

ORGANIZADORES
Sandra Cristina de Ávila
Thiago Carvalho da Silva



PECUÁRIA Sustentável na Amazônia

PRODUZIR • PRESERVAR • PROSPERAR
O FUTURO DA AMAZÔNIA É SUSTENTÁVEL

ALEXA
CULTURAL

PECUÁRIA SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

Sandra Cristina de Ávila
Thiago Carvalho da Silva
Organizadores

PECUÁRIA SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA



Embu das Artes / SP
2026

COMITÊ CIENTÍFICO ALEXA CULTURAL

Presidente

Adailton da Silva (UFJ – Jataí/GO)

Vice-presidente

Gilse Elisa Rodrigues (UFAM – Benjamin Constant/AM)

Membros

Alexandre Santos de Oliveira (IFS - Poço Redondo/SE)
Ana Cristina Alves Balbino (UNIP – São Paulo/SP)
Ana Paula Nunes Chaves (UDESC – Florianópolis/SC)
Antonio Carlos Batista de Souza (IFAM CMC – Manaus/AM)
Barbara M. Arisi (UNILA – Foz do Iguaçu/PR)
Denia Roman Solano (Universidade da Costa Rica – Costa Rica)
Débora Cristina Goulart (UNIFESP – Guarulhos/SP)
Diana Sandra Tamburini (UNR – Rosário/Santa Fé – Argentina)
Estevão Rafael Fernandes (UNIR – Porto Velho/RO)
Gabriel Frechiani de Oliveira (SEDUC/PI – Floriano)
Graziele Acçolini (UFGD – Dourados/MS)
Guilherme Gitahy de Figueiredo (UEA - Tefé/AM)
Iraíldes Caldas Torres (UFAM – Manaus/AM)
Juan Álvaro Echeverri Restrepo (UNAL – Letícia/Amazonas – Colômbia)
Karel Henricus Langermans (ECA/USP – São Paulo/SP)
Leandro Colling (UFBA – Salvador/BA)
Lilian Marta Grisólio (UFCAT – Catalão/GO)
Luciane Soares da Silva (UENF – Campos de Goitacazes/RJ)
Mabel M. Fernández (UNLPam – Santa Rosa/La Pampa – Argentina)
Marcial Cotes (UESC - Ilhéus/BA)
Maria Auxiliadora Coelho Pinto (UEA - Tabatinga/AM)
Marlon Borges Pestana (FURG – Universidade Federal do Rio Grande/RS)
Michel Justamand (UFAM – Benjamin Constant/AM)
Patricia Sposito Mechi (UNILA – Foz do Iguaçu/PR)
Pedro Paulo Abreu Funari (UNICAMP – Campinas/SP)
Rafaela Cássia Procknov (IFSP – Avaré/SP)
Renilda Aparecida Costa (UFAM – Manaus/AM)
Rita de Cassia Andrade Martins (UFJ – Jataí/GO)
Sebastião Rocha de Sousa (UEA – Tabatinga/AM)
Sidney Barata de Aguiar (SEDUC – Manaus/AM)
Tharcisio Santiago Cruz (UFAM – Humaitá/AM)
Thereza Cristina Cardoso Menezes (UFRRJ – Rio de Janeiro/RJ)
Wanderson Fabio Melo (UFF – Rio das Ostras/RJ)
Yvone Dias Avelino (PUC/SP)

AGRADECIMENTOS

A concretização desta obra representa o resultado de um esforço coletivo em prol da produção e da disseminação do conhecimento científico sobre a produção animal sustentável na Amazônia.

Expresso minha sincera gratidão ao Instituto de Medicina Veterinária (IMV) da Universidade Federal do Pará (UFPA), instituição que proporcionou o ambiente necessário para o desenvolvimento desta iniciativa e que, ao longo dos anos, tem contribuído de forma significativa para a formação de profissionais e para o fortalecimento da pesquisa na Região Amazônica.

