicosaminoglicanos e laminina, é particularmente sensível a danos oxidativos, inflamatórios e hormonais, que reduzem sua integridade e funcionalidade (Silva et al., 2024). Portanto, sendo entendido como um fenômeno multifatorial, o envelhecimento cutâneo acaba por refletir tanto fatores intrínsecos associados à genética molecular, quanto a carga acumulada de exposições ambientais (fatores extrínsecos) (Grillo et al., 2025).

Entre os vários processos envolvidos nesse fenômeno, a formação dos produtos finais da glicação avançada (AGEs) acabam promovendo ligações cruzadas entre fibras de colágeno, comprometendo a sua organização tridimensional e funcionalidade mecânica. Essas alterações estruturais são acompanhadas por uma notável dificuldade de interação do colágeno com as outras proteínas da matriz extracelular, o que, por consequência, causa a diminuição, também, da solubilidade e da capacidade de remodelação do colágeno, influenciando fortemente no aparecimento das características cutâneas associadas ao envelhecimento, como as rugas (Monnier *et al.* 1999; Esteves; Brandão, 2022).

Além da influência das AGEs, a produção de espécies reativas de oxigênio desempenha um papel crucial nesse processo, já que, desencadeadas por fatores como a radiação ultravioleta (UV), abuso de drogas ilícitas, poluição e tabagismo, danificam proteínas, lipídios e DNA, comprometendo a matriz extracelular e ativando metaloproteínases que degradam colágeno e elastina, resultando em rugas e perda de elasticidade (Grillo *et al.*, 2025). Por consequência, paralelamente a esses fenômenos, características como o espessamento da epiderme e afinamento da derme são frequentemente observados durante o processo de envelhecimento cutâneo (Liang *et al.*, 2020).

Considerando essa rede de eventos fisiopatológicos que culminam no envelhecimento cutâneo, as estratégias terapêuticas contemporâneas voltadas à regeneração da pele devem contemplar, de forma integrada, tanto a reposição de componentes estruturais quanto a

reativação dos mecanismos celulares responsáveis pela manutenção da matriz extracelular e, consequentemente, pela conservação das propriedades remodelação das proteínas presentes nesse ambiente (Grillo *et al.*, 2025; Kim *et al.*, 2020; Takahashi *et al.*, 2021).

Nesse sentido, técnicas como o microagulhamento, a radiofrequência fracionada e o ultrassom microfocado têm sido amplamente empregadas na prática clínica, uma vez que promovem a indução controlada de microlesões capazes de estimular a neocolagênese e reorganizar as fibras colágenas por meio do recrutamento funcional dos fibroblastos. Paralelamente, substâncias bioativas como retinóides, antioxidantes, fatores de crescimento e o uso de células tronco mesenquimais vêm sendo utilizadas com o objetivo de modular a expressão gênica associada à síntese de colágeno, à proliferação celular e à resposta inflamatória, ampliando os efeitos regenerativos desses procedimentos (Grillo *et al.*, 2025).

Por fim, os avanços da biotecnologia celular têm consolidado a função promissora dessa tecnologia, sobretudo por meio da aplicação de células-tronco mesenquimais (MSCs) e do desenvolvimento de sistemas tridimensionais de cultivo celular (Kim *et al.*, 2020), permitindo não apenas replicar com maior precisão as condições fisiológicas do tecido cutâneo, mas também explorar o potencial regenerativo e imunomodulador dessas células, ampliando significativamente as perspectivas terapêuticas na área da dermocosmética regenerativa.

3.4.1. Exossomos no envelhecimento cutâneo

Os exossomos são vesículas extracelulares compostas por uma bicamada lipídica que encapsula proteínas, ácidos nucleicos, fatores de crescimento e outros componentes bioativos que refletem, por meio de diversidades estruturais, o perfil funcional da célula-tronco de origem (Hartman; Loyal; Fabi, 2022). Essas estruturas participam ativamente da comunicação intercelular, modulando processos de inflamação, regeneração tecidual e diferenciação celular (Kalluri; LeBleu, 2020).

Nesse contexto, formulações contendo exossomos derivados de MSCs podem promover reorganização da matriz extracelular, aumentar a expressão de colágeno tipo I e III e favorecer a migração de fibroblastos, desempenhando papel ativo no rejuvenescimento dérmico (Silva *et al.*, 2024; Esteves; Brandão, 2022).

Além disso, nos estudos de Liang *et al.* (2020) é possível concluir que as células-tronco mesenquimais (MSCs), especialmente derivadas de tecido adiposo (ADSCs), apresentam

efeito multifatorial no rejuvenescimento cutâneo, além de reorganizar a matriz extracelular, aumentarem a síntese de colágeno tipo I e modular a expressão do colágeno tipo III. Ademais, essas estruturas favorecem a migração e proliferação de fibroblastos, regulam a resposta inflamatória local e promovem a angiogênese, elementos-chave na reparação tecidual.

Ainda segundo Liang *et al.* (2020), os exossomos podem modular a expressão de genes ligados à inflamação e à senescência celular por meio da entrega de mRNAs específicos, resultando na diminuição da atividade da β -galactosidase associada à senescência (SA- β -Gal). Assim, o uso de exossomos derivados de MSCs representa uma alternativa promissora às terapias convencionais, com potencial de restaurar características estruturais e funcionais de uma pele jovem, além de acelerar processos de cicatrização e regeneração tecidual.

3.5. SECRETOMA COMO ESTRATÉGIA TERAPÊUTICA

Dentro do contexto do secretoma, que trata-se do conjunto de moléculas secretadas pelas células, os exossomos se destacam por protegerem seus conteúdos contra degradação enzimática e oferecerem estabilidade superior aos fatores solúveis livres, porém, como parte dessa exocitose pode haver outros tipos celulares, como proteínas solúveis, citocinas, fatores de crescimento, hormônios e peptídeos (El-Serafi *et al.*, 2022).

Em especial, o secretoma derivado de células-tronco mesenquimais (MSCs) tem despertado interesse na medicina regenerativa, apresentando efeitos anti-inflamatórios, imunomodulatórios e de promoção da cicatrização, com menores riscos associados à terapia celular (Brito e Trentin, 2025). Em geral, esses efeitos ocorrem porque, uma vez expostas a certos marcadores imunológicos relacionados à inflamação ou ao contato com microrganismos, as MSCs secretam peptídeos específicos à condição apresentada, como as hepcidinas, lipocalina-2 (Lcn2), β -defensinas (hBD) e catelicidina (LL-37) (Li *et al.*, 2016; Alcayaga-Miranda *et al.*, 2017), sendo as hBD as mais comumente estudadas quanto às suas atividades antimicrobianas.

As hBD e as suas subdivisões estruturais (hBD-1, hBD-2, hBD-3 e hBD-4) estão fortemente relacionadas à modulação da resposta imune inata, induzindo queratinócitos a expressar citocinas e quimiocinas pró-inflamatórias, bem como à atividade antimicrobiana de amplo espectro contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, com padrões de expressão regulados por estímulos infecciosos e inflamatórios (Niyonsaba *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2016).

Portanto, considerando que a hBD-2 exerce papel crucial na regulação do

microambiente inflamatório e celular, ao recrutar células imunes capazes de remover detritos e patógenos, e que a hBD-3 está associada ao processo de cicatrização, estimulando a proliferação de fibroblastos e queratinócitos (Hirsch *et al.*, 2008; Takahashi *et al.*, 2021), pode-se inferir que ambas também favorecem a reepitelização e, conseqüentemente, a deposição de uma nova matriz extracelular.

Assim, no contexto do envelhecimento cutâneo, essa capacidade tida por algumas hBDs de estimular a proliferação e migração dos fibroblastos e queratinócitos (Takahashi *et al.*, 2021), além de favorecer a manutenção da matriz extracelular (Mi *et al.*, 2018), pode compensar a queda natural da atividade celular e da neocolagênese observada com a idade, favorecendo a manutenção da integridade e da funcionalidade da pele.

3.6. DESAFIOS E LIMITAÇÕES

3.6.1. Variabilidade do secretoma e entre doadores

Segundo Damayanti, Rusdiana e Wathoni (2021), as células-tronco mesenquimais (MSCs) podem ser advindas de diversas fontes, fazendo com que, a depender de sua origem, haja proteínas com funções distintas capazes de ditar atividades como reparo e regeneração, por exemplo. Para Chen e Xu (2024), a grande variabilidade inerente às MSCs são justificadas pelas diferenças moleculares e de funcionalidades, fazendo com que as mesmas desenvolvam maneiras de reagir ao meio microambiente em que estão inseridas.

Assim, apesar dos avanços tecnológicos, o entendimento da heterogeneidade ainda carece de esclarecimentos visto que, mesmo com estudos *in vitro* e *ex vivo*, não foi possível mapear a grande diversidade de subpopulações para melhor elucidação dessas células (Zhang *et al.*, 2022). Um ponto ainda importante a se considerar são os fatores extrínsecos, como idade do doador, sexo, condição de saúde e fatores genéticos, além do método escolhido para o isolamento das MSCs, que podem comprometer os resultados de pesquisas e aplicações clínicas (Chen e Xu, 2024). Por exemplo, o envelhecimento de células-tronco mesenquimais pode ser observado tanto durante a expansão das culturas celulares (*in vitro*) quanto em células coletadas de indivíduos idosos (*in vivo*); em ambos os casos, a funcionalidade das células é comprometida, incluindo a perda de propriedades imunomodulatórias (Zhang *et al.*, 2021).

3.6.2. Padronização e validação clínica

Apesar da possibilidade de aplicações clínicas das MSCs, falhas comuns durante o seu cultivo são capazes de comprometer os ensaios clínicos, sejam eles iniciais ou avançados (Zou *et al.*, 2021). Segundo Lee e Chang (2024), a fabricação de MSCs para terapia inicia com a escolha da fonte e posterior isolamento das células, que pode ser feito por meio de diversas técnicas, a depender do tipo de tecido escolhido. Para a expansão da cultura utiliza-se meios de enriquecimento convencional, obedecendo a duração e o número de passagens que cada instituição padroniza. Por fim, a caracterização das células-tronco mesenquimais dependem de sua pureza, esterilidade, viabilidade, potência e eficácia. O autor ainda argumenta que há três principais pontos críticos durante o processo de fabricação: qualidade do tecido fonte, duração do cultivo celular para sua devida expansão e exposição aos agentes xenogênicos do soro de enriquecimento da cultura, visto que o contato estendido pode diminuir a segurança do produto final.

A produção de células-tronco mesenquimais exige rigoroso processamento e, contudo, a padronização. Porém, de acordo com o estudo de Renesme *et al.* (2024), menos da metade das pesquisas de MSC seguiam os critérios mínimos de caracterização da *International Society for Cell & Gene Therapy* (ISCT), sociedade global de desenvolvimento, pesquisa e regulamentação de estudos utilizando genética e terapias celulares. Assim, em 2006, o ISCT emitiu um artigo de declaração definindo critérios mínimos para caracterizar as MSCs: adesão ao plástico, expressão de antígenos específicos de superfície e diferenciação multipotente. Nesse sentido, o estabelecimento de parâmetros de cultura, viabilidade e adequação conseguem garantir a reprodutibilidade do ensaio e segurança do produto final.

3.6.3. Barreiras regulatórias e científicas

No contexto de modelos celulares, Lee e Chang (2024) ressaltam que o controle de qualidade requer análises voltadas para a verificação da identidade, viabilidade, pureza, potência, presença de endotoxinas, agentes adventícios, micoplasma e esterilidade. Segundo Fernández-Santos *et al.* (2022), a identidade pode ser assegurada por meio de testes recomendados pela ISCT, como o teste de exclusão com azul de tripano. Para a avaliação da segurança, são necessários testes *in vitro* e *in vivo*. Já a análise de estabilidade requer a determinação do tempo máximo de armazenamento e a definição de condições específicas para garantir a pureza, identidade e eficácia do produto final. Por outro lado, não há

padronização para os testes de potência, embora possam ser utilizados ensaios correlacionados, como os de segurança e estabilidade.

Sanz-Nógués e Ó'Brien (2021) destacam que há grande interesse de instituições privadas no desenvolvimento de pesquisas com MSCs. Apesar dos desafios regulatórios, muitas iniciativas conseguem avançar até os estudos pré-clínicos e clínicos iniciais; no entanto, a transição para ensaios clínicos de fase III ainda é rara, devido à escassez de infraestrutura adequada e de capital. Nessa mesma linha, Lanchanteur *et al.* (2021) apontam que um dos maiores obstáculos ao cultivo de MSCs é o cumprimento das diversas exigências de Boas Práticas de Fabricação (BPFs), que, como mencionado anteriormente, frequentemente não são observadas na maioria das pesquisas publicadas.

Atualmente, a fabricação de MSCs é regulamentada por diretrizes distintas das aplicadas a medicamentos tradicionais, tanto na legislação europeia quanto na estadunidense. Além disso, vale ressaltar que o cultivo dessas células para fins terapêuticos não se enquadra nas normas destinadas a órgãos ou tecidos para transplante, uma vez que as MSCs estão sujeitas a modificações genéticas e químicas específicas (Fernández-Santos *et al.*, 2022).

3.7. PERSPECTIVAS FUTURAS

3.7.1. Avanços esperados na pesquisa e desenvolvimento

Analisando o panorama atual dos estudos com células-tronco mesenquimais (MSCs), Jovic *et al.* (2022) apontam um aumento significativo no número de ensaios clínicos nos últimos anos, especialmente impulsionado pelo cenário da pandemia de COVID-19. Nesse contexto, observou-se uma maior concentração de ensaios clínicos na China e nos Estados Unidos. No entanto, a maioria desses estudos ainda se encontra em fases iniciais (I e II), sendo relativamente poucos os que avançaram para as fases III e IV.

Um desafio adicional mencionado por Fernández-Garza *et al.* (2023) é que, mesmo após a aprovação regulatória para uso terapêutico, muitas empresas enfrentam dificuldades em manter os produtos no mercado, principalmente devido a preocupações persistentes com a segurança das MSCs.

Apesar dessas dificuldades no desenvolvimento, regulação e comercialização, os estudos publicados indicam que as MSCs são promissoras. Elas foram amplamente pesquisadas como alternativa terapêutica contra a COVID-19 durante a pandemia, além de já

apresentarem amplo uso potencial no tratamento de doenças musculoesqueléticas — com 212 análises publicadas — bem como nas áreas de neurologia e pneumologia (Jovic *et al.*, 2022). Nessa perspectiva, a terapia com MSCs é vista como uma alternativa viável para pacientes que não respondem aos tratamentos convencionais, e seu desenvolvimento representa um investimento estratégico em abordagens terapêuticas seguras e eficazes.

Tratando-se de pesquisas voltadas à aplicação das MSCs na pele, a revisão de Zare *et al.* (2025) demonstrou que essas células têm capacidade regenerativa sobre o tecido-alvo. Ainda segundo os autores, os efeitos são potencializados quando as MSCs são combinadas com outras abordagens terapêuticas, como microagulhamento ou laser fracionado, sendo especialmente promissoras em tratamentos de rejuvenescimento e cicatrização. No entanto, a eficácia dessa última aplicação ainda requer validação por meio de estudos clínicos randomizados.

3.7.2. Integração com outras tecnologias

Apesar do potencial terapêutico das células-tronco, existem alguns desafios sobre a diferenciação guiada e sobrevivência dessas células no ambiente das pesquisas clínicas. Tendo esse problema em vista, a nanotecnologia pode ser incorporada para modular a diferenciação dessas células-tronco, dado que, de acordo com alguns estudos, superfícies nanoestruturadas (metálicas, à base de carbono, entre outros) conseguem impactar na diferenciação celular e servir como veículos de entrega para fatores de crescimento, beneficiando a regeneração tecidual e aprimorando o desenvolvimento de terapias baseadas nessas células-tronco (Kim *et al.*, 2024). Da mesma forma, a inteligência artificial (IA) é uma ferramenta importante para complementação do processo coerente à cultura de células mesenquimais. A IA é capaz de prever modelos com precisão a partir do reconhecimento de características dessas células, como sequência de proteínas ou forças de ligação entre moléculas e receptores (Zhou *et al.*, 2021).

3.7.3. Potencial de mercado e impacto ético-ambiental

As empresas cosméticas têm considerado de forma crescente o uso da cultura de células-tronco como ferramenta para ensaios que substituem a experimentação animal e, adicionalmente, como base para o desenvolvimento de alternativas terapêuticas, em resposta à alta demanda do cenário atual. Esse mercado tem destaque centrado no leste asiático (Al-Sowayan; Al-Shareeda, 2021). Uma análise desenvolvida por Bahari, Mokhtahi e Yeganeh

(2023) mostra que o mercado mundial de células-tronco cresceu, entre 2015 e 2022, a uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 25,5%, atingindo um valor de mercado de US\$ 297 bilhões neste último ano, não sendo restrito à dermocosmética, pois as pesquisas com células-tronco são direcionadas, ademais, para terapias de câncer, distúrbios autoimunes, hematológicos e feridas. Alguns fatores apresentam interferência nesse mercado, como a crescente demanda por células-tronco, o aumento constante da população idosa e o financiamento dos setores privados. O mercado de transplante de medula óssea tem previsão de alcance monetário de até 12,8 milhões até 2028.