Agradeço aos autores que aceitaram o convite para integrar esta obra, compartilhando seus conhecimentos, experiências e resultados de pesquisa. A qualidade e a diversidade dos capítulos refletem o compromisso de cada um com o avanço da ciência e com o desenvolvimento sustentável da Amazônia.

Estendo meus agradecimentos às instituições de ensino, pesquisa e extensão às quais os autores estão vinculados, cujo apoio à produção científica torna possível a construção de obras colaborativas como esta.

Meu reconhecimento também a todos que contribuíram para a revisão, organização e padronização editorial deste livro, cujo trabalho criterioso foi fundamental para assegurar a qualidade e a unidade da publicação.

Por fim, registro um agradecimento especial ao Prof. Dr. Thiago Carvalho da Silva, coorganizador desta obra, pela parceria e compromisso durante a revisão e organização editorial. Sua contribuição foi essencial para a concretização deste projeto.

Sandra Cristina de Ávila

Castanhal (PA), 2026

© by Alexa Cultural

Direção

Gladys Corcione Amaro Langermans

Nathasha Amaro Langermans

Editor

Karel Langermans

Capa

Klanger

Revisão Técnica

Sandra Cristina de Ávila e Thiago Carvalho da Silva

Revisão da Língua Portuguesa

Marisa De Lucia

Edição e diagramação

Alexa Cultural

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

p369 Pecuária Sustentável na Amazônia / Sandra Cristina de Ávila e Thiago Carvalho da Silva, organizadores – 1. ed. – Embu das Artes, SP: Alexa Cultural, 2026.

136 p. : il. color. ; 16 x 23 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN - 978-85-5467-790-9 - DOI 10.29327/5904333 - E-book em PDF

1. Veterinária. 2. Pecuária. 3. Sustentabilidade. 4. Amazônia. I. Ávila, Sandra Cristina de. II. Silva, Thiago Carvalho da. III. Título. IV. Sumário

CDD 636.089 / 636.3

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Índices para catálogo sistemático:

Veterinária - Pecuária

Sustentabilidade

Amazônia

Todos os direitos reservados e amparados pela Lei 5.988/73 e Lei 9.610
É terminantemente proibida a reprodução parcial ou integral do conteúdo desta obra sem a
prévia autorização da organização e/ou editora.

Alexa Cultural Ltda

Rua Henrique Franchini, 256

Embu das Artes/SP - CEP: 06844-140

alex@alexacultural.com.br

alexacultural@terra.com.br

www.alexacultural.com.br

www.alexaloja.com

O desafio na Amazônia não é eliminar a pecuária, mas intensificá-la. Produzir mais em menos espaço é a única forma de garantir a rentabilidade do produtor e a conservação da floresta de pé.

Martha Rocham pesquisadora em sistemas agroflorestais.

PREFÁCIO

A produção animal brasileira ocupa posição de destaque no cenário mundial. O país detém o maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com aproximadamente 234 milhões de cabeças, e a Região Norte concentra cerca de um quarto deste efetivo. Ao mesmo tempo, a Amazônia abriga a maior floresta tropical do planeta, responsável por serviços ecossistêmicos essenciais e por uma das maiores biodiversidades do mundo. Neste contexto, o desafio da pecuária amazônica vai além do aumento da produtividade: consiste em produzir alimentos de forma eficiente, competitiva e ambientalmente responsável, conciliando desenvolvimento econômico, conservação dos recursos naturais e bem-estar animal.

Nas últimas décadas, o avanço do conhecimento científico e da inovação tecnológica tem demonstrado que é possível intensificar a produção utilizando áreas já consolidadas, recuperar pastagens degradadas, melhorar os índices zootécnicos e reduzir impactos ambientais. Assim, a sustentabilidade deixa de ser apenas um conceito e passa a representar um conjunto de estratégias capazes de fortalecer a produção animal e contribuir para o desenvolvimento da Amazônia.

Foi com este propósito que esta obra foi concebida. Reunindo pesquisadores de diferentes instituições e áreas de atuação, este livro apresenta uma visão atual sobre temas fundamentais para a produção sustentável na Amazônia, abordando desde o bem-estar animal e os serviços ecossistêmicos até a intensificação dos sistemas produtivos e a qualidade dos produtos de origem animal. Esperamos que este livro contribua para a formação de estudantes, pesquisadores, profissionais e produtores, estimulando a adoção de tecnologias e práticas que tornem a pecuária amazônica cada vez mais eficiente, inovadora e sustentável.

Sandra Cristina de Ávila e Thiago Carvalho da Silva

Castanhal (PA), 2026.

SUMÁRIO

Prefácio.....	8
<i>Sandra Cristina de Ávila e Thiago Carvalho da Silva</i>	

Parte I – Bem-Estar Animal e Pecuária Amazônica

Capítulo 1 – Efeitos do transporte fluvial sobre o bem-estar animal no Baixo Amazonas	12
<i>Wellington Conceição da Silva, Éder Bruno Rebelo da Silva, Italo Messias Ferreira de Souza, Vanessa Sousa Pinto, Carlos Eduardo Lima Sousa, Luís Gustavo Paixão Vilela, Thiago Nogueira da Silva, Alinne da Silva Souza, João Paulo de Sousa Cunha, Vinicius Costa Gomes de Castro, Raimundo Nonato Colares Camargo-Júnior e Cláudio Vieira de Araújo</i>	

Capítulo 2 – Tecnologias utilizadas para avaliação do bem-estar de bovinos de corte e de leite	33
<i>Wellington Conceição da Silva, Éder Bruno Rebelo da Silva, João Paulo de Sousa Cunha, Alinne da Silva Souza, Thiago da Silva Nogueira, Carlos Eduardo Lima Sousa, Italo Messias Ferreira de Souza, Vanessa Sousa Pinto, Luís Gustavo Paixão Vilela, Raimundo Nonato Colares Camargo-Júnior e Cláudio Vieira de Araújo</i>	

Parte II – Sustentabilidade e Serviços Ecossistêmicos

Capítulo 3 – Serviços ecossistêmicos associados à pecuária sustentável na Amazônia	52
<i>Vinicius Costa Gomes de Castro, Sandra Cristina de Ávila, Isadora Gabriele da Silva Matos, Caroline Emanuelle do Amaral Santa Rosa de Oliveira, Aluizio Raimundo Bastos de Oliveira Junior e Thiago Carvalho da Silva</i>	

Capítulo 4 – Potencial da intensificação moderada na melhoria da performance ambiental da pecuária na Amazônia brasileira: uma análise multi-escalas	69
--	----

Darlana Caroline da C. Corrêa, René Poccard-Chapuis e Philippe Lescoat

Parte III – Qualidade dos Produtos de Origem Animal

Capítulo 5 – A qualidade do leite de búfala no Marajó: interação entre ambiente, manejo tradicional e identidade produtiva	85
--	----

Allana Laís Alves Lima, Caroline Emanuelle do Amaral Santa Rosa de Oliveira, Aluizio Raimundo Bastos de Oliveira Junior e Isadora Gabriele da Silva Matos

Capítulo 6 – Aspectos gerais da qualidade da carne de bovinos produzida no Pará	92
---	----

Andréa Viana da Cruz, Jenifer Maira Lima Ramos, Suzana Silva e Silva, Sandra Cristina de Ávila e Thiago Carvalho da Silva

Parte IV – Intensificação da Produção Animal

Capítulo 7 – Estratégias para a intensificação da recria e terminação de bovinos de corte a pasto	102
---	-----