Conforme Murari *et al.* (2025), o uso de células-tronco mesenquimais (MSCs) em cosméticos é preferido por apresentar menos implicações éticas em comparação ao uso de células fetais ou à realização de testes em animais. Essa abordagem respeita sensibilidades religiosas, culturais e éticas, favorecendo a aceitação entre consumidores que valorizam práticas como o veganismo e o conceito *cruelty-free*. Assim, o comprometimento das empresas com esses princípios tem se mostrado um fator decisivo para a aceitação e adesão aos produtos dermocosméticos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, a utilização de tecnologias de cultivo celular e a aplicação de células-tronco consolidam-se como alternativas viáveis e inovadoras à experimentação animal, redefinindo o cenário da dermocosmética moderna. Tais abordagens permitem uma avaliação mais robusta da eficácia e da segurança de ativos, além de possibilitarem o estudo aprofundado dos mecanismos fisiológicos da pele sem recorrer a métodos tradicionais. Apesar dos desafios ainda existentes em termos de padronização, custos e regulamentações, o potencial terapêutico das células-tronco é amplamente reconhecido, representando ferramentas que podem ser integradas à inovação sustentável no campo dermocosmético. A associação dessas tecnologias à nanotecnologia, que viabiliza tanto a modulação da diferenciação celular quanto a veiculação de fatores de crescimento, e a inteligência artificial, capaz de prever modelos e otimizar processos de cultivo, ampliam ainda mais as perspectivas de desenvolvimento. Assim, os avanços biotecnológicos têm impulsionado de forma significativa a criação de dermocosméticos mais eficazes, seguros e eticamente responsáveis.

REFERÊNCIAS

- AI-SOWAYAN, B. S.; AI-SHAREEDA, A. T. Stem cells and the pursuit of youth, a tale of limitless possibilities and commercial fraud. **World journal of biological chemistry**, 12(4), 52–56, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.4331/wjbc.v12.i4.52>>. Acesso em 21 jun. 2025
- ALCAYAGA-MIRANDA, F.; CUENCA, J.; KHOURY, M.. Antimicrobial Activity of Mesenchymal Stem Cells: Current Status and New Perspectives of Antimicrobial Peptide-Based Therapies. **Frontiers in Immunology**, v. 8-2017, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00339>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- BAHARI, M.; MOKHTARI, H.; YEGANEH, F. Stem Cell Therapy, the Market, the Opportunities and the Threat. **International journal of molecular and cellular medicine**, 12(3), 310–319, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.22088/IJMCM.BUMS.12.3.310>>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- BEDARD, P.; GAUVIN, S.; FERLAND, K.; CANEPARO, C.; PELLERIN, E.; CHABAUD, S.; BOLDUC, S. Innovative Human Three-Dimensional Tissue-Engineered Models as an Alternative to Animal Testing. **Bioengineering**, v. 7, n. 115, p. 40, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/bioengineering7030115>>. Acesso em: 17 jul 2025.
- BRITO, K. N. L., & TRENTIN, A. G. Role of mesenchymal stromal cell secretome on recovery from cellular senescence: an overview. *Cytotherapy*, 27(4), 422–437, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jcyt.2024.11.014>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- CHEN, S., LIANG, B. & XU, J. Unveiling heterogeneity in MSCs: exploring marker-based strategies for defining MSC subpopulations. **Journal of Translational Medicine**, 22, 459, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s12967-024-05294-5>>. Acesso em 01 ago. 2025.
- COSTA, E. F.; MAGALHÃES, W. V.; STASI, L. C. DI. Recent advances in herbal-derived products with skin anti-aging properties and cosmetic applications. **Molecules**, v. 27, n. 21, p. 7518, 1 nov. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/molecules27217518>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- CRUZ, A. M.; GONÇALVES, M. C.; MARQUES, M. S.; VEIGA, F.; PAIVA-SANTOS, A. C.; PIRES, P. C. In vitro models for anti-aging efficacy assessment: a critical update in dermocosmetic research. **Cosmetics**, v. 10, n. 2, p. 66, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/cosmetics10020066>>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- CRUZ, R. DE; NGUYEN, R.; CHEN, P.; KEROB, D.; GEBAUER, K.; WILLEMS, A.; TONG, P.; LEE, M. From Monotherapy to Adjunctive Therapies: Application of Dermocosmetics in Acne Management Across Australia and New Zealand. **The Australasian Journal of Dermatology**, v. 66, n. 4, p. 189, 1 jun. 2025. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ajd.14447>>. Acesso em: 10 ago 2025.

- DAMAYANTI, R. H., RUSDIANA, T., & WATHONI, N. Mesenchymal Stem Cell Secretome for Dermatology Application: A Review. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, 14, 1401–1412, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.2147/CCID.S331044>>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- ESTEVES, M. L. D. B.; BRANDÃO, B. J. F. Colágeno e o envelhecimento cutâneo. **BWS Journal**, v. 5, p. 1–10, 2022. Disponível em: <https://bwsjournal.emnuvens.com.br/bwsj/article/view/161>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- EE, N. K., & CHANG, J. W. Manufacturing Cell and Gene Therapies: Challenges in Clinical Translation. **Annals of Laboratory Medicine**, 44(4), 314–323, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.3343/alm.2023.0382>>. Acesso em: 01 ago. 2025.
- EL-SERAFI, A. T.; EL-SERAFI, I.; STEINVALL, I.; SJÖBERG, F.; ELMASRY, M. Uma revisão sistemática das secreções de queratinócitos: uma perspectiva regenerativa. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 14, p. 7934, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23147934>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- FERNÁNDEZ-GARZA, L. E., BARRERA-BARRERA, S. A., & BARRERA-SALDAÑA, H. A. Mesenchymal Stem Cell Therapies Approved by Regulatory Agencies around the World. **Pharmaceuticals**, 16(9), 1334, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ph16091334>>. Acesso em: 03 de ago. 2025.
- FERNÁNDEZ-SANTOS, M. E., GARCIA-ARRANZ, M., ANDREU, E. J., GARCÍA-HERNÁNDEZ, A. M., LÓPEZ-PARRA, M., VILLARÓN, E., SEPÚLVEDA, P., FERNÁNDEZ-AVILÉS, F., GARCÍA-OLMO, D., PROSPER, F., SÁNCHEZ-GUIJO, F., MORALEDA, J. M., & ZAPATA, A. G). Optimization of Mesenchymal Stromal Cell (MSC) Manufacturing Processes for a Better Therapeutic Outcome. **Frontiers in Immunology**, 13, 918565, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.918565>>. Acesso em: 03 de ago. 2025.
- GORZALCZANY, S. B; BASSO, A. G. R. Strategies to apply 3Rs in preclinical testing. **Pharmacology Research & Perspectives**, v. 9, n. 5, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/prp2.863>>. Acesso em: 15 jul de 2025.
- GOMES, C.; SILVA, A. C.; MARQUES, A. C.; LOBO, J. S.; AMARAL, M. H. Biotechnology Applied to Cosmetics and Aesthetic Medicines. **Cosmetics**, v. 7, n. 2, p. 33, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/cosmetics7020033>>. Acesso em: 17 jul de 2025.
- GOYAL, N.; JEROLD, F. Biocosmetics: technological advances and future outlook. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 10, p. 25148–25169, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17567-3>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- GRILLO, A. C. A.; CÁRNIO PERALES, A. C.; PIMENTEL MELLO PADOVANI, I.; CASAROTO JODAS GARDEL, J.; HERRERA MARFIL, C.; CASTILHO DOS SANTOS, A.; CARLETTO DE PAULA E SILVA, J.; ARAÚJO MISAILIDIS, G.; ROSA FRANÇOSO, G.; ROSSA BURATO, A. C.; WESSLER, L. Mecanismos do envelhecimento cutâneo: revisão das principais teorias.

Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, v. 7, n. 3, p. 1559–1577, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n3p1559-1577>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GUTERRES, I. Z.; DAI PRÁ, I.; BAUER, Y. G.; CORREA, G. S.; DALLEPIANE, F. G.; SEDREZ, M. E.; CRUZ, A. C.; SILVA, I. T. Ensaios de citotoxicidade in vitro como alternativa ao uso de animais no desenvolvimento biotecnológico de produtos. Tendências biotecnológicas sustentáveis para fins de Saúde Única. **GS4 Editora**, v. 1, cap 4, p. 54-65, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.56041/9786599841859-4>>. Acesso em: 02 jul. 2025.

HARTMAN, N.; LOYAL, J.; FABI, S. Update on exosomes in aesthetics. **Dermatologic Surgery**, v. 48, n. 8, p. 862–865, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/DSS.0000000000003487>. Acesso em: 01 jul. 2025.

HIRSCH, T.; SPIELMANN, M.; ZUHAILI, B.; FOSSUM, M.; METZIG, M.; KOEHLER, T.; STEINAU, H.-U.; YAO, F.; ONDERDONK, A. B.; STEINSTRAESSER, L.; ERIKSSON, E. Human beta-defensin-3 promotes wound healing in infected diabetic wounds. **Journal of Gene Medicine**, v. 11, p. 220–228, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jgm.1287>. Acesso em: 01 jul. 2025.

JOVIC, D., YU, Y., WANG, D., WANG, K., LI, H., XU, F., LIU, C., LIU, J., & LUO, Y. A Brief Overview of Global Trends in MSC-Based Cell Therapy. **Stem Cell Reviews and Reports**, 18(5), 1525–1545, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12015-022-10369-1>>. Acesso em: 03 ago. 2025.

KALLURI, R.; LeBLEU, V. S. The biology, function, and biomedical applications of exosomes. **Science**, v. 367, n. 6478, p. eaau6977, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aau6977>. Acesso em: 03 ago. 2025.

KIM, C.-D.; KOO, K.-M.; KIM, H.-J.; KIM, T.-H. Recent advances in nanomaterials for modulation of stem cell differentiation and its therapeutic applications. **Biosensors**, v. 14, n. 8, p. 407, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bios14080407>. Acesso em: 17 jul. 2025.

KIM, K. H.; KIM, Y. S.; LEE, S.; AN, S. The effect of three-dimensional cultured adipose tissue-derived mesenchymal stem cell-conditioned medium and the antiaging effect of cosmetic products containing the medium. **Biomedical Dermatology**, v. 4, n. 1, p. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41702-019-0053-z>. Acesso em: 19 jul. 2025.

LECHANTEUR, C., BRIQUET, A., BETTONVILLE, V., BAUDOUX, E., & BEGUIN, Y. MSC Manufacturing for Academic Clinical Trials: From a Clinical-Grade to a Full GMP-Compliant Process. **Cells**, 10(6), 1320, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/cells10061320>>. Acesso em: 03 de ago. 2025.

- LIU, J.-K. Natural products in cosmetics. **Natural Products and Bioprospecting**, v. 12, p. 40, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13659-022-00363-y>. Acesso em: 02 jul de 2025.
- LI, X.; DUAN, D.; YANG, J.; WANG, P.; HAN, B; ZHAO, L.; JEPSEN, S.; DOMMISCH, H.; WINTER, J.; XU, Yi. The expression of human β -defensins (hBD-1, hBD-2, hBD-3, hBD-4) in gingival epithelia. **Archives of Oral Biology**, v. 66, p. 15–21, 2016. ISSN 0003-9969. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2016.01.012>>. Acesso em: 02 jul. 2025.
- LIANG, J. X.; LIAO, X.; LI, S. H.; JIANG, X.; LI, Z. H.; WU, Y. D.; XIAO, L. L.; XIE, G. H.; SONG, J. X.; LIU, H. W. Antiaging properties of exosomes from adipose-derived mesenchymal stem cells in photoaged rat skin. **BioMed Research International**, v. 2020, p. 6406395, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/6406395>. Acesso em: 02 jul. 2025.
- MALDONADO, V.V.; PATEL, N.H.; SMITH, E.E.; BARNES, C.L.; GUSTAFSON, M.P.; RAO, R.R.; SAMSONRAJ, R.M. Clinical utility of mesenchymal stem/stromal cells in regenerative medicine and cellular therapy. **Journal of Biological Engineering**, v.17, n. 44, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13036-023-00361-9>>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- Mi, B., Liu, J., Liu, Y., Hu, L., Liu, Y., Panayi, A. C., Zhou, W., & Liu, G. The Designer Antimicrobial Peptide A-hBD-2 Facilitates Skin Wound Healing by Stimulating Keratinocyte Migration and Proliferation. *Cellular physiology and biochemistry : international journal of experimental cellular physiology, biochemistry, and pharmacology*, 51(2), 647–663, 2018. <https://doi.org/10.1159/000495320>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- MICHALAK, M. The role of a cosmetologist in the area of health promotion and health education: a systematic review. **Health Promotion Perspectives**, v. 10, n. 4, p. 338, 7 nov. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34172/hpp.2020.52>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- MONNIER, Vincent M.; BAUTISTA, Oliver; KENNY, David; SELL, David R.; FOGARTY, John; DAHMS, William; CLEARY, Patricia A.; LACHIN, John; GENUTH, Saul; DCCT SKIN COLLAGEN ANCILLARY STUDY GROUP. Skin collagen glycation, glycoxidation, and crosslinking are lower in subjects with long-term intensive versus conventional therapy of type 1 diabetes: relevance of glycated collagen products versus HbA1c as markers of diabetic complications. **Diabetes**, v. 48, n. 4, p. 870-880, Apr. 1999. Disponível em: <<http://diabetesjournals.org/diabetes/article-pdf/48/4/870/364706/10102706.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- MURARI, KK; BALAKOTI, E.; PRANEETH, GVS; PUTTA, Dr. S. Fetal cell-derived bio serum in cosmetic dermatology: Sources, bioactivity, and therapeutic potential. **GSC Biological and Pharmaceutical Sciences**. 31. 182-194, 2025. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.30574/gscbps.2025.31.1.0158>>. Acesso em: 02 jul. 2025.

- McMULLEN, R. L.; DELL'ACQUA, G. History of Natural Ingredients in Cosmetics. **Cosmetics**, v. 10, n. 3, p. 71, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cosmetics10030071>. Acesso em 02 jul de 2025.
- RENESME, L., PIERRO, M., COBEY, K. D., MITAL, R., NANGLE, K., SHORR, R., LALU, M. M., & THÉBAUD, B. Definition and Characteristics of Mesenchymal Stromal Cells in Preclinical and Clinical Studies: A Scoping Review. **Stem Cells Translational Medicine**, 11(1), 44–54, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/stcltm/szab009>>. Acesso em 02 ago. 2025.
- NIYONSABA, F.; USHIO, H.; NAKANO, N.; NG, W.; SAYAMA, K.; HASHIMOTO, K.; NAGAOKA, I.; OKUMURA, K.; OGAWA, H. Antimicrobial peptides human beta-defensins stimulate epidermal keratinocyte migration, proliferation and production of proinflammatory cytokines and chemokines. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 127, p. 594–604, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.jid.5700599>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- NOGUEIRA, J. F. Dermocosmetics: origin, evolution and technological trends. **Health and Society**, v. 3, n. 01, p. 241–261, 6 mar. 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.51249/hs.v3i01.1174>>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- SANZ-NOGUÉS, C., O'BRIEN, T. Current good manufacturing practice considerations for mesenchymal stromal cells as therapeutic agents. **Biomaterials and Biosystems**, Volume 2, 100018, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bbiosy.2021.100018>>. Acesso em 03 de ago. 2025.
- SILVA, A. E. L.; GOMES, R. R. C.; NETO, J. F. A. Análise da atitude do consumidor frente à obtenção de dermocosméticos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 11, p. 298–313, 30 nov, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v7i11.3070>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- SILVA, J. M.; ERICSON, S.; DA SILVA, A. R. Inovação e a ciência em animais de laboratório para pesquisas em saúde. **Eduneal**, v.1 Cap.6, p. 58-67, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.48016/GT5ENCCULTCAP6>>. Acesso em 02 jul 2025.
- SILVA, N. C. da; BEZERRA, B. J. da S.; SIMÃO, E. P.; TENÓRIO, F. das C. A. M.; ARAGÃO, N. A. C.; SANTOS, N. P. da S.; CORREIA, M. T. dos S.; ANDRADE, F. M. Morfofisiologia da pele e o processo de envelhecimento cutâneo. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 24, n. 4, p. e16051, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.25248/reas.e16051.2024>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- TAKAHASHI, M.; YUMEHARA, Y.; YUE, H.; TRUJILLO-PAEZ, J. V.; PENG, G.; NGUYEN, H. L. T.; IKUTAMA, R.; OKUMURA, K.; OGAWA, H.; IKEDA, S.; NIYONSABA, F. The antimicrobial peptide human β -defensin-3 accelerates wound healing by promoting angiogenesis, cell migration, and proliferation through the FGFR/JAK2/STAT3 signaling pathway. **Frontiers in Immunology**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.712781>. Acesso em: 27 jul. 2025.

- WANG, M.; ZHANG, L.; HAO, H.; YAN, M.; ZHU, Z. Applications of engineered skin tissue for cosmetic component and toxicology detection. **Cell Transplantation**, v. 33, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/09636897241235464>>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- XUE, Z.; LIAO, Y.; LI, Y. Effects of microenvironment and biological behavior on the paracrine function of stem cells. **Genes & diseases**, v. 11, n.1, p. 135–147, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gendis.2023.03.013>>. Acesso em 23 jul. 2025.
- XU ,Y.; NI, H.; ZHAO, F.; GAO, Q.; ZHAO, Z.; CHANG, C.; HUO, Y.; HU, Y.; ZHANG, Y.; GROVU, R.; HERMIONE, HE.; ZHANG, J.; WANG, Y.; Molecular dynamics and machine learning unlock possibilities in beauty design—A perspective. **AIP Advances**, v. 15, n. 1, p. 10601, 2025. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/5.0245365>>. Acesso em 30 jul. 2025.
- ZARE, S.; JAFARZADEH, A.; ZARE, SHAMLOO, A. Exploring the dermatological applications of human mesenchymal stem cell secretome: a comprehensive review. **Stem Cell Research & Therapy**, 16, 177, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13287-025-04311-8>>. Acesso em 03 de ago. 2025.
- ZHANG, C., HAN, X., LIU, J., CHEN, L., LEI, Y., CHEN, K., SI, J., WANG, T. Y., ZHOU, H., ZHAO, X., ZHANG, X., AN, Y., LI, Y., & WANG, Q. F. Single-cell Transcriptomic Analysis Reveals the Cellular Heterogeneity of Mesenchymal Stem Cells. **Genomics, Proteomics & Bioinformatics**, 20(1), p. 70-86, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gpb.2022.01.005>>. Acesso em 31 jul. 2025.
- ZHANG, Y., RAVIKUMAR, M., LING, L., NURCOMBE, V., & COOL, S. M. Age-Related Changes in the Inflammatory Status of Human Mesenchymal Stem Cells: Implications for Cell Therapy. **Stem Cell Reports**, 16(4), p. 694-707, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2021.01.021>>. Acesso em: 01 ago. 2025.
- ZHOU, T.; YUAN, Z.; WENG, J.; PEI, D.; DU, X.; HE, C.; LAI, P. Challenges and advances in clinical applications of mesenchymal stromal cells. **Journal of hematology & oncology**, 14(1), 24, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13045-021-01037-x>>. Acesso em: 4 ago. 2025.

CAPÍTULO II

CONSTRUÇÃO COLABORATIVA E ÁGIL DE SOLUÇÕES DIGITAIS: A EXPERIÊNCIA DA LEAN INCEPTION EM UM ÓRGÃO PÚBLICO

COLLABORATIVE AND AGILE CONSTRUCTION OF DIGITAL SOLUTIONS: THE LEAN INCEPTION EXPERIENCE IN A PUBLIC AGENCY

DOI: 10.51859/ampla.ein5337-2

Jefferson Gonçalves da Silva ¹

Tancredo Augusto Marques de Araújo ²

Tayline Walverde Bispo ³

Maria Cristina Mesquita da Silva ⁴

¹ Mestre em Ciência da Computação Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

² MBA em Cibersegurança e Crimes Digitais Instituição de formação: Ananguera

³ Doutora em Desenvolvimento Sustentável Universidade de Brasília

⁴ Doutoranda em Educação Universidade Católica de Brasília - UCB

RESUMO

Este artigo apresenta a experiência da aplicação da metodologia Lean Inception no apoio ao desenvolvimento de projetos na área da Tecnologia da Informação (TI), em um órgão do governo federal, com foco na construção colaborativa e ágil de soluções digitais voltadas à melhoria dos processos internos. De acordo com CAROLI (2018) a Lean Inception é uma metodologia voltada à definição e alinhamento de Produto Mínimo Viável (Minimum Viable Product - MVP), utilizada para promover integração entre equipes multidisciplinares, identificar necessidades reais dos usuários e priorizar funcionalidades de forma objetiva. No caso ora apresentado, pode-se concluir que os resultados evidenciaram ganhos em clareza de propósito, engajamento dos participantes e assertividade no desenvolvimento de soluções. A experiência demonstra o potencial da abordagem para fomentar a inovação no setor público, reduzir desperdícios e entregar valor de forma incremental e contínua.

Palavras-chave: Lean Inception, Inovação no setor público, Produto Mínimo Viável (MVP), Gestão ágil, Transformação digital.

ABSTRACT

This article presents the experience of applying the Lean Inception methodology to support project development in the Information Technology (IT) area within a federal government agency. It focuses on the collaborative and agile construction of digital solutions aimed at improving internal processes. According to CAROLI (2018), Lean Inception is a methodology focused on defining and aligning the Minimum Viable Product (MVP), used to promote integration among multidisciplinary teams, identify real user needs, and prioritize functionalities objectively. In the case presented here, it can be concluded that the results showed gains in clarity of purpose, participant engagement, and assertiveness in solution development. The experience demonstrates the approach's potential to foster innovation in the public sector, reduce waste, and deliver value incrementally and continuously.

Keywords: Lean Inception, Public Sector Innovation, Minimum Viable Product (MVP), Agile Management, Digital Transformation.

1. INTRODUÇÃO

A desburocratização é um tema sensível para a administração pública como um todo. No contexto do órgão público federal lócus desta investigação, tem-se como umas das metas estratégicas de atuação, a diminuição da burocracia e implantação de métodos ágeis. Esta meta pode ser identificada como tópico do Plano Diretor de Tecnologias da Informação e Comunicação (PDTIC), documento que norteia as ações de tecnologia do órgão, com o objetivo de atender às necessidades finalísticas e de informação para o período de 2025 a 2028.

O público-alvo dos serviços públicos, no mencionado contexto, em geral, é composto por estudantes bolsistas, pesquisadores, professores e cientistas. Estes perfis por sua natureza, demandam agilidade nas entregas demandadas, se possível, atualizadas com os recursos ágeis e atuais da contemporaneidade.

Não obstante o perfil dos beneficiários, é mister considerar que historicamente, em muitos cenários, a administração pública tem dificuldades de acompanhar as demandas dos cidadãos em tempo real, sendo necessário uma constante busca por métodos ágeis.

Perante as demandas de políticas e programas educacionais, o órgão público participante da pesquisa necessita manter a celeridade na publicação de editais que viabilizem o acesso a recursos para seu público-alvo. A partir disso, nasce a ideia de utilizar métodos ágeis como a Lean Inception, que junta áreas meio e as áreas finalísticas, em um mesmo ambiente durante determinado período para juntos elaborarem instrumentos adequados.

O presente artigo apresenta a experiência da Lean Inception do ponto de vista dos participantes, com o objetivo de elucidar se a experiência teve um resultado positivo por meio de uma pesquisa interna com os colaboradores do órgão público, que participaram do processo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Do ponto de vista teórico, a *Lean Inception* se baseia em conceitos-chave do *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996), como a eliminação de desperdícios, entrega contínua de valor e foco no cliente. Além disso, ela incorpora princípios do Manifesto Ágil (Beck et al., 2001), como colaboração com o cliente e resposta a mudanças. A estrutura da *Lean Inception* é composta por uma série de workshops interativos, realizados ao longo de uma semana, com

o objetivo de construir uma visão clara do produto, definir personas, mapear jornadas de usuários, alinhar funcionalidades e priorizar entregas.

Estudos recentes apontam que a adoção da *Lean Inception* contribui significativamente para a redução de retrabalho e aumento da eficiência no desenvolvimento de software (Gonçalves & Silva, 2021; Martins et al., 2022). Além disso, seu uso tem sido reportado em diferentes contextos, desde startups até grandes organizações, demonstrando sua adaptabilidade e eficácia na construção de produtos digitais centrados no usuário.

Desta forma, o presente referencial teórico busca aprofundar a compreensão sobre os fundamentos, práticas e impactos da *Lean Inception*, a fim de sustentar a análise de sua aplicação em projetos de inovação e transformação digital.

2.1. LEAN INCEPTION

A *Lean Inception* é uma abordagem colaborativa e objetiva voltada para a definição de produtos mínimos viáveis (MVPs) de forma eficiente e alinhada aos objetivos de negócio. Criada por Paulo Caroli (2018), com o lançamento do livro *Lean Inception: como alinhar pessoas e construir o produto certo*. A metodologia se baseia em práticas da filosofia Lean e do pensamento ágil para promover a convergência entre as áreas de negócios, design e desenvolvimento, garantindo uma compreensão compartilhada do que deve ser construído. Essa técnica tem ganhado destaque em ambientes corporativos dinâmicos, onde requer-se, para a entrega de valor, a rápida validação de hipóteses e o aprendizado contínuo. A *Lean Inception* surgiu como uma resposta prática aos desafios enfrentados por times de desenvolvimento na definição clara e colaborativa de produtos digitais.

Inspirada por princípios do *Lean Thinking* (WOMACK & JONES, 1996) e do Manifesto Ágil (BECK et al., 2001), a *Lean Inception* propõe uma semana de workshops estruturados para alinhar expectativas e planejar o MVP. O método tem sido adotado em organizações brasileiras, principalmente em setores que buscam agilidade na entrega de valor ao cliente.

Com o passar dos anos, a *Lean Inception* extrapolou o cenário nacional e passou a ser adotada por empresas multinacionais, sendo utilizada em projetos de transformação digital e inovação em diversos setores. Estudos acadêmicos e relatos de caso reforçaram a efetividade da metodologia, destacando sua contribuição para a redução de retrabalho, melhoria na comunicação entre equipes e foco na entrega de valor ao usuário (GONÇALVES & SILVA, 2021; MARTINS et al., 2022).

Atualmente, a *Lean Inception* é considerada uma prática consolidada dentro da caixa de ferramentas ágeis, sendo ensinada em cursos, aplicada em consultorias e adaptada a diferentes contextos organizacionais. A sua evolução reflete a crescente demanda por métodos colaborativos e enxutos que promovam entregas rápidas e eficazes no desenvolvimento de produtos digitais.

2.2. O LÓCUS DA PESQUISA

Fundada em 1951, a agência pública na qual se desenvolveu a experiência em análise, é responsável pela indução, coordenação e avaliação da pós-graduação *stricto sensu* no país. De maneira sucinta, é possível organizar sua trajetória em quatro períodos fundamentais:

- Implantação (1951-1969), caracterizada pela formação de quadros docentes no exterior e estruturação inicial do sistema;
- Consolidação (1970-1989), marcada pela criação do sistema nacional de avaliação e expansão da pós-graduação;
- Diversificação (1990-2009), com ênfase na internacionalização e na interdisciplinaridade; e
- Fase contemporânea (2010-presente), destacando-se as iniciativas de inovação tecnológica e adoção de metodologias ágeis na gestão.

A autarquia evoluiu de um órgão voltado principalmente para a formação de professores universitários para uma agência complexa de fomento à pesquisa científica e tecnológica. A fundação teve papel fundamental na construção do sistema nacional de ciência e tecnologia, porém enfrenta o desafio de se adaptar às novas exigências do século XXI, particularmente no que tange à transformação digital e à internacionalização competitiva da pesquisa brasileira.

2.3. LEAN INCEPTION E INOVAÇÃO NO SETOR PÚBLICO

Para entender como a *Lean Inception* funciona no Estado, é crucial examinar as ideias por trás desta abordagem e como elas se encaixam nos desafios atuais da administração pública. Inspirado pelo *Lean Thinking* (Womack e Jones, 1996), a *Lean Inception* surge como um avanço natural das práticas ágeis, moldado para a fase essencial de definição e ajuste de produtos mínimos viáveis (Caroli, 2018).

As publicações especializadas mostram que os métodos ágeis, criados inicialmente para o setor de tecnologia (Schwaber e Sutherland, 2020), têm sido progressivamente

ajustados ao ambiente governamental, embora com desafios notáveis na implementação (Janowski, 2015). Nesse contexto, a *Lean Inception* se sobressai por fornecer uma estrutura concisa para superar a tradicional inflexibilidade burocrática, uma característica proeminente das organizações públicas, conforme apontam os estudos de Hood (1991) sobre a Nova Gestão Pública.

As obras de Caroli (2018) estabelecem os alicerces teóricos da *Lean Inception*, enfatizando sua natureza colaborativa e centrada no usuário. Essa abordagem se conecta diretamente com os conceitos de design thinking (Brown, 2008), especialmente no que diz respeito à empatia entre as partes interessadas e à prototipagem ágil. A metodologia se mostra particularmente relevante para o setor público ao considerarmos as pesquisas de Mergel (2016) sobre inovação governamental, que ressaltam a necessidade de mais flexibilidade nos processos de desenvolvimento de serviços públicos.

No contexto específico mencionado, o uso da *Lean Inception* revela uma convergência interessante com as teorias de governança digital (Dunleavy et al., 2006). A literatura recente (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2021; Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, 2020) indica uma demanda crescente por métodos ágeis em agências de fomento à pesquisa, embora ainda existam lacunas importantes na documentação de casos práticos. Os estudos de Vincx (2020) sobre transformação ágil no setor público alertam para os riscos de adoção superficial destas metodologias sem a devida adaptação às preocupações institucionais.

Uma análise crítica da literatura revela a existência de três tensões primárias que perpassam a implementação de abordagens inovadoras no setor público. Primeiramente, observa-se a dicotomia inerente entre a necessidade de agilidade e os rigorosos requisitos de controle típicos da administração pública (Pollitt, 2016). Em segundo lugar, destaca-se o desafio persistente de mensurar resultados tangíveis em processos de natureza intrinsecamente iterativa (Janowski, 2015), onde a evolução contínua dificulta a avaliação padronizada. Por fim, há a escassez de modelos claros e replicáveis para a escalabilidade de soluções que se mostram eficazes em pequena escala (Mergel et al., 2018), limitando a ampliação de seu impacto. Essas tensões evidenciam as complexidades do contexto governamental e sublinham a necessidade crítica de mais pesquisas empíricas que documentem a aplicação de metodologias como o *Lean Inception* em seus diversos cenários.

Os estudos disponíveis de caso (Caroli, 2018; IPEA, 2021) sugerem que o sucesso da implementação depende criticamente de três fatores: (1) o alinhamento com as estratégias organizacionais mais amplas (Mintzberg, 1994); (2) uma capacidade de adaptação aos marcos regulatórios existentes (Pollitt, 2016); e (3) o envolvimento contínuo das partes interessadas (Bryson, 2018). Essa constatação ecoa os princípios de governança colaborativa (Ansell e Gash, 2008), indicando que a *Lean Inception* pode servir como elo entre as práticas ágeis e os modelos tradicionais de gestão pública.

Basicamente, o contexto teórico mostrado aqui prepara o cenário para entender como a *Lean Inception* pode funcionar em uma organização estatal, colocando-o dentro do panorama geral das teorias de inovação no setor público, governança digital e gestão ágil. A revisão mostra o quanto essa abordagem pode mudar o contexto e quais obstáculos teóricos e práticos que estudos futuros precisaram enfrentar.

2.4. APLICAÇÃO DA LEAN INCEPTION COMO MVP

Em maio de 2025, teve início a primeira das cinco reuniões da *Lean Inception*, aplicada ao planejamento e ao delineamento do arcabouço tecnológico necessário ao programa público educacional em execução. O público-alvo do referido programa é formado por estudantes de cursos superiores de licenciatura.

Dada a complexidade da iniciativa e a necessidade de definição clara dos requisitos iniciais, optou-se pela utilização da metodologia *Lean Inception* para facilitar a visualização e estruturação do MVP, com o objetivo final de assegurar que os beneficiários alcancem o propósito de obterem bolsas de estudos (Caroli, 2018). As reuniões contaram com a participação de servidores públicos e colaboradores de duas diretorias da agência: Diretorias de Tecnologia da Informação (DTI) e a diretoria finalística responsável pela gestão do programa.

No primeiro encontro foi realizada a etapa conhecida como *kick-off*, na qual os participantes foram apresentados à metodologia e à visão geral do produto. Essa fase teve como propósito alinhar as expectativas e apresentar os objetivos estratégicos da iniciativa.

No segundo dia de reunião, ocorreu a definição das personas, a partir da construção do Mapa da Empatia, ferramenta da referida metodologia que busca identificar o que cada perfil representativo vê, ouve, pensa e sente (Caroli, 2018). Foram definidas três personas principais: o gestor financeiro, o gestor de bolsas e o bolsista.

A terceira reunião foi dedicada ao nivelamento das features (funcionalidades). Nesta etapa, listaram-se as funcionalidades desejadas para o sistema, estimando-se para cada uma delas o valor gerado e o esforço necessário para implementação. Também foram avaliados o grau de incerteza técnica e o nível de concordância entre as áreas de negócio envolvidas.