Marlon Richard Hilário da Silva

PARTE I
BEM-ESTAR ANIMAL E PECUÁRIA
AMAZÔNICA

EFEITOS DO TRANSPORTE FLUVIAL SOBRE O BEM-ESTAR ANIMAL NO BAIXO AMAZONAS

DOI 10.29327/5904333.1-1

Wellington Conceição da Silva¹

Éder Bruno Rebelo da Silva²

Italo Messias Ferreira de Souza¹

Vanessa Sousa Pinto¹

Carlos Eduardo Lima Sousa³

Luís Gustavo Paixão Vilela¹

Thiago Nogueira da Silva³

Alinne da Silva Souza³

João Paulo de Sousa Cunha³

Vinicius Costa Gomes de Castro⁴

Raimundo Nonato Colares Camargo-Júnior⁵

Cláudio Vieira de Araújo¹

1. INTRODUÇÃO

O transporte fluvial de bovinos por meio de balsas é uma prática comum no Oeste do Pará, onde os rios constituem as principais vias de acesso às áreas de produção pecuária, centros de abate e de comercialização. Neste contexto, o transporte fluvial torna-se essencial, em razão da grande extensão territorial e das limitações da infraestrutura rodoviária. Contudo, o prolongado deslocamento em embarcações impõe diversos desafios ao bem-estar animal, os quais precisam ser avaliados, a fim de assegurar, tanto a saúde dos animais quanto a qualidade do produto (Bailone, 2019).

Neste contexto, as longas rotas percorridas por barcos ou balsas adaptadas para o transporte de bovinos podem submeter os animais a condições de estresse térmico, sobretudo, em razão da elevada umidade relativa da região, das variações de temperatura e da ventilação, que nem sempre são adequadas (Andrade *et al.*, 2008). Estes fatores, aliados à alta

1 Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, Brasil.

2 Centro Universitário Luterano de Santarém (Ceuls), Santarém, Pará, Brasil.

3 Centro Universitário da Amazônia (UNAMA), Santarém, Pará, Brasil.

4 Universidade Federal Rural da Amazônia, Santarém, Pará, Brasil.

5 Instituto Federal do Pará (IFPA), Santarém, Pará, Brasil.

lotação e ao tempo de confinamento, afetam diretamente o conforto térmico dos animais, desencadeando distúrbios fisiológicos, como desidratação e perda de peso, além de provocar alterações nos parâmetros comportamentais associados ao estresse (Silva *et al.*, 2022).

Além disto, o manejo durante as operações de embarque e desembarque constitui outro aspecto crítico, uma vez que a utilização inadequada de equipamentos, a ausência de acessos apropriados e a falta de protocolos de manejo de baixo estresse podem resultar em lesões físicas, escoriações e fraturas (Neto *et al.*, 2021). Tais ocorrências comprometem o bem-estar animal, reduzem a qualidade da carcaça e geram impactos econômicos, tanto para os produtores quanto para a indústria frigorífica (Sousa *et al.*, 2025).

O acesso à água e aos alimentos durante a viagem exercem forte influência sobre o estado de bem-estar dos animais. Em transportes de longa duração, a ausência de recursos hídricos e forrageiros adequados intensifica o estresse e compromete o metabolismo dos bovinos (Buckham-Sporer *et al.*, 2023). Da mesma forma, a falta de reparos e de monitoramento contínuo das condições internas das embarcações, como ventilação, temperatura e umidade, agrava os efeitos do confinamento, resultando em perdas de desempenho produtivo e maior suscetibilidade a doenças (Nielsen *et al.*, 2022).

À vista deste cenário, a criação de normas específicas e a implementação de boas práticas no transporte fluvial tornam-se indispensáveis para assegurar a integridade física e fisiológica dos animais. Critérios como a utilização de embarcações adequadas, a definição de densidades de lotação compatíveis, o fornecimento contínuo de água potável, a capacitação dos trabalhadores e o monitoramento de indicadores de bem-estar configuram estratégias essenciais para a redução do estresse e para a sustentabilidade da pecuária regional (Andrade *et al.*, 2008).

Com base nestas informações, o transporte fluvial de bovinos no Oeste do Pará pode ser realizado de forma viável, desde que sejam adotadas práticas logísticas compatíveis com as exigências de bem-estar animal. Neste capítulo será descrita a influência do transporte fluvial sobre o bem-estar de bovinos na região Oeste do Pará, Brasil.

2. TRANSPORTE FLUVIAL DE BOVINOS NA AMAZÔNIA

No Oeste do Pará, a pecuária bovina representa uma das principais atividades econômicas, desempenhando função estratégica no fornecimento e abastecimento de carne para mercados nacionais e regionais, além da

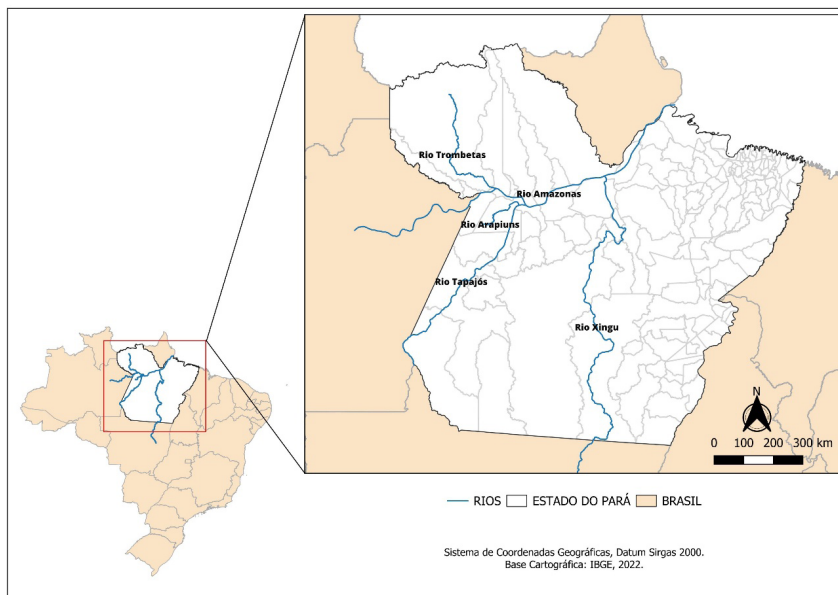
contribuição na geração de renda (Caitano *et al.*, 2023). Neste contexto, os municípios de Santarém, Óbidos, Alenquer e Monte Alegre possuem criação de bovinos de corte, predominantemente em sistema extensivo, se destacando no setor, que os favorecem pela disponibilidade de áreas de pastagem natural e pelo manejo pecuário tradicional. Esta atividade impulsiona a economia da região, gera empregos de forma direta e indireta e consolida a pecuária como um importante pilar de produção agropecuária na Amazônia (Caitano *et al.*, 2023).

As características territoriais da região destacam-se por suas vastas planícies alagadas e por uma extensa rede hidrográfica, composta por rios de grande porte, como o Amazonas, e importantes afluentes, como o Tapajós e o Trombetas. Estes cursos d'água vão além de sua função natural, assumindo um papel essencial na infraestrutura logística regional. Durante o período das cheias, os rios funcionam como verdadeiras rodovias, possibilitando o transporte de grandes volumes de carga, incluindo animais, com maior eficiência energética e custos reduzidos em comparação ao transporte exclusivamente rodoviário (Leão *et al.*, 2023).

Apesar da presença do transporte rodoviário, a infraestrutura das estradas é limitada, e muitas vias apresentam problemas de manutenção, agravados durante o período chuvoso, quando o acesso terrestre, em alguns casos, torna-se inviável. Neste contexto, o transporte fluvial configura-se como uma alternativa mais eficiente para o escoamento da produção bovina, assegurando a conexão entre as propriedades rurais e os centros de abate, processamento e comercialização, situados em áreas urbanas ou em outros estados (Neto, 2021).

Os rios consolidam-se como as principais rotas logísticas (Figura 1), fundamentais não apenas devido à extensão territorial da região, mas também pelo custo-benefício da navegação. O transporte por balsas e embarcações adaptadas permite a movimentação de grandes lotes de animais em uma única viagem, com menor consumo de combustível em comparação ao transporte rodoviário. Esta característica eficiente contribui para a competitividade da cadeia produtiva de carne bovina, tornando o transporte fluvial um elemento central da pecuária no Oeste do Pará (Fleming *et al.*, 2020).

Figura 1 - Principais rios utilizados para o escoamento de bovinos via transporte fluvial no Oeste do Pará.