Durante o quarto dia, desenvolveu-se a jornada do usuário e o sequenciamento das funcionalidades. Essa fase consistiu em associar as features às personas e mapear em que momento da experiência de uso essas funcionalidades são acionadas, permitindo uma visão mais concreta do fluxo de interação com o sistema.

Por fim, no último dia, realizou-se o preenchimento do MVP Canvas, ferramenta que consolida todas as informações levantadas nas etapas anteriores. A atividade culminou na realização do *Showcase*, momento em que os participantes apresentam um resumo geral do processo e validam as decisões tomadas.

Como resultado, foi gerado o MVP da iniciativa, que, no contexto da agência pública, consiste em um instrumento técnico contendo requisitos essenciais e diretrizes iniciais para o desenvolvimento do primeiro sistema voltado à operacionalização do programa público.

3. METODOLOGIA

As perguntas do questionário foram direcionadas para os servidores e colaboradores que participaram da Lean Inception. As perguntas permitiam resposta para classificar a concordância do entrevistado, de 1 a 5, representando “Concordo plenamente (5)”, “Concordo (4)”, “Nem concordo nem discordo (3)”, “Discordo (2)” e “Discordo totalmente (1)”.

Espera-se com os resultados da pesquisa obter uma compreensão do nível de aceitação da Lean Inception, enquanto metodologia ágil no serviço público e perceber como tal metodologia impactou os usuários envolvidos em sua aplicação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e analisa os principais resultados obtidos a partir da aplicação do questionário, instrumento central da coleta de dados desta pesquisa. Os dados coletados foram organizados e interpretados à luz dos objetivos estabelecidos, buscando identificar evidências sobre o impacto da aplicação da metodologia *Lean Inception* no contexto do serviço público.

A primeira pergunta “Você percebeu um engajamento maior do que o normal ao discutir os tópicos/objetivos da reunião no formato de *Lean Inception*?” A parcela de 29% dos participantes respondeu “Concordo Plenamente” e 71% responderam “concordo”.

A segunda questão “As dinâmicas aplicadas durante a *Lean Inception* ajudaram a alinhar os objetivos do time” foi respondida por 29% dos entrevistados com “Concordo Plenamente” e 71% responderam “Concordo”.

A terceira questão apresentada aos participantes foi: “As atividades foram bem conduzidas e respeitaram o tempo previsto”. Dos participantes, 14% responderam “Nem concordo nem discordo” enquanto 29% das respostas foram “Concordo Plenamente” e 57% responderam “Concordo”.

Para a pergunta “As decisões foram tomadas de forma coletiva e democrática.” Obteve-se 14% das respostas foram “Concordo Plenamente” e 86% responderam “Concordo”.

Para a pergunta “A *Lean Inception* trouxe benefícios claros para o planejamento e execução do projeto” obteve-se 29% das respostas como “Concordo” e 71% responderam “Concordo Plenamente”.

A sexta questão apresentada aos participantes foi: “Os resultados obtidos com a *Lean Inception* foram aplicáveis à realidade da fundação de fomento?”. Dos participantes, 14% responderam “Nem concordo nem discordo” enquanto 29% das respostas foram “Concordo” e 57% responderam “Concordo Plenamente”.

Para a pergunta “Ao final da *Lean Inception*, ficou claro o que deveria ser entregue no Produto Mínimo Viável (MVP)” obteve-se 43% das respostas como “Concordo” e 57% responderam “Concordo Plenamente”.

Para a pergunta “Estou satisfeito com a experiência geral da *Lean Inception*?” obteve-se 100% das respostas como “Sim”.

A Nona questão apresentada aos participantes foi: “Houve continuidade nas ações após a realização da *Lean Inception*”. Dos participantes, 14% responderam “Nem concordo nem discordo” enquanto 29% das respostas foram “Concordo” e 57% responderam “Concordo Plenamente”.

Para a pergunta “Recomendaria o uso da *Lean Inception* em outros projetos dentro da fundação de fomento?” obteve-se 100% das respostas como “Sim”.

Para a pergunta “Você considera participar novamente de uma *Lean Inception* na fundação de fomento?” obteve-se 100% das respostas como “Sim”.

A questão final e opcional foi a seguinte: “Deixe um relato sobre sua experiência com a *Lean Inception*” teve 2 respostas que foram:

1. A dinâmica de apresentação das necessidades é muito criativa, que ajuda no entendimento do processo a ser solucionado, ajuda muito todos os níveis a serem comprometidos na resolução das questões. A ludicidade e a criatividade são um destaque que torna a dinâmica leve e produtiva. Parabéns ao time dos envolvidos.
2. Ótima experiência. A equipe está de parabéns pela condução. A única dificuldade é conciliar as agendas.

Com base nas respostas obtidas, observa-se uma percepção amplamente positiva dos participantes em relação à experiência com a *Lean Inception*. As primeiras questões indicam alto nível de engajamento e alinhamento de objetivos, com a maioria absoluta dos respondentes marcando “Concordo” ou “Concordo Plenamente”. A condução das atividades e o respeito ao tempo previsto também foram bem avaliados, embora uma pequena parcela tenha se mostrado neutra. Destaca-se a avaliação extremamente favorável quanto à tomada de decisões de forma democrática, aos benefícios percebidos no planejamento e execução dos projetos, bem como à aplicabilidade dos resultados à realidade da fundação.

As questões relacionadas à clareza do MVP, à continuidade das ações e à satisfação geral com a experiência apresentaram unanimidade ou alta concordância positiva. Além disso, 100% dos participantes afirmaram que recomendariam a metodologia para outros projetos e que participariam novamente. Os relatos qualitativos reforçam a percepção de uma dinâmica criativa, colaborativa e bem conduzida, embora ressaltem desafios como a conciliação de agendas.

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a experiência da aplicação da metodologia Lean Inception no contexto da administração pública como estratégia para desburocratização, alinhamento intersetorial e incremento da agilidade na formulação de entregas, como no caso da elaboração de editais estratégicos.

A análise dos dados coletados por meio do questionário aplicado aos participantes da *Lean Inception* revelou uma percepção majoritariamente positiva quanto à eficácia da metodologia. Os resultados indicam que a abordagem contribuiu para aumentar o

engajamento dos participantes, promover o alinhamento de objetivos entre as áreas envolvidas e permitir decisões mais colaborativas.

Além disso, os respondentes apontaram que as entregas planejadas ficaram mais claras e aplicáveis à realidade institucional, o que reforça a adequação da metodologia ao ambiente público. Os relatos qualitativos complementam os dados quantitativos, destacando a criatividade das dinâmicas e a capacidade de engajar diferentes níveis hierárquicos em um processo colaborativo e produtivo. Ainda que a conciliação de agendas tenha sido apontada como um desafio, a avaliação geral foi amplamente favorável, com todos os participantes indicando disposição em repetir a experiência e recomendar seu uso em outros projetos.

Conclui-se que a *Lean Inception* se mostrou uma ferramenta promissora para a administração pública, especialmente em contextos que exigem agilidade, alinhamento entre múltiplas áreas e entregas com foco no valor público. A experiência pode servir de referência para outras instituições governamentais que buscam inovar na gestão de projetos, adotando práticas ágeis de forma estruturada, participativa e eficiente.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o aprofundamento do estudo em diferentes contextos organizacionais, bem como o acompanhamento longitudinal dos impactos práticos das ações planejadas durante as *inceptions*, a fim de ampliar a compreensão sobre sua efetividade e sustentabilidade no setor público.

REFERÊNCIAS

- ANSEL, C.; GASH, A. Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, v. 18, n. 4, p. 543-571, 2008.
- BATISTA, Paulo Caroli. *Lean Inception: como alinhar pessoas e construir o produto certo*. São Paulo: Caroli.org, 2018.
- BECK, Kent et al. *Manifesto Ágil para Desenvolvimento de Software*, 2001.
- GONÇALVES, R.; SILVA, M. Aplicações práticas da Lean Inception em times ágeis. *Revista de Engenharia de Software*, 2021.
- BRASIL. Decreto nº 29.741, de 11 de julho de 1951. Cria a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Diário Oficial da União*, Rio de Janeiro, 12 jul. 1951.
- BRYSON, J. M. *Strategic planning for public and nonprofit organizations*. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2018.
- BROWN, T. *Design thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

- DUNLEAVY, P. et al. Digital era governance: IT corporations, the state, and e-government. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- HOOD, C. A public management for all seasons? Public Administration, v. 69, n. 1, p. 3-19, 1991.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Burocracia e eficiência no setor público brasileiro. Brasília: IPEA, 2021.
- JANOWSKI, T. Digital government evolution: from transformation to contextualization. Government Information Quarterly, v. 32, n. 3, p. 221-236, 2015.
- MARTINS, L. et al. Lean Inception e sua contribuição para projetos de inovação digital. Anais do Congresso Brasileiro de Sistemas, 2022.
- MERGELL, I. Agile innovation management in government: A research agenda. Government Information Quarterly, v. 33, n. 3, p. 516-523, 2016.
- MERGELL, I. et al. Agile government: Systematic literature review and future research. Government Information Quarterly, v. 35, n. 2, p. 291-298, 2018.
- MINTZBERG, H. The rise and fall of strategic planning. New York: Free Press, 1994.
- MOROSINI, M. C. (Org.). Enciclopédia de pedagogia universitária. Porto Alegre: FAPERGS/RIES, 2006. v. 2. (Verbete "CAPES", p. 78-85).
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. The innovative capacity of public procurement. Paris: OECD Publishing, 2020.
- OLIVEIRA, J. B. A.; FONSECA, M. Os desafios da internacionalização da pós-graduação brasileira no contexto da CAPES PrInt. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 48, e20220045, 2022.
- POLLITT, C. Managerialism redux? Financial Accountability & Management, v. 32, n. 4, p. 429-447, 2016.
- SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. Scrum Guide. 2020. Disponível em: <https://scrumguides.org/>.
- SGUISSARDI, V.; SILVA JÚNIOR, J. R. Trabalho intensificado nas federais: pós-graduação e produtivismo acadêmico. São Paulo: Xamã, 2009.
- VINCX, P. Agile transformation in the public sector. Berlin: Springer, 2020.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster, 1996.

CAPÍTULO III

EXTRAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE ALCALOIDES BIOATIVOS EM RESÍDUO SÓLIDO DE “UNHA-DE-GATO” (*UNCARIA TOMENTOSA* (WILD.) D. C.)

EXTRACT AND IDENTIFICATION OF BIOACTIVE ALKALOIDS IN SOLID RESIDUES OF "CAT'S CLAW" (*UNCARIA TOMENTOSA* (WILD.) D.C.)

DOI: 10.51859/amplla.ein5337-3

João Vitor Araujo do Nascimento Silva ¹

Arthur Luy Tavares Ferreira Borges ²

Jeniffer Carolinne Freitas dos Santos ³

Maria Imaculada Ferreira Sousa ⁴

João Victor Lessa de Oliveira ⁵

Carlos Emmerson Ferreira Costa ⁶

Sâmia Andrcia Souza da Silva ⁷

João Xavier De Araujo Junior ⁸

Ticiano Gomes do Nascimento ⁹

¹ Graduando do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

² Doutorando em Materiais. Programa de Pós-Graduação em Materiais - UFAL

³ Graduanda do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

⁴ Graduanda do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

⁵ Doutorando em Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde - UFAL

⁶ Laboratório de Óleos da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Química - UFPA

⁷ Professora Dra. Titular do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

⁸ Professor Dr. Titular do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

⁹ Professor Dr. Titular do Curso de Farmácia. Universidade Federal de Alagoas - UFAL

RESUMO

A *Uncaria tomentosa* (Willd.) D. C. é uma planta trepadeira lenhosa comum na América do Sul, identificada pelos espinhos semelhantes a garras que dão o nome popular da planta: “Unha-de-gato”. Utilizada tradicionalmente para o tratamento de inflamações e com potencial antimicrobiano, imunomodulador e antitumoral atribuído aos seus metabolitos secundários, em especial aos alcaloides, sendo mais importante os oxindólicos. Este estudo buscou extrair os alcaloides no resíduo sólido das cascas de *U. tomentosa* após extração etanólica como forma de utilizar todo o potencial da droga vegetal. Os metabolitos presentes no resíduo sólido foram extraídos em solução de ácido de H₂SO₄ 2% v/v e precipitados com soluções de Dragendoff, Bouchart e Reinecke para atestar a presença de alcaloides. O extrato ácido passou por precipitação com Reineckato de Amônio para produzir uma Fração Alcaloides Totais (FAT) e posteriormente particionar por extração líquido-líquido com diferentes solventes orgânicos que produziram Frações Enriquecidas de Alcaloides (FEAs) que foram analisadas por espectrofotometria UV-Vis, a identificação do marcador

Rincofilina foi determinada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). O extrato apresentou precipitado na presença de todos as soluções atestando a presença de alcaloides nas amostras. Os espectros UV-Vis demonstraram o perfil de absorção característico de alcaloides oxindólicos e indólicos com absorvidade máximas de 242-260nm e 280 nm, respectivamente. Foi identificado com sucesso a presença do alcaloide oxindólico rincofilina em 23,5 min e picos majoritários sugestivos de alcaloides oxindólicos em 9,3 e 13,7 min garantindo a autenticidade da matéria-prima e o potencial bioativo da droga vegetal tratada como resíduo.

Palavras-chave: Alcaloides oxindólicos. Alcaloides indólicos. Espectro UV-Vis. CLAE-DAD-UV-Vis. Sal de Reinecke.

ABSTRACT

Uncaria tomentosa (Willd.) D.C. is a woody climbing plant commonly found in South America, recognized by its claw-shaped thorns, which give rise to its popular name: "Cat's Claw." Traditionally used for treating inflammation



and known for its antimicrobial, immunomodulatory, and antitumor potential attributed to its secondary metabolites, particularly alkaloids, with oxindole alkaloids being the most important. This study aimed to extract alkaloids from the solid residue of *U. tomentosa* bark after ethanol extraction, to harness the full potential of the plant material. The metabolites present in the solid residue were extracted using a 2% v/v H₂SO₄ acid solution and precipitated using Dragendorff's, Bouchardat's, and Reinecke's reagents to confirm the presence of alkaloids. The acid extract was then precipitated with ammonium reineckate to produce a Total Alkaloid Fraction (TAF), which was subsequently partitioned through liquid-liquid extraction with different organic solvents, yielding Alkaloid-Enriched Fractions (AEFs). These were analyzed by UV-Vis spectrophotometry, and the identification of

the marker rhynchophylline was determined by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). The extract formed precipitates with all three reagents, confirming the presence of alkaloids in the samples. The UV-Vis spectra showed the characteristic absorption profile of oxindole and indole alkaloids, with maximum absorbance at 242–260 nm and 280 nm, respectively. The presence of the oxindole alkaloid rhynchophylline was successfully identified at 23.5 min, along with major peaks suggestive of other oxindole alkaloids at 9.3 and 13.7 min, confirming the authenticity of the raw material and the bioactive potential of the plant drug treated as residue.

Keywords: Oxindole alkaloids. Indole alkaloids. UV-Vis spectra of alkaloids. HPLC-DAD-UV-Vis. Reinecke's Salt.

1. INTRODUÇÃO

A *Uncaria tomentosa* (Wild.) D. C. é uma planta trepadeira lenhosa da família Rubiaceae, amplamente distribuída na América do Sul e Central. Pode atingir de 20 a 30 m de altura, apresenta folhas simples, ovaladas e opostas, de coloração verde-escura, e caracteriza-se pela presença de espinhos em forma de garra que se projetam do caule, motivo pelo qual é popularmente conhecida como “Unha-de-Gato” (Gilbert, et al., 2005; Blanck, et al., 2022).

Tal espécie é amplamente utilizada na medicina tradicional para o tratamento de alergias, artrite, asma e, sobretudo, processos inflamatórios. Além disso, estudos relatam outras propriedades terapêuticas, como atividade antioxidante, antimicrobiana, antiviral, anticâncer e imunomoduladora (Keplinger et al., 1998; Batiha et al., 2020).

Essas ações são atribuídas principalmente aos seus metabólitos secundários, incluindo alcaloides oxindólicos e indólicos, terpenóides e polifenóis (Navarro, et al. 2019; Blanck, et al., 2022). Desses, os alcaloides, substâncias derivadas de diversos precursores diferentes como os aminoácidos triptofano e histidina, possuem grande interesse farmacológico devido o enorme potencial bioativo (O'Connor & Maresh, 2006; Qin et al., 2021).

Os alcaloides de *U. tomentosa* vem sendo apontados como componentes com maior atividade presente na planta, sendo os alcaloides oxindólicos mais importantes dos constituintes químicos, sendo classificados em pentacíclicos e tetracíclicos, cada um com propriedades farmacológicas diferentes (Laus et al., 1997; Chen et al., 1999; Kim, et al., 2008; Rojas-Duran et al., 2012; Azevedo et al., 2019).

Os alcaloides oxindólicos pentacíclicos (POA) são associados a atividades imunomoduladoras, antimicrobianas e antioxidantes, enquanto os tetracíclicos (TOA) são

associados a atividade cardiovascular e do sistema nervoso (Batiha et al., 2020). O teor desses alcaloides na planta depende diretamente da sazonalidade e da localização geográfica da planta (Laus et al., 1996).