A dependência do transporte fluvial na região evidencia limitações estruturais importantes. Em diversos trechos de navegação, a ausência de portos adequados compromete a movimentação segura de bovinos, bem como a ausência de estruturas apropriadas de embarque e desembarque que atendem às exigências de bem-estar animal. Esta falta de infraestrutura adequada aumenta o risco de acidentes, pode causar lesões nos animais e dificultar a adoção de práticas de manejo racional durante o transporte (Júnior *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2022).

Outro aspecto crítico refere-se às condições das embarcações utilizadas no transporte. Em diversos casos, barcos e balsas não foram projetados originalmente para o transporte de animais, exigindo adaptações improvisadas que comprometem o bem-estar dos bovinos, especialmente no que diz respeito ao conforto, à ventilação e à segurança (Bailone, 2019). Esta inadequação favorece a ocorrência de estresse térmico e aumenta a suscetibilidade dos animais a lesões, impactando diretamente a qualidade da carne e a produtividade da cadeia pecuária (Ludolf e Costa, 2020).

Adicionalmente, o regime hidrológico sazonal dos rios amazônicos exerce influência direta sobre a logística do transporte. Durante a época de vazante, a redução do nível das águas dificulta a navegação em certos trechos, exigindo um planejamento rigoroso para evitar atrasos ou interrupções no deslocamento do rebanho. Esta dinâmica natural impõe

a necessidade de adotar estratégias flexíveis de escoamento, capazes de alinhar o calendário de produção às condições de navegabilidade (Leão *et al.*, 2023).

A dependência do transporte fluvial está relacionada às condições socioeconômicas dos produtores locais. Grande parte das propriedades rurais encontra-se distante de rodovias pavimentadas e não dispõe de infraestrutura adequada para o escoamento por via terrestre. Para estes produtores, os rios assumem um papel que vai além de um simples meio de transporte, funcionando como um elemento essencial de integração com os mercados consumidores, garantindo a comercialização do rebanho e a sustentabilidade econômica das famílias que têm a pecuária como principal fonte de renda (Neto, 2021).

Portanto, compreender o panorama da bovinocultura no Oeste do Pará e o papel estratégico dos rios como principais eixos logísticos torna-se fundamental para o planejamento de políticas públicas e para o direcionamento de investimentos em infraestrutura (Bailone, 2019). A busca por melhorias em portos, a adequação das embarcações e a capacitação dos trabalhadores podem não apenas aumentar a eficiência do transporte, mas também minimizar os impactos sobre o bem-estar dos animais, fortalecendo a pecuária regional e assegurando a competitividade da carne amazônica nos mercados internos e externos (Lourenço *et al.*, 2020).

3. FATORES DE RISCO AO BEM-ESTAR ANIMAL DURANTE O TRANSPORTE FLUVIAL

O transporte fluvial de bovinos no Oeste do Pará apresenta diversos desafios que podem afetar negativamente o bem-estar dos animais, principalmente, em viagens longas e com manejo inadequado. Entre os principais fatores de estresse estão as condições ambientais típicas da Região Amazônica, a superlotação nas embarcações, a duração do trajeto e a movimentação constante dos barcos durante a navegação (Silva *et al.*, 2022). Estes fatores interagem, potencializando riscos de desconforto, lesões e desequilíbrios fisiológicos (Silva *et al.*, 2024b).

As condições ambientais representam um dos maiores desafios para a preservação do bem-estar animal. A Região Amazônica caracteriza-se por alta umidade relativa, frequentemente superior a 80%, e temperaturas médias que variam entre 25 °C e 32 °C (Rohleder *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2024). Em embarcações com ventilação precária, estes fatores favorecem o estresse térmico, dificultando a dissipação do calor corporal dos bovinos. A combinação de ventilação insuficiente e espaços inadequados intensifica o

desconforto térmico, podendo ocasionar hipertermia e desidratação (Silva *et al.*, 2024).

A ventilação inadequada constitui um fator crítico. As balsas e barcos adaptados para o transporte de bovinos não oferecem aberturas suficientes para garantir uma circulação de ar eficaz (Nielsen *et al.*, 2022). Este problema se agrava em situações de alta densidade de animais, já que o calor metabólico gerado contribui para elevar a temperatura interna, criando um microclima adverso. O excesso de calor e umidade dificulta a termorregulação dos bovinos, aumentando a frequência respiratória e o ritmo cardíaco (Silva *et al.*, 2023).

A densidade de lotação é outro fator relevante para o estresse térmico. Quando o número de animais transportados excede a capacidade ideal da embarcação, os riscos de pisoteamento, quedas e lesões aumentam (Rebouças *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022). O espaço reduzido compromete a mobilidade dos bovinos, impedindo que se ajustem para manter o equilíbrio durante a navegação. Este confinamento, aliado ao contato físico constante, gera agitação e conflitos sociais, elevando os níveis de cortisol e outros marcadores fisiológicos de estresse (Jurkovich *et al.*, 2024).

A Figura 2 ilustra a estrutura de entrada das embarcações fluviais utilizadas no transporte de bovinos na Amazônia. Observa-se a aglomeração dos animais em espaço reduzido, o que limita a liberdade de movimento, aumenta o risco de quedas e favorece situações de estresse fisiológico. Este cenário reforça a importância do planejamento da carga e da adoção de critérios de bem-estar animal durante o transporte hidroviário.

Figura 2 - Estrutura da embarcação fluvial no transporte de bovinos na Amazônia.



Fonte: Arquivo pessoal.

A duração da viagem exerce grande influência sobre o bem-estar dos animais. Em trajetos que podem durar várias horas ou até dias, a ausência de pausas para descanso e a oferta insuficiente de água e alimento intensificam a desidratação (Heiderscheit *et al.*, 2022). Além disto, o ruído contínuo dos motores e as vibrações do casco da embarcação contribuem para o desgaste físico e emocional dos bovinos, afetando tanto seu comportamento quanto o funcionamento fisiológico (Brasil, 2021).

A própria movimentação da embarcação impõe desafios adicionais aos animais. Oscilações provocadas por ondas, variações na correnteza e manobras bruscas exigem dos bovinos constantes ajustes para manter o equilíbrio (Ludolf *et al.*, 2022). Estes esforços contínuos, somados ao risco de escorregões em pisos inadequados, podem causar tensão muscular, contusões e até fraturas (Phillips *et al.*, 2013; Lilienthal *et al.*, 2019). Em viagens noturnas, a baixa visibilidade agrava estes riscos, exigindo maior cuidado no manejo e na estrutura do piso.

Os efeitos fisiológicos nestas condições incluem alterações em parâmetros dos animais, como aumento da frequência respiratória e cardíaca, elevação da temperatura corporal e redução no consumo de água e alimentos (Uchendu *et al.*, 2022). Estes fatores afetam o metabolismo energético e a resposta imunológica, elevando a susceptibilidade a doenças e comprometendo o desempenho produtivo dos bovinos (Valadez *et al.*, 2022).

Os bovinos sob estresse apresentam alterações no comportamento como inquietação, vocalizações excessivas, agressividade e tentativa de fuga (Ludolf e Costa, 2020). Estes comportamentos indicam sofrimento e dificultam o manejo seguro, aumentando o risco de acidentes, tanto para os animais quanto para os trabalhadores (Buckham-Sporer *et al.*, 2023). A observação atenta destes sinais é essencial para intervenções rápidas e eficazes durante a viagem.

A combinação de fatores como ambiente hostil, superlotação, tempo prolongado de deslocamento e movimentação constante da embarcação torna o transporte fluvial de bovinos um desafio significativo para o bem-estar (Nielsen *et al.*, 2022). Reconhecer estes fatores de estresse é fundamental para implementar estratégias de mitigação, como melhorias na ventilação, ajuste na carga, oferta adequada de água e alimentos, monitoramento contínuo dos indicadores de conforto térmico e saúde (Buckham-Sporer *et al.*, 2023).