De acordo com os objetivos sustentáveis da Organização Mundial de Saúde (OMS) para a produção e consumo sustentável, é essencial garantir a redução da geração de resíduos e o uso eficiente dos recursos naturais, embora as plantas medicinais sejam fontes de diversos princípios ativos que podem ser extraídos por diversos métodos, nem sempre é possível extrair todos os ativos por um único método. A matriz vegetal utilizada na extração pode manter substâncias ativas de interesse, o uso de mais de um método de extração é essencial para reduzir os impactos de geração de resíduos e o uso das plantas medicinais com eficácia e sustentabilidade (Won & Kwon, 2024).

Dado esse contexto, o presente trabalho buscou obter um extrato a partir de cascas de *Uncaria tomentosa* comercial, previamente exaurida por uma extração etanólica, fracionar os alcaloides presentes nesse extrato e particioná-los em frações enriquecidas de alcaloides visando o potencial de reuso de um material antes descartado. Por fim, a identificação dos alcaloides marcadores de qualidade da *Uncaria tomentosa* por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), assim estabelecendo métodos para avaliação e controle de qualidade do produto, garantindo a segurança em seu uso.

2. METODOLOGIA

O estudo foi cadastrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético (SisGen), com o código AA7727B.

2.1. OBTENÇÃO DO EXTRATO ÁCIDO DE UNCARIA TOMENTOSA (WILLD. EX SCHULT.)

As cascas de *Uncaria tomentosa* foram adquiridas no mercado Ver-o-Peso (Belém - PA) e pulverizadas em um moinho de facas (Tecnal®, TE-631) para obter um pó fino.

O extrato ácido foi obtido a partir de cascas de *U. tomentosa* pulverizadas que passaram previamente por maceração a frio usando etanol absoluto como solvente, após sucessivas extrações, (> 3 vezes) com etanol absoluto até esgotamento do pó das cascas, o extrato foi filtrado e os resíduos sólidos restantes, pó das cascas, foram utilizados para produzir o extrato ácido.

A extração ácida foi realizada por maceração a frio utilizando ácido sulfúrico 2% v/v usando extração por esgotamento do pó das cascas, e após quatro vezes, os extratos ácidos foram reunidos e armazenados em frasco âmbar para posteriores etapas de fracionamento e análises.

2.2. TRIAGEM FITOQUÍMICA PARA ALCALOIDES NO EXTRATO ÁCIDO DE *U. TOMENTOSA*

A presença de alcaloides foi avaliada conforme o protocolo da Sociedade Brasileira de Farmacognosia (2009). Para a análise, alíquotas do extrato ácido foram distribuídas em quatro tubos de ensaio, as alíquotas tiveram o pH ajustado para 4,0, onde três delas receberam duas gotas de cada reagente a seguir: Bouchardat/Wagner, Dragendorff e Reinecke, enquanto o quarto tubo foi utilizado como controle. Após a homogeneização, a formação de precipitado dentro de 24h foi observada como indicativo da presença de alcaloides no extrato ácido.

2.3. OBTENÇÃO DOS PRECIPITADOS DE *U. TOMENTOSA* POR COMPLEXAÇÃO COM REINECKATO DE AMÔNIO

O pH do extrato ácido foi ajustado para 4,0 e seus alcaloides foram precipitados pela adição de reineckato de amônio 1% m/v, aproximadamente 2 mL da solução foram usados para precipitar 250 mL do extrato ácido.

O precipitado de *U. tomentosa* foi coletado cuidadosamente com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, mantendo o mínimo possível de sobrenadante, e foi armazenado como Fração de Alcaloides Totais (FAT) em geladeira para posterior partição.

2.4. OBTENÇÃO DE FRAÇÕES ENRIQUECIDAS EM ALCALOIDES POR PARTIÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

As frações enriquecidas em alcaloides foram obtidas por partição líquido-líquido com base na solubilidade desses metabólitos em meio ácido e básico.

Inicialmente, a Fração de Alcaloides Totais (FAT) teve o pH ajustado com hidróxido de amônio P.A. até pH = 9,0 em um funil de separação.

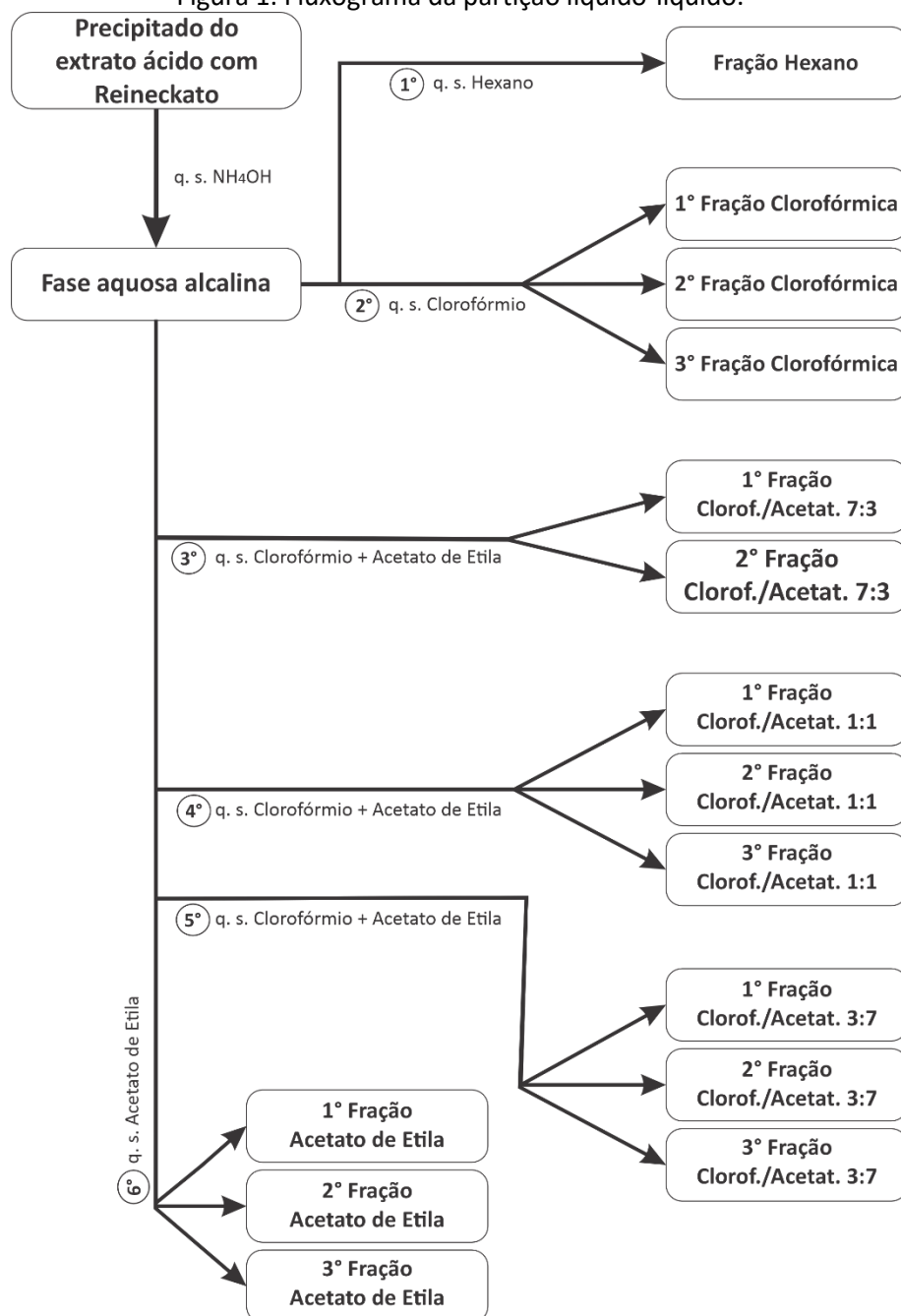
Em seguida, a amostra foi tratada com hexano para a remoção de interferentes mais apolares, seguido da extração com diferentes solventes orgânicos, possibilitando a migração dos alcaloides para a fase apolar.

Aplicou-se um gradiente de polaridade de solventes, iniciando com hexano, seguido de clorofórmio 100%, clorofórmio:acetato de etila (7:3), clorofórmio:acetato de etila (1:1),

clorofórmio:acetato de etila (3:7) e, por fim, acetato de etila 100%. Cada gradiente foi repetido por, no mínimo, duas vezes para garantir a extração máxima dos alcaloides, um esquema da metodologia aplicada pode ser observado na figura 1.

As frações orgânicas de mesmo gradiente foram reunidas e armazenadas em frascos de vidro e secas à temperatura ambiente e sem auxílio de temperatura para posterior análise no espectro de UV-Vis e cromatografia de alta eficiência.

Figura 1. Fluxograma da partição líquido-líquido.



Fonte: Autoria própria (2025).

2.5. CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES ENRIQUECIDAS DE ALCALOIDES (FEAS)

2.5.1. Varredura em espectrofotômetro UV-Vis

As frações enriquecidas de alcaloides (FEAs) foram solubilizadas em metanol e analisadas em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu®, modelo UV-1280), no modo varredura, em uma faixa de 200 a 600 nm, considerando intervalos de 5 nm, os quais foram utilizados para a construção do gráfico no software OriginLab®

2.5.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

As frações foram analisadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) Nexera XR do tipo CLAE-DAD acoplada a um detector de arranjo de diodo (Shimadzu®). As condições cromatográficas foram definidas com um sistema de desgaseificação (DGU-20A-3R), bomba de ultra pressão LC-20AD XR (Nexera XR, Shimadzu), auto injetor (SIL 20A XR), forno para controle de temperatura (CTO-20A), detector DAD (SPDM20A), uma controladora (CBM-20A) e um software Labsolution® da Shimadzu.

O equipamento operou nas seguintes condições: a fase estacionária foi uma coluna analítica C18 (Phenomenex® – Kinetex XB C18 100 Å, 250 × 4,6 mm; 5 µm) com fase móvel composta por ácido fórmico 0,1% (solvente A) e metanol (solvente B), em modo gradiente (Tabela 1) com um fluxo de 0,3 mL/min; o volume de injeção de 2 µL e corrida de 60 min.

Tabela 1. Percentagem dos solventes utilizados na análise em função do tempo.

Tempo (Min.)	Solvente A (%)	Solvente B (%)
0	90	10
3	90	10
8	83	17
13	75	25
18	65	35
23	59	41
28	51	49
33	43	57
38	35	65
43	28	73
48	19	81
53	11	89
55	50	50
57	70	30
58	90	10
60	90	10

Fonte: Autoria própria (2025).

A identificação dos marcador rincofilina foi realizada por comparação dos tempos de retenção (T_R) e espectros de absorção UV-Vis do detector de arranjos de diodo dos padrões analíticos em comparação com os picos cromatográficos obtidos no cromatograma do padrão analítico de rincofilina em comparação com os extratos das FATs obtidos por particionamento líquido-líquido usando mesmo método e mesmas condições cromatográficas.

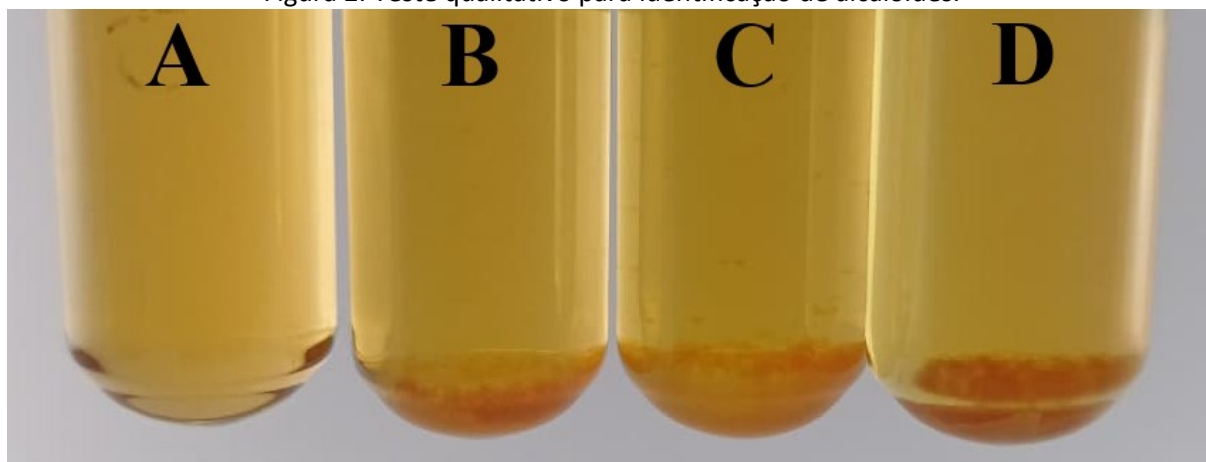
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. TRIAGEM FITOQUÍMICA

A triagem fitoquímica visa a complexação de reagentes específicos com substâncias, como os alcaloides, presentes no extrato contendo nitrogênio que apresenta elétrons livres para formar sais que precipitam. A coloração do precipitado pode indicar quais classes de precipitado estão presentes no extrato (Sociedade Brasileira de Farmacognosia, online), entretanto a coloração natural do extrato pode disfarçar a cor do precipitado.

O extrato ácido de *U. tomentosa* apresentou formação de precipitado, de coloração marrom alaranjada, na presença dos reagentes de Bouchardat, Dragendorff e Reinecke, sendo um forte indicativo da presença de alcaloides, figura 2.

Figura 2. Teste qualitativo para identificação de alcaloides.



(A) Controle; (B) Bouchardat/Wagner; (C) Dragendorff; (D) Solução de Reinecke.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FEAS

A partição líquido-líquido permitiu a obtenção de cinco frações enriquecidas de alcaloides totais, sendo elas: Fração clorofórmica 100%, clorofórmio:acetato de etila (7:3),

clorofórmio:acetato de etila (1:1), clorofórmio:acetato de etila (3:7) e fração acetato de etila 100%.

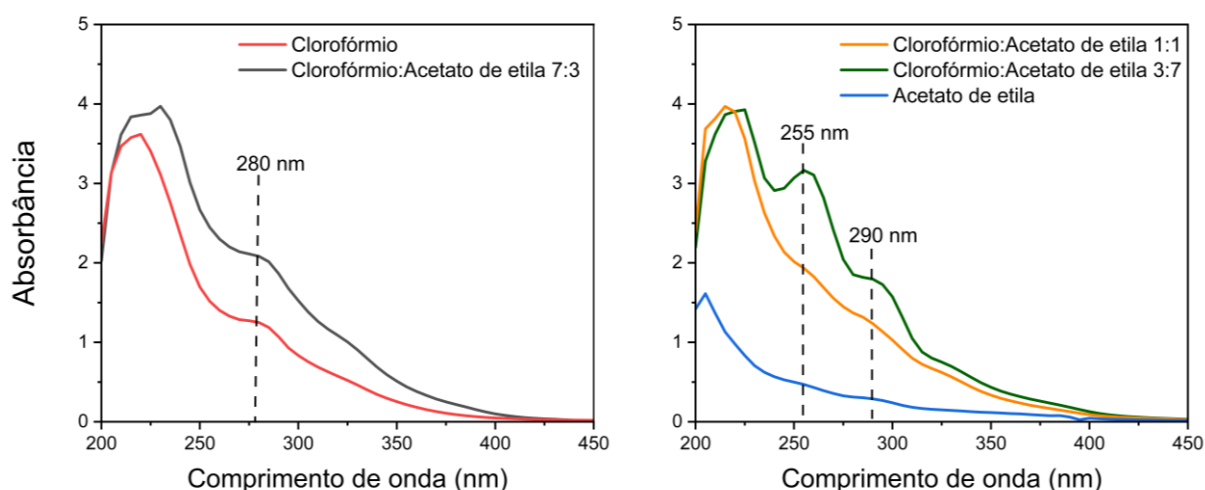
3.2.1. Espectro de UV-Vis

A figura 3, apresenta o resultado da análise espectral das FATs solubilizadas em metanol, evidenciou bandas de absorção características de alcaloides oxindólicos na região próxima a 242-260 nm com pico em 255nm, sobretudo na fração obtida com o sistema clorofórmio:acetato de etila (3:7). Esse perfil de absorção já foi descrito na literatura por Sangster & Stuart (1964), Gouvea et al. (2019) e confirmado em análises realizadas no presente estudo, como demonstrado no espectro UV-Vis do padrão analítico rincofilina (Figura 4).

Além disso, foram identificadas bandas compatíveis com alcaloides indólicos, principalmente nas frações clorofórmio, clorofórmio: acetato de etila (7:3 e 3:7), com máximo de absorção em torno de 280 nm correspondente ao perfil de absorção do núcleo indólico descrito por Negron et al. (2017) e como demonstrado no espectro UV-Vis do padrão analítico Ajmalicina (Figura 4).

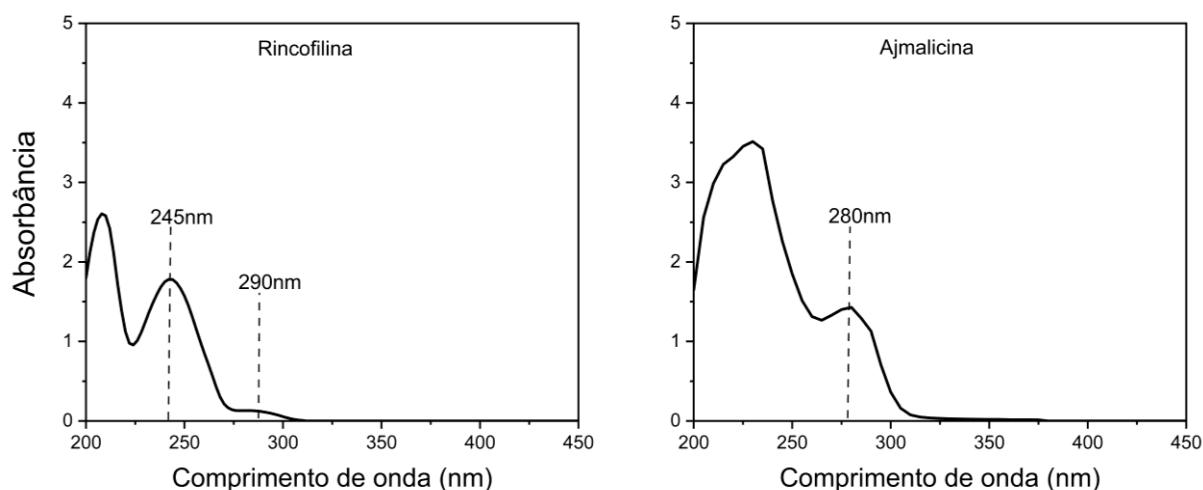
Esses resultados indicam a presença de alcaloides oxindólicos a 255 nm e indólicos a 280 nm nas Frações Enriquecidas de Alcaloides (FEAs), cujos perfis de absorção característicos, confirmando presença de alcaloides e seu possível potencial uso em testes biológicos.

Figura 3. Espectro de varredura UV-Vis das FEAs com presença de alcaloides indólicos a 280nm e alcaloides oxindólicos a 255nm na *Uncaria tomentosa*.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 4. Espectro de Varredura UV-Vis dos padrões analíticos Rincofilina e Ajmalicina



Fonte: Autoria própria (2025).

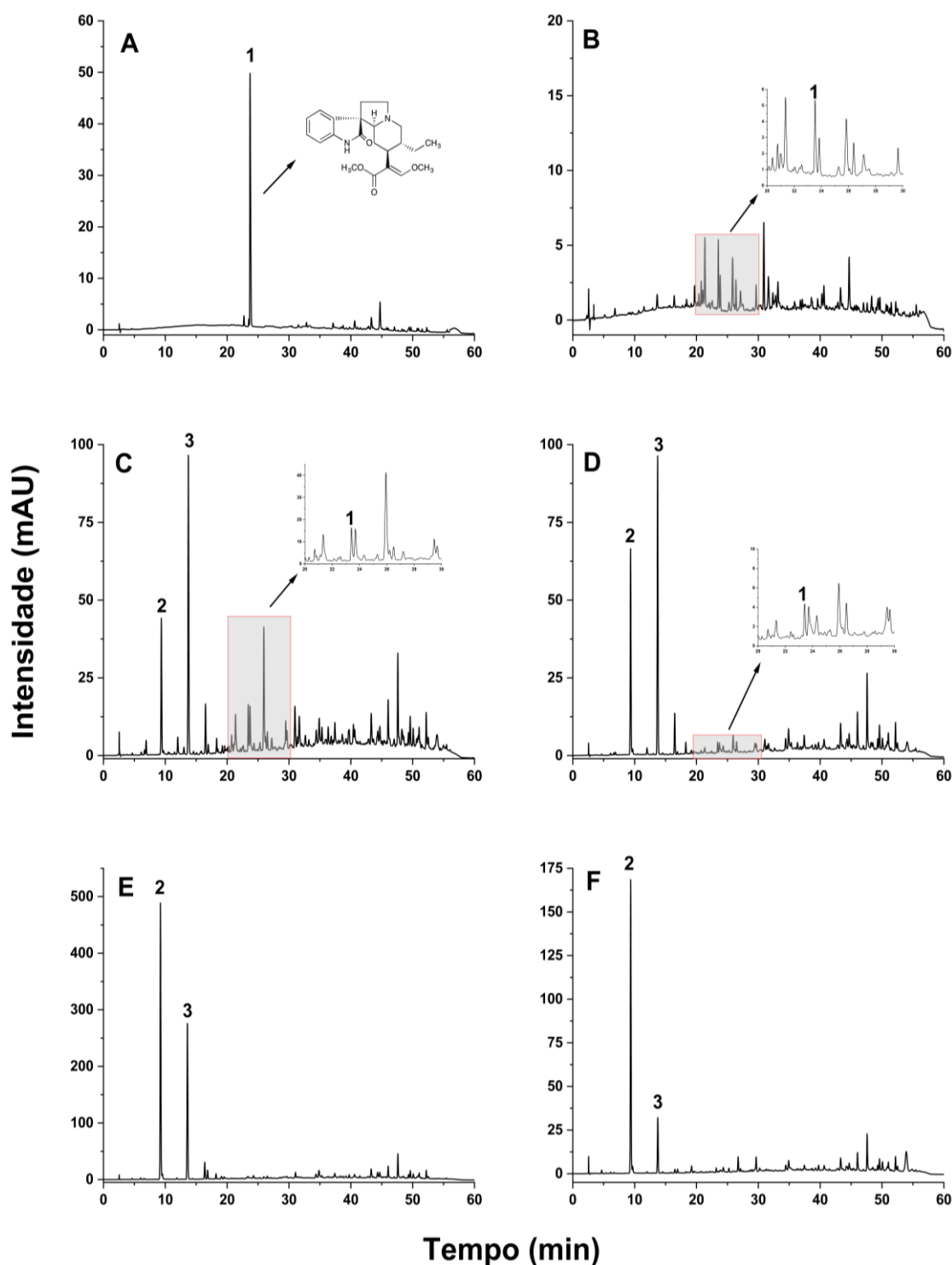
3.2.2. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

O padrão analítico do alcaloide oxindólico tetracíclico rincofilina teve tempo de retenção (T_R) de 23,5 min, o mesmo pico foi observado no cromatograma das frações Clorofórmica 100%, clorofórmio:acetato de etila (7:3), clorofórmio:acetato de etila (1:1) e clorofórmio:acetato de etila (3:7) (Figura 5).

A confirmação da correspondência da substância foi realizada, também, através da comparação com o espectro de absorção no UV-Vis no detector de arranjo de diodo da rincofilina com todos os picos identificados no mesmo T_R sendo possível identificar o mesmo perfil de absorção UV-Vis (Figura 6).

Bertol, *et al.* (2012) identificou com sucesso oito alcaloides oxindólicos em amostras de *U. tomentosa*, dentre eles: Mitrafilina, Uncarina F, Especiofilina e a Rincofilina utilizado como padrão de comparação neste estudo. As amostras de clorofórmio:acetato de etila (7:3, 1:1 e 3:7) e acetato de etila 100% apresentaram picos majoritários (2 e 3) nos T_R = 9,37 e 13,72 min, onde os comprimentos de onda (λ_{max}) foram respectivamente 260nm e 255 nm, ambos compatíveis com alcaloides oxindólicos característicos da *U. tomentosa*, novos estudos deverão ser realizados para isolamento, purificação e elucidação estrutural das moléculas de alcaloides oxindólicos encontradas nas FATs e FEAs do pó das cascas de *Uncaria tomentosa*.

Figura 5. Cromatograma das FEAs em 242nm identificando a presença de Rincofilina e outros alcaloides oxindólicos da *Uncaria tomentosa*.



A - Cromatograma do padrão Rincofilina, B – Cromatograma da fração Clorofórmio 100%, C - Cromatograma da fração Clorofórmio:Acetato 7:3, D - Cromatograma da fração Clorofórmio:Acetato 1:1, E - Cromatograma da fração Clorofórmio:Acetato 3:7, F - Cromatograma da fração Acetato 100%. Onde: 1 - Pico do padrão analítico da Rincofilina ($T_R=23,5$ min), 2 e 3 – Picos majoritários compatíveis com alcaloides oxindólicos ($T_R=9,37$ e $13,12$ min).

Fonte: Autoria própria (2025).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a extração tenha sido realizada de uma droga vegetal previamente exaurida por extração etanólica (Resíduo sólido), foi possível obter FATs e FEAs e identificar os alcaloides indólicos e oxindólicos de *Uncaria tomentosa* pela precipitação de alcaloides por Reineckato de amônio.

A confirmação da presença de rincofilina nas FAEs foi suficiente para sugerir a eficácia do método de extração por precipitação do sal de Reinecke e dos diferentes particionamentos empregado e após extração etanólica manteve teores aceitáveis de alcaloides, apontando um potencial de extração sustentável para o reuso desse resíduo na obtenção de bioativos de *Uncaria tomentosa*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento FINEP, CNPq, CAPES, UFAL e Fapeal pela estrutura de laboratório montada e pelas bolsas concedidas durante a execução deste trabalho. Ao Prof. Dr. Carlos Emmerson Ferreira Costa (UFPA) por adquirir e enviar a droga vegetal diretamente do Pará. Ao Instituto de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Alagoas pela disponibilização do espaço físico laboratorial e ao Laboratório de Análises Farmacêuticas e Alimentícias (LAFA) onde este trabalho foi totalmente desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, B. C. et al. Antioxidant Activity of an Aqueous Leaf Extract from *Uncaria tomentosa* and Its Major Alkaloids Mitraphylline and Isomitraphylline in *Caenorhabditis elegans*. **Molecules**, v. 24, n. 18, p. 3299, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24183299>.
- BATIHA, G. E. S. et al. *Uncaria tomentosa* (Willd. ex Schult.) DC.: A review on chemical constituents and biological activities. **Applied Sciences**, v. 10, n. 8, p. 2668, 2020.
- BERTOL, G. et al. HPLC Analysis of Oxindole Alkaloids in *Uncaria Tomentosa*: Sample Preparation and Analysis Optimisation by Factorial Design. **Phytochemical Analysis**, v. 23, n. 2, p. 143–151, 2012. <https://doi.org/10.1002/pca.1335>.
- BLANCK, J. et al. Comprehensive review of the components in *Cat's Claw* (*Uncaria tomentosa*) and their antibacterial activity. **Applied Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 1–29, 2022. <https://doi.org/10.3390/appliedchem2010001>.
- CHEN, C. X. et al. Inhibitory effect of rhynchophylline on platelet aggregation and thrombosis. **Zhongguo Yao Li Xue Bao**, v. 13, p. 126–130, 1999.

- GILBERT, B. et al. Monografias de plantas medicinais brasileiras e aclimatadas. **Curitiba: Abifito**, p. 25, 2005. ISBN 85-99088-01-7.
- GOUVÊA, M. M. et al. Isolation of mitraphylline from *Uncaria tomentosa* (Willd. ex Schult.) DC. barks and development of spectrophotometric method for total alkaloids determination in Cat's Claw samples. **Phytochemical Analysis**, v. 31, n. 2, p. 262–272, 2020.
- KEPLINGER, K. et al. *Uncaria tomentosa* (Willd.) DC.—ethnomedicinal use and new pharmacological, toxicological and botanical results. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 64, n. 1, p. 23–34, 1998.
- KIM, T. J. et al. Corynoxine isolated from the hook of *Uncaria rhynchophylla* inhibits rat aortic vascular smooth muscle cell proliferation through the blocking of extracellular signal regulated kinase 1/2 phosphorylation. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, v. 31, p. 2073–2078, 2008.
- LAUS, G.; BROSSNER, D.; KEPLINGER, K. Alkaloids of Peruvian *Uncaria tomentosa*. **Phytochemistry**, v. 45, p. 855–860, 1997.
- LAUS, G.; BROSSNER, D.; SENN, G.; WURST, K. Analysis of the kinetics of isomerization of spiro oxindole alkaloids. **Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2**, n. 9, p. 1931–1936, 1996.
- NEGRÓN, A. V. et al. Uso del diseño factorial en los ensayos de liberación controlada del ácido 1, 3 indolacético cargado en matrices de quitosano. **Revista de la Sociedad Química del Perú**, v. 83, n. 3, p. 354–365, 2017.
- O'CONNOR, S. E.; MARESH, J. J. Chemistry and biology of monoterpene indole alkaloid biosynthesis. **Natural Product Reports**, v. 23, n. 4, p. 532–547, 2006. <https://doi.org/10.1039/B512615K>.
- QIN, N. et al. Recent research progress of *Uncaria* spp. based on alkaloids: phytochemistry, pharmacology and structural chemistry. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 210, p. 112960, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112960>.
- ROJAS-DURAN, R. et al. Anti-inflammatory activity of mitraphylline isolated from *Uncaria tomentosa* bark. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 143, n. 3, p. 801–804, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.07.015>.
- SANGSTER, A. W.; STUART, K. L. Ultraviolet spectra of alkaloids. **Chemical Reviews**, v. 65, n. 1, p. 69–130, 1965.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE FARMACOGNOSIA. **Alcaloides**. Disponível em: <http://www.sbfgnosia.org.br/Ensino/alcaloides.html>. Acesso em: 05 ago. 2024.

WON, S.; KWON, K.; GREEN, H. Green technology for extraction of bioactive compounds from edible plants. *Journal of Oleo Science*, v. 73, n. 10, p. 1249–1265, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5650/jos.ess24162>. Acesso em: 01 out. 2024.

CAPÍTULO IV

AMBIÊNCIA E BEM-ESTAR ANIMAL NA PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE

ENVIRONMENT AND ANIMAL WELFARE IN BEEF CATTLE PRODUCTION

DOI: 10.51859/amplla.ein5337-4

Hyago Cândido Grespon¹
Brenda de Oliveira Marinho²
Italo Serri Sartório Lopes²
Bruna Gomes dos Santos²
Fernanda Lemos Resende³
Cristielle Nunes Souto⁴

¹ Graduado em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário de Mineiros – UNIFIMES.

² Discente do Curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.

³ Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Jataí – UFJ.

⁴ Docente do Curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.

RESUMO

O Brasil é um importante país exportador de carne bovina. O crescimento das exportações nesse setor avança junto da crescente demanda dos consumidores por qualidade deste produto, responsabilidade social, sustentabilidade ambiental e bem-estar dos animais de produção. Considerando que a bovinocultura brasileira se desenvolve em clima tropical predominantemente quente e úmido, os cuidados com o conforto fisiológico dos animais estão relacionados, principalmente, ao estresse pelo calor. A avaliação do bem-estar de bovinos de corte pode ocorrer por observação de comportamento, respostas fisiológicas e ambiência, associados à produção, reprodução e sanidade. Nos sistemas de produção à pasto, além da temperatura, considera-se também a avaliação da velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar. As adaptações dos animais às condições específicas da região são desafios para que profissionais proporcionem recomendações adequadas de ambiência e bem-estar. Nesse contexto, é necessário o conhecimento sobre a interação entre animal e ambiente para aplicação dos conhecimentos básicos sobre ambiência e bem-estar animal, como seleção de raças adaptadas, sombreamento e ILPF na criação de bovinos à pasto.

Palavras-chave: Bovinocultura de corte. Bem-estar animal. Fatores ambientais.

ABSTRACT

Brazil is an important beef exporting country. The growth of exports in this sector grows along with the increased demand of consumers for quality of this product, social responsibility, environmental sustainability and welfare of production animals. Considering that Brazilian cattle develops in a predominantly hot and humid tropical climate, care for the physiological comfort of animals are mainly related to heat stress. The evaluation of the well-being of beef cattle can occur by observation of behavior, physiological responses and ambience, associated with production, reproduction and health. In pasture production systems, in addition to temperature, it is also considered the evaluation of wind speed, relative humidity and solar radiation. Adaptations of animals to the specific conditions of the region are challenges for professionals to provide appropriate recommendations of ambience and well-being. In this context, it is necessary to know about the interaction between animal and environment for the application of basic knowledge about animal ambience and welfare, such as selection of adapted breeds, shading and ILPF in the rearing of cattle pasture.

Keywords: Cattle breeding. Animal welfare. Environmental factors.



1. INTRODUÇÃO

Bovinos são animais homeotérmicos, capazes de manter a temperatura corporal constante mesmo diante de variações significativas na temperatura ambiente (Bâeta; Souza, 2010). Em regiões tropicais, o calor pode ter origem endógena, relacionado ao metabolismo, ou exógena, proveniente da ingestão alimentar, atividade física, radiação e altas temperaturas ambientais. Nessas condições, ocorrem processos de termólise, nos quais há trocas de calor entre o animal e o ambiente com o objetivo de manter a homeostase térmica (Menezes *et al.*, 2021; Brown-Brandl, 2018).

A troca de calor ocorre por meio de mecanismos como condução, convecção e evaporação. A condução térmica está relacionada à variação do fluxo sanguíneo na pele, permitindo o aquecimento ou resfriamento de determinadas regiões do corpo. Quando a temperatura ambiente está elevada, há um aumento do fluxo sanguíneo nos tecidos periféricos por meio da vasodilatação. Caso esse mecanismo não seja suficiente para dissipar o calor, os bovinos recorrem à evaporação, promovendo a perda de calor por meio da sudorese (Souza, 2008; Guyton; Hall, 2017).

Para resistir ao estresse térmico, os bovinos também utilizam métodos comportamentais, como a busca por sombras. No entanto, a exposição ao clima quente e úmido prolongado, como ocorre em regiões tropicais, pode elevar a temperatura corporal e provocar choque pelo calor, caracterizado por inflamação, perda de líquidos e desidratação, reduzindo o volume sanguíneo e levando ao colapso circulatório. Portanto, torna-se necessário que o ambiente ofereça condições para que a regulação entre absorção e perda de calor mantenha-se próximo a faixa de termoneutralidade, proporcionando conforto fisiológico e, conseqüentemente, bem-estar (Menezes *et al.*, 2021; Burhans, 2022).

Nesse contexto, o objetivo desta revisão de literatura é abordar as principais características relacionadas à ambiência e ao bem-estar de bovinos de corte, compreendendo as características dos atuais sistemas de criação de bovinos à pasto no Brasil.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho baseou-se na catalogação de artigos científicos, boletins técnicos, livros e trabalhos de conclusão de curso publicados entre 1997 e 2024, disponíveis em plataformas de busca como Elsevier, SciELO, bem como em repositórios de instituições públicas, como a Embrapa e universidades federais. Os materiais foram selecionados por meio

da utilização de palavras-chave relacionadas aos temas: ambiência, bem-estar animal, bovinocultura e instalações zootécnicas. O uso dessa técnica permitiu a obtenção de estudos que ofereceram um panorama abrangente para a compreensão e a leitura crítica das informações reunidas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor e o principal exportador mundial de carne bovina, com um rebanho estimado em 238.626.442 cabeças (IBGE, 2023). A maior parte do rebanho bovino nacional é mantida em sistemas de criação à pasto, considerados práticas viáveis e economicamente eficientes para a oferta de alimento aos animais. (Ferraz; Felício, 2010; Dias-Filho, 2014; Melo, 2018). Com a melhoria do bem-estar de bovinos de corte, há aumento da resistência à doenças, melhoria da saúde animal, redução da mortalidade, compra de medicamentos, risco de transmissão de zoonoses e doenças de origem alimentar para o consumidor (Rosa *et al.*, 2021).

Ao adotar criações com foco no bem-estar animal, contribui-se para obter produtos com maior qualidade e valor agregado, uma vez que adquirir um produto proveniente de um sistema de criação mais humanitário atende às crescentes exigências dos consumidores (Souza; Ribeiro, 2021; Moraes *et al.*, 2024). Em regiões tropicais, como o Brasil, esse tipo de criação requer cuidado considerável com os efeitos do calor excessivo que podem causar estresse térmico, afetando a fisiologia do animal, diminuindo o bem-estar e o desempenho produtivo (Alves *et al.*, 2017).

Além da interferência das altas temperaturas do clima tropical na produtividade da criação à pasto, a distribuição irregular das chuvas e os períodos de seca prolongados afetam negativamente a produção e a qualidade da forragem, promovendo estacionalidade na produção animal, redução da qualidade dos produtos e comprometimento do bem-estar dos animais (Oliveira *et al.*, 2016).

3.1. AMBIÊNCIA E BEM-ESTAR ANIMAL

O avanço das biotecnologias têm contribuído para o aumento da produtividade de bovinos de corte, ao otimizar os processos de digestão, absorção e deposição de nutrientes. No entanto, essa intensificação metabólica eleva a produção de calor interno, o que representa um desafio em regiões tropicais. Nessas condições, variáveis climáticas como temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar comprometem a dissipação

térmica, afetando negativamente o desempenho dos animais mantidos a pasto (Ferreira, 2016).

O conhecimento sobre ambiência e bem-estar animal é fundamental para a produção, pois ambos se relacionam de forma interdependente. O bem-estar diz respeito à capacidade do animal de se adaptar ao ambiente, enquanto a ambiência compreende os fatores físicos e biológicos que caracterizam o espaço onde o animal desempenha suas funções. Dessa forma, a ambiência influencia diretamente o grau de adaptação dos animais e, consequentemente, seu bem-estar (Alves; Porfirio-da-Silva; Karvatte Junior, 2019).

A ambiência e o bem-estar animal estão intrinsecamente relacionados na produção. Enquanto o bem-estar refere-se à capacidade de adaptação do animal ao ambiente, a ambiência abrange os fatores físicos e biológicos que compõem seu espaço vital. Assim, as condições ambientais influenciam diretamente o nível de adaptação e, consequentemente, o bem-estar dos animais (Alves; Porfirio-da-Silva; Karvatte Junior, 2019).

Para garantir qualidade mínima de vida nos sistemas de produção, o bem-estar animal deve envolver cinco liberdades: fisiológica, ambiental, sanitária, comportamental e psicológica (Silva; Miranda, 2009; Grandin; Jonhson, 2010; Alves; Porfirio-da-Silva; Karvatte Junior, 2019). Isso implica que os animais estejam livres de fome, sede e má nutrição; alojados em ambiente físico adequado; livres de doenças, feridas e dor; aptos a expressar comportamentos naturais; e livres de medo e estresse (Silva; Miranda, 2009; Grandin; Jonhson, 2010).

3.1.1. Interação animal-ambiente

Por serem homeotérmicos, a manutenção da temperatura corporal dos bovinos exige o equilíbrio entre a termogênese e a termólise, processos fisiológicos responsáveis, respectivamente, pela produção e dissipação de calor. Esse equilíbrio assegura a homeostase por meio de respostas fisiológicas, metabólicas e comportamentais (Oliveira *et al.*, 2011).

A dissipação de calor em condições de desconforto térmico ocorre por meio da ativação de mecanismos termorreguladores, sendo predominante, em ambientes tropicais, a termólise por vias circulatórias e evaporativas. A vasodilatação periférica promove a redistribuição do fluxo sanguíneo para a superfície corporal, facilitando a perda de calor para o ambiente. No entanto, quando a temperatura do ar se aproxima da cutânea, a eficiência desse processo diminui, tornando os mecanismos evaporativos mais eficazes. Em situações de

estresse térmico, esses ajustes podem causar hipotensão, taquicardia e aumento do débito cardíaco (Silva, 2000; Sousa Junior *et al.*, 2008). A evaporação do suor promove o resfriamento da pele pela conversão de calor sensível em calor latente. Pela via respiratória, há aumento da frequência respiratória e perda de água por ofegação. Quando esse mecanismo é insuficiente, ocorre aumento do volume de ar inspirado e diminuição da frequência respiratória, o que reduz a produção de calor muscular e melhora a dissipação térmica. Apesar de eficaz, a evaporação pode ser prejudicada pelo excesso ou pela falta de umidade. Em regiões com alta umidade, a grande quantidade de vapor d'água no ar limita a evaporação, enquanto em regiões secas a evaporação ocorre rapidamente, dificultando o resfriamento dos animais (Ferreira, 2016; Silva, 2000).

A troca de calor por convecção ocorre pela exposição a correntes líquidas ou gasosas, como durante a ingestão de água em margens de rios ou em situações de circulação de ar. No entanto, sua efetividade é limitada em regiões tropicais, onde a temperatura ambiente frequentemente supera a temperatura corporal (Ferreira, 2016).

Quando a homeostase é rompida, estímulos sensoriais ativam o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, promovendo a liberação do hormônio liberador de corticotrofina (CRH), que estimula a secreção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e, conseqüentemente, de glicocorticoides como o cortisol e a corticosterona (Façanha *et al.*, 2013; Mobiglia *et al.*, 2014; Kaneko *et al.*, 1997). Em situações de estresse térmico, o ACTH inibe a liberação dos hormônios gonadotróficos, afetando a secreção do hormônio luteinizante (LH) e a ovulação (Macedo *et al.*, 2011). O excesso de cortisol também estimula a gliconeogênese, levando à fadiga e à perda de massa muscular (Lehninger, 1985). Assim, a exposição prolongada ao estresse térmico pode comprometer a reprodução, o crescimento e a lactação (Schmidt-Nielsen, 2002; Silva, 2000; Façanha *et al.*, 2013).

Para que ocorra a manutenção da temperatura corporal, é necessário que o animal esteja num ambiente com condições climáticas dentro dos limites da sua zona de conforto (Brosh *et al.*, 1998). Nessa zona de termoneutralidade, a temperatura ambiente limita que o animal sofra de estresse por exposição ao frio ou ao calor, tornando a produção excelente pela redução do custo fisiológico (Moraes *et al.*, 2020). Para avaliar o conforto térmico das instalações, são usadas medidas de conforto térmico animal, como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação, índice de temperatura e umidade (ITU),

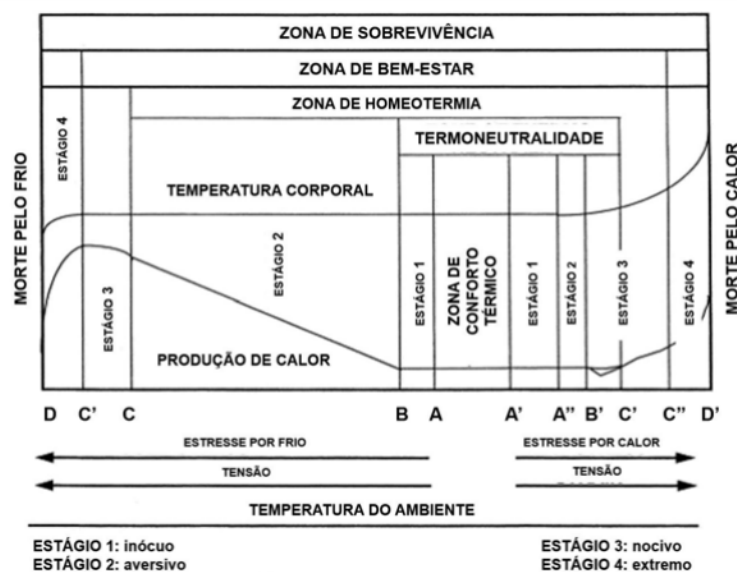
e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (Pereira *et al.*, 2017; Paula *et al.*, 2013).

O ITGU avalia a energia solar absorvida pelo animal por meio de um globo negro, uma esfera oca pintada de preto com termômetro interno que mede a radiação absorvida e não refletida (Pereira *et al.*, 2017). Já o ITU não considera a radiação térmica e não diferencia ambientes internos, sombra ou sol direto (Paula *et al.*, 2013). Por isso, o ITGU é o índice mais adequado para avaliar o estresse calórico em bovinos criados à pasto (Baêta; Souza, 2010).

Em condições de calor excessivo, o organismo entra em estresse térmico, redirecionando energia de processos produtivos para a manutenção da homeotermia. O calor atua no hipotálamo, inibindo o apetite e reduzindo a ingestão alimentar, comprometendo o ganho de peso e a produção de carne (Silva; Mazuchowski, 1999; Oliveira, 2011; Ferreira, 2016; Garcia Neto *et al.*, 2016). Também ocorrem alterações comportamentais, como mudanças na postura e maior procura por sombra (Oliveira, 2011; Ferreira, 2016). Na reprodução, o estresse térmico reduz a duração e a intensidade do estro em vacas, além de afetar a qualidade, viabilidade e motilidade dos espermatozoides (Monterroso *et al.*, 1995; Lucy, 2001). Além disso, a maior perda hídrica por evaporação leva os bovinos a aumentar a ingestão de água, essencial à manutenção das funções fisiológicas e comportamentais (Ferreira, 2016).

Temperaturas acima do limite crítico superior induzem hipertermia e ativam mecanismos de resfriamento, como condução, convecção e evaporação (Figura 1. A'–D'), enquanto temperaturas abaixo do limite inferior causam hipotermia, acionando trocas de aquecimento, como vasoconstrição, exposição solar, tremores e atividade física (Figura 1. A–D). O elevado gasto energético para manter a homeotermia, quando ineficaz, pode levar ao colapso fisiológico e morte do animal (Alves *et al.*, 2019).

Figura 1 – Representação esquemática das zonas de sobrevivência, bem-estar e homeotermia, em relação às condições ambientais dos ruminantes.



Fonte: Alves; Porfirio-da-Silva; Karvatte Junior, 2019, p. 214 (adaptado de Silanikove, 2000).

Portanto, o conforto térmico de bovinos depende de fatores climáticos como radiação solar, temperatura ambiente, velocidade do vento e umidade relativa do ar. A zona de conforto ocorre entre 10 e 27 °C, com limite superior de 35 °C; velocidade do vento entre 5 e 8 km·h⁻¹; e umidade relativa entre 60 e 70% (Pereira *et al.*, 2017; Baêta; Souza, 2010).

A precipitação pluviométrica influencia diretamente a umidade relativa do ar em sistemas a pasto, podendo proporcionar alívio térmico imediato. No entanto, em condições de estresse calórico, o excesso de umidade pode dificultar a evaporação e comprometer o conforto térmico após a chuva (Ferreira, 2016).

A radiação solar é um fator climático relevante para o conforto térmico, sendo absorvida por superfícies escuras e refletida por superfícies claras. Assim, bovinos de pelagem clara e epiderme escura se adaptam melhor ao clima tropical por refletirem mais radiação solar. Quando os fatores ambientais são inadequados para a criação a pasto, ocorrem alterações fisiológicas que comprometem o desempenho produtivo, gerando prejuízos econômicos e exigindo melhorias na interação animal-ambiente (Pereira *et al.*, 2017; Maia *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2018).

3.1.2. Seleção de raças adaptadas

Raças zebuínas, quando comparadas às taurinas de origem europeia, apresentam maior adaptação a condições ambientais adversas, como elevadas temperaturas, intensa radiação solar e alta umidade relativa do ar, características dos trópicos (Rosa *et al.*, 2013).

Essas adaptações envolvem fatores anatômicos, fisiológicos e genéticos, que conferem vantagens na termorregulação e na resistência ambiental.

A pele dos zebuínos, mais fina, menos aderida à musculatura e com elevada concentração de melanina, oferece maior proteção contra os efeitos da radiação solar. Esses animais também apresentam pelagem curta e de coloração clara, além de maior densidade de vasos sanguíneos e glândulas sudoríparas, o que favorece a termólise por evaporação. Essas características são resultado da seleção natural em ambientes tropicais, onde a alta incidência solar e as temperaturas elevadas exigiram adaptações morfofisiológicas para a manutenção da homeotermia (Rosa *et al.*, 2013; Silva, 2000). Adicionalmente, os zebuínos possuem aparelho digestivo proporcionalmente menor, o que resulta na ingestão mais frequente de pequenas quantidades de alimento. Isso reduz a taxa metabólica e a produção de calor interno, sendo um fator vantajoso em climas quentes. Dessa forma, essas raças, por apresentarem resistência natural ao estresse térmico, constituem alternativas eficientes para a produção animal em regiões tropicais. Sua utilização pode contribuir para a redução de custos com infraestrutura de conforto térmico, especialmente quando associada a programas de melhoramento genético que visem tanto o desempenho produtivo quanto a adaptabilidade ao ambiente (Rosa *et al.*, 2013).

A Zona de Conforto Térmico (ZCT) varia entre zebuínos e taurinos, sendo a Temperatura Crítica Inferior (TCI) e a Temperatura Crítica Superior (TCS) importantes para o início dos mecanismos termorregulatórios (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de Temperatura Crítica Inferior (TCI), Temperatura Crítica Superior (TCS) e Zona de Conforto Térmico (ZCT) para taurinos e zebuínos adultos.

Animal	TCI	ZTC	TCS	Autor
Taurino	-10	-1 a 26	27	Ferreira, 2011
Taurino	-6	-	27	Silva, 2000
Taurino	-10	-1 a 16	27	Baêta; Souza, 2012
Zebuíno	0	10 a 27	35	Ferreira, 2011
Zebuíno	7	-	35	Silva, 2000
Zebuíno	0	10 a 27	35	Baêta; Souza, 2012

Fonte: Ferreira (2011); Silva (2000); Baêta; Souza (2012).

O efeito da sombra sobre o estresse térmico em fêmeas da raça Nelore foi avaliado por meio da exposição dos animais a três condições distintas: bosque, árvore isolada e ausência de sombra, com valores de ITU de 76, 78 e 80, e de ITGU de 79, 82 e 84,

respectivamente (Navarini *et al.*, 2009). Valores de ITU ≤ 70 indicam condição normal (não estressante); entre 71 e 78, situação crítica; de 79 a 83, situação de perigo; e > 83 , emergência (Silva *et al.*, 2000). Para o ITGU, valores até 74 indicam conforto; entre 75 e 78, estado de alerta; de 79 a 84, perigo; e > 84 , emergência (Baêta; Souza, 2010). Com base nesses critérios, observa-se que a ausência de sombra proporcionou a pior condição de conforto térmico entre os tratamentos avaliados (Navarini *et al.*, 2009).

Em bovinos de corte confinados, animais com acesso à sombra apresentaram maior ganho de peso diário (1,80 kg) em comparação aos mantidos sem sombreamento (1,61 kg) (Taveira *et al.*, 2012). Esses resultados indicam que o fornecimento de sombra pode influenciar positivamente o desempenho produtivo.

3.1.3. Abastecimento de sombra

Nas regiões tropicais, o planejamento adequado de sombreamento em pastagens é uma estratégia essencial para a redução do estresse térmico em ruminantes, ao interferir diretamente na radiação solar, na temperatura do ambiente e na umidade relativa do ar (Ferreira *et al.*, 2016; Silva Junior, 2001). A presença de sombra favorece a perda de calor, auxilia na termorregulação e deve estar disponível ao longo de todo o dia para garantir o conforto térmico dos animais (Taveira *et al.*, 2012; Costa, 2000). Durante os períodos de maior incidência solar, a sombra contribui para a redução tanto da temperatura ambiental quanto da temperatura corporal dos animais, o que resulta em maior ingestão alimentar sem prejuízo à homeotermia e com evidentes ganhos em bem-estar (Head, 1995).

O sombreamento pode ser natural, promovido por árvores, ou artificial, por meio de estruturas construídas pelo homem (Pereira, 2005). As sombras naturais, no entanto, demonstram vantagens superiores, como maior eficácia na redução da carga térmica radiante, impacto positivo nos comportamentos de pastejo, ruminação e ócio, além de menor custo de implantação e manutenção (Gurguel *et al.*, 2012; Silva, 2008; Titto, 2006). Nessas condições, os animais tendem a pastar em horários mais amenos, reservando os momentos de maior calor para repouso à sombra, o que reduz o acúmulo de calor oriundo tanto da digestão quanto da atividade muscular (Glasser, 2003; Barion; Silva; Ferreira, 2012).

A distribuição das árvores pode ser realizada em diferentes formatos, como linhas simples ou múltiplas, cercas vivas, corredores, bosques ou de maneira dispersa, sendo a escolha da espécie vegetal baseada em critérios como compatibilidade com o pasto,

densidade da copa, projeção de sombra e tempo de crescimento (Carvalho *et al.*, 2002; Lima, 1993; Silva *et al.*, 1995). Além disso, as árvores contribuem para a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese, o que reduz significativamente a insolação direta, algo não alcançado pelas estruturas artificiais (Baêta; Souza, 1997).

Nas propriedades onde há limitação para o plantio de árvores, ou em casos de plantios jovens que ainda não oferecem sombreamento efetivo, as estruturas artificiais tornam-se uma alternativa viável. Quando bem planejadas, essas estruturas podem reduzir em até 30% a carga térmica radiante sobre os animais (Baccari Junior, 1998; Baêta; Souza, 1997).

3.1.4. Comparação entre modelos de produção pastoril

A pecuária bovina brasileira, predominantemente extensiva, enfrenta desafios críticos de ambiência que comprometem o bem-estar animal, especialmente em regiões tropicais. O estresse térmico, decorrente da radiação solar direta e da falta de sombreamento, reduz o comportamento de pastejo e aumenta a taxa respiratória, enquanto a sazonalidade das pastagens provoca desequilíbrios nutricionais. Esses fatores afetam simultaneamente os domínios físico e mental do bem-estar animal, conforme evidenciado em estudos recentes (Cezar *et al.*, 2005; Alves *et al.*, 2017; Alves; Porfírio-da-Silva; Karvatt Junior, 2019).

A ILPF tem se destacado como uma estratégia eficaz para melhorar a ambiência em sistemas de produção animal, ao reduzir a temperatura corporal dos animais por meio do sombreamento (Alves; Porfírio-da-Silva; Karvatt Junior, 2019), estabilizar o microclima e garantir oferta mais regular de forragem ao longo do ano (Pezzopane *et al.*, 2020). O arranjo adequado das árvores, em linhas ou disperso, equilibra a incidência de radiação solar e favorece o desenvolvimento das pastagens, evidenciando a superioridade da ILPF frente aos sistemas tradicionais (Alves; Nicodemo; Porfírio-da-Silva, 2015; Alves *et al.*, 2017).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conforto térmico é fundamental para garantir o bem-estar e a produtividade de bovinos de corte em sistemas extensivos, especialmente nas regiões tropicais. A adoção de estratégias como a escolha de raças adaptadas ao clima, a oferta adequada de sombra e a implementação de sistemas integrados de produção, como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), contribui significativamente para a redução do estresse térmico. Compreender a interação entre o animal e o ambiente permite a aplicação de medidas que atenuam os impactos negativos sobre as funções fisiológicas, comportamentais e reprodutivas,

promovendo maior eficiência produtiva, sustentabilidade no manejo e atendimento às demandas do mercado consumidor.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F.V.; LAURA, V.A.; ALMEIDA, R.G.; KARVATTE JUNIOR, N. Conforto térmico e bem-estar animal em pastagem: um desafio para a pecuária tropical. In: SIMPÓSIO DE ADUBAÇÃO E MANEJO DE PASTAGENS, Dracena. Anais... Dracena: Cultura Acadêmica Embrapa, 2017.
- ALVES, F.V.; NICODEMO, M.L.F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Bem-estar animal em sistemas integração lavoura pecuária floresta. In: CORDEIRO, L.A.M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R.L. (org.). Integração com integração de Lavoura-Pecuária-Floresta. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2015. p. 263–286.
- ALVES, F.V.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; KARVATTE JUNIOR, N. Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G.; LAURA, V.A.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (org.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, 2019. p. 205–229.
- BACCARI JUNIOR, F. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em climas quentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. Viçosa, MG: UFV, 1997.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010.
- BARION, M.R.L.; SILVA, H.C.; FERREIRA, S.G.C. A importância e os tipos das sombras utilizadas para bovinos a pasto. In: MOSTRA INTERNA DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2012, Maringá. Anais... Maringá: CESUMAR, 2012.
- BROWN-BRANDL, T. M. Understanding heat stress in beef cattle. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 47, 2018.
- BROSH, A.; AHARONI, Y.; DEGEN, A.A.; WRIGHT, D.; YOUNG, B.A. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. Journal of Animal Science, v. 76, p. 2671-2677, 1998.
- BURHANS, W. S.; ROSSITER BURHANS, C. A.; BAUMGARD, L. H. Invited review: Lethal heat stress: The putative pathophysiology of a deadly disorder in dairy cattle. Journal of Dairy Science, v. 105, n. 5, p. 3716-3735, 2022.

- CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Sistemas Silvipastoris. Viçosa: Consórcio de Árvores e Pastagens, 2002.
- CEZAR, I.M; QUEIROZ, H.P.; THIAGO, L.R.L.S.; CASSALES, F.L.G.; COSTA, F.P. Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. Campo Grande: EMBRAPA, 2005.
- COSTA, M.J.R.P. Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. In: ENCONTRO ANUAL DE ETOLOGIA, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Etologia, 2000.
- DIAS-FILHO, M.B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.
- FAÇANHA, D.A.E.; CHAVES, D.F.; MORAIS, J.H.G; VASCONCELOS, A.M.; COSTA, W.P.; GUILHERMINO, M.M. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, Salvador, v. 14, n. 1, p. 91–103, 2013.
- FERRAZ, J.B.S.; FELÍCIO, P.E.D. Production systems - An example from Brazil. Meat Science, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.
- FERREIRA, R.A. Maior produção com melhor ambiente. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.
- FERREIRA, R. A. Maior produção com melhor ambiente: para aves, suínos e bovinos. 3. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2016.
- GARCIA NETO S.; NASCIMENTO, J.W.B.; MATOS JÚNIOR, J.J.L., SILVA, L.A.; MEIRA, A.S. Desempenho de bovinos mestiços criados em confinamento com disponibilidade de sombreamento natural e artificial. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: CONFEA, 2016.
- GLASER, F.D. Aspectos comportamentais de bovinos da raça Angus a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.
- GRANDIN, T.; JOHNSON, C. O bem-estar dos animais: Proposta de uma vida melhor para todos os bichos. Rio de Janeiro: Rocco, 2010.
- GURGUEL, E.M.; SERAPHIM, O.J.; Silva, I.J.O. Método de avaliação bioclimática da qualidade da sombra de árvores visando ao conforto térmico animal. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 20–34, 2012.
- HALL, J. E.; GUYTON, A. C. Tratado de Fisiologia Médica. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017

- HEAD, H. H. Management of dairy cattle in tropical and subtropical environments. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 1995, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: SBBiomet, 1995. p. 26–68.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. Clinical biochemistry of domestic animals. 5 ed. New York: Academic Press, 1997.
- LEHNINGER, A.L. Hormônios. In: PRINCÍPIOS DE BIOQUÍMICA. 2 ed. São Paulo: Editora Savier, 1985. p. 673–697.
- LIMA, A.M.L.P. Análise da arborização viária na área central e em seu entorno. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- LUCY, M.C. Estratégias de manejo de vacas leiteiras para melhoria dos índices reprodutivos durante o verão. In: V CURSO NOVOS ENFOQUES NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO DE BOVINOS, 5., 2001, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2001. p. 121–132.
- MAIA, A.S.C.; Silva, R.G.; BERTIPAGLIA, E.C.A. Genetic and environment variation of the effective radiative properties of the coat in Holstein cattle. In: WORLD CONGRESS OF THE GENETIC APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. Anais... Montpellier: INRA, 2002.
- MACEDO, G.G.; ZÚCCARI, C.E.S.N.; ABREU, U.G.P.; NEGRÃO, J.A.; COSTA E Silva, E.V. Human–animal interaction, stress, and embryo production in *Bos indicus* embryo donors under tropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, v. 43, 1175-82, 2011.
- MELO, F.A. Bem-estar animal: influência na produção de bovinos de corte. ICET/UFMT, 2018.
- MENEZES, R. A.; RAMIREZ, M. A.; GONÇALVES, L. C.; OLIVEIRA, A. F.; PIRES, F. P. A. A.; MENEZES, G. L.; SOUSA, P. G.; SEVIDANES, B. M. R. Estresse térmico em sistemas de produção de ruminantes em clima tropical. In: OLIVEIRA, A. F.; GONÇALVES, L. C. (Org.). *Produção de ruminantes em sistemas integrados*. 1. ed. Belo Horizonte: FEPE, 2021. p. 130-152.
- MOBIGLIA, A.M.; CAMILO, F.R.; FERNANDES, J.J.R. Mensuração de metabólitos de cortisol nas fezes como um indicador de estresse em bovino de corte. *Archivos de Zootecnia*, v. 63, p. 1-9, 2014.
- MONTERROSO, V.H., DRURY, K.C., EALY, A.D., EDWARDS, J.L., HANSEN, P.J. Effect of heat shock on function of frozen/thawed bull spermatozoa. *Theriogenology*, v. 44, p. 947-961, 1995.

- MORAES, E.R.; ISHIHARA, J.H.; SOUZA, D.E.S. Efeito do bem-estar e conforto térmico na produção pecuária: uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 9, n.9, 2020.
- MORAES, F. J.; CHAVES, M. A.; CAMPAGNOLO, M. A.; CAMARGO, S. C. Welfare in pre-slaughter and humane slaughter management and quality characteristics of beef: a literature review. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. e70051-e70051, 2024.
- NAVARINI, F.C.; KLOSOWSKI, E.; CAMPOS, A.T.; TEIXEIRA, R.A.; ALMEIDA, C.P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 4, p. 508 – 517, 2009.
- OLIVEIRA, M.S.; TIBURCIO, M.; FERREIRA, S.G.C. Influência do estresse térmico sobre a reprodução de bovinos de corte. In: VII ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2011, Maringá. *Anais...* Maringá: CESUMAR, 2011.
- OLIVEIRA, M.S.; FERREIRA, S.G.C. Sombreamento de pastagens: sua influência na bovinocultura de corte. In: VII Encontro Internacional de Produção Científica. Maringá: CESUMAR, 2011.
- OLIVEIRA, V.S.; MORAIS, J.A.S.; RANGEL, J.H.A.; SANTANA NETO, J.A.; SANTOS, A.C.P.; VALENÇA, R.L.; FAGUNDES, J.L. Disponibilidade de forragem, resíduo pós-pastejo e comportamento ingestivo de bovinos de corte em sistema silvipastoril. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 12, n. 2, p. 223-232, 2016.
- OLIVEIRA, A.V.D.; SANTANA, M.H.M.; SÁ, M.A.C.; SOUZA, M.S.A.; FIGUEIREDO JÚNIOR, J.P.; SILVEIRA, E.S.; DINIZ, J.V.A.; COSTA, D.A. Caracterização bioclimática de uma área de pasto de bovinos mestiço nelore na Amazônia ocidental. Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2018.
- PAULA, M.O.; SILVEIRA, R.G.; BULIAN, A.A.L.; CARVALHO, S.O.; RAMIREZ, M.A; TINÔCO, I.F.F. Parâmetros para avaliação de bem estar, desempenho e qualidade do ar em instalações zootécnicas. In: 2ª JORNADA CIENTÍFICA DA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS, 2., 2013, Alegre. *Anais...* Alegre: UFES, 2013.
- PEREIRA, J.C.C. Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia – FEPMVZ, 2005.
- PEREIRA, J.R.; MONTAGNER, M.M; FLUCK, A.C.; SANTIAGO, A.P.; NERES, M.A. Efeitos do clima sobre a adaptação e fisiologia de bovinos de corte *Bos taurus* x *Bos indicus*. *Revista Eletrônica de Veterinária*, v. 18, n. 11, 2017.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, P. P. A.; BOSI, C.; PEDROSO, A. de F.; ESTEVES, S. N. Production and nutritive value of pastures in integrated

- livestock production systems: shading and management effects. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 77, n. 2, art. e20180150, p. 1-9, 2020.
- ROSA, A.N.; MENEZES, G.R.O.; EGITO, A.A. Recursos genéticos e estratégias de melhoramento. In: Rosa, A.N.; MARTINS, E.N.; MENEZES, G.R.O.; Silva, L.O.C. Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus. Brasília, EMBRAPA: 2013.
- ROSA, I.M.M.F; SOUSA, A.K.S.; ROCHA, F.S.B; FONSECA, L.S. O impacto do bem-estar animal para o agronegócio aplicado à bovinocultura no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 6, p. 56531-56546, 2021.
- SCHIMIDT-NIELSEN, K. Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente. 5 ed. São Paulo: Santos, 2002.
- SILVA JUNIOR, J.L.C. Zoneamento da Região Sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade, para o gado leiteiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- SILVA, I.J.O.; MIRANDA, K.O.S. Impactos do bem-estar na produção de ovos. *Thesis*, v. 6, n. 11, p. 89-115, 2009.
- SILVA, I.J.O.; GHELFI FILHO, H.; NÄÄS, I.A. Caracterização da sombra de árvores, através de índices de conforto térmico, para a região de Lavras, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa: SBEA, 1995.
- SILVA, L.L.G.G. Influência da arborização de pastagens no sistema solo-planta-animal. 2008. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- SILVA, R.G. Introdução à Bioclimatologia Animal. São Paulo: Nobel, 2000.
- SILVA, V.P.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Sistemas silvipastoris: paradigma dos pecuaristas para agregação de renda e qualidade. Curitiba: EMATER-PR, 1999.
- SOUSA JUNIOR, S.C.; MORAIS, D.A.E.F.; VASCONCELOS, A.M.; NERY, K.M.; MORAIS, J.H.G.; GUILHERMINO, M.M. Características Termorreguladoras de Caprinos, Ovinos e Bovinos em Diferentes Épocas do Ano em Região Semi-Árida. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 10, n. 2, p. 127-138, 2008.
- SOUZA, B. B.; SOUZA, E. D.; CEZAR, M. F.; SOUZA, W. H.; SANTOS, J. R. S.; BENICIO, T. M. A. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no Semi-árido nordestino. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 1, p. 275-280, 2008.
- SOUZA, Suellen da Cunha; RIBEIRO, Laryssa Freitas. Aplicação do bem-estar animal e abate humanitário de bovinos para a garantia da qualidade da carne. *Revista GETEC - Gestão, Tecnologia e Ciências*, v. 10, n. 28, p. 1-24, 2021.

TAVEIRA, R.Z.; FONSECA, L.R.; SILVEIRA NETO, O.J.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, J.S. Avaliação do desempenho de bovinos de corte mestiços confinados em piquetes com sombrite e sem sombrite. Pubvet, v. 6, n. 18, 2012.

TITTO, C.G. Comportamento de touros da raça Simental à pasto com recurso de sombra e tolerância ao calor. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