4. BOAS PRÁTICAS DE MANEJO NO TRANSPORTE FLUVIAL

O manejo adequado dos bovinos antes, durante e após o transporte fluvial é fundamental para garantir o bem-estar animal e minimizar perdas econômicas (Grandin, 2019a; Nielsen *et al.*, 2022). O processo que antecede o embarque, incluindo a preparação dos animais e das instalações, influencia os níveis de estresse e a incidência de lesões durante a viagem (Zanardi *et al.*, 2022). No Oeste do Pará, onde o transporte hidroviário constitui o principal meio de escoamento da produção, a adoção de boas práticas de manejo em todas as etapas é essencial para a sustentabilidade da pecuária regional.

O pré-embarque exige atenção especial. Os animais devem ser mantidos em currais de espera adequados, com acesso contínuo a água limpa e alimentação leve (Sullivan *et al.*, 2024). Este período de descanso contribui para a recuperação física, especialmente, após deslocamentos terrestres, e auxilia na estabilização dos parâmetros fisiológicos, reduzindo os níveis de estresse antes da viagem (Heiderscheit *et al.*, 2022). Nesta etapa, bovinos doentes, feridos ou debilitados devem ser identificados e separados para avaliação veterinária, evitando seu transporte em condições que possam comprometer ainda mais sua saúde ou causar sofrimento (WOAH, 2021).

O embarque representa uma das etapas mais sensíveis do processo, por envolver movimentação intensa e maior risco de lesões (Nielsen *et al.*, 2022). A condução dos bovinos deve ser realizada com calma, evitando gritos, agressões ou o uso de objetos que causem dor, como bastões elétricos. Métodos de baixo estresse, como o uso de bandeiras, chocalhos e linguagem corporal adequada, são altamente recomendados (Garcia *et al.*, 2017).

A iluminação da área de embarque deve ser suficiente para garantir que os animais enxerguem claramente o trajeto, minimizando paradas e aglomerações (Grandin, 2021). Além disto, a estrutura de acesso à embarcação deve prezar pela segurança, com rampas de inclinação inferior a 20°, largura compatível com o tamanho dos animais e corrimãos laterais para auxiliar na condução (Brasil, 2019). O piso deve ser antiderrapante, utilizando materiais como madeira rifada ou borracha, para evitar escorregões, quedas e fraturas (Grandin, 2019b).

Durante o trajeto, o monitoramento contínuo das condições internas da embarcação é imprescindível. Temperatura, ventilação e umidade devem ser controladas para evitar estresse térmico e o acúmulo de gases (Melasari *et al.*, 2025). Sempre que possível, é necessário oferecer água potável aos animais e, em viagens longas, oferecer alimento fibroso ade-

quado. Tais cuidados ajudam a prevenir a desidratação, perda de peso e queda no desempenho produtivo (Wilmann *et al.*, 2020).

As embarcações utilizadas no transporte fluvial de bovinos na Amazônia frequentemente operam em ambientes abertos, com exposição direta às variações climáticas. Esta configuração, típica da navegação regional, impõe desafios adicionais ao controle do microclima interno, especialmente, em dias de calor intenso ou alta umidade. A ausência de sombreamento e a ventilação natural limitada podem agravar o estresse térmico, reforçando a necessidade de medidas preventivas e de monitoramento contínuo (Melasari *et al.*, 2025).

A etapa de desembarque deve ser realizada com o mesmo cuidado do embarque, de forma calma e ordenada. Rampas de saída com inclinação suave, piso antiderrapante e barreiras laterais são fundamentais para evitar acidentes e facilitar o fluxo dos animais (Grandin, 2021). É importante evitar pressa ou métodos coercitivos, que aumentem o risco de lesões e provoquem estresse adicional (Nielsen *et al.*, 2022).

Logo após o desembarque, recomenda-se a inspeção dos bovinos, com o objetivo de identificar possíveis ferimentos, sinais de exaustão ou alterações comportamentais (Valkova *et al.*, 2021). A detecção precoce destes problemas permite a adoção de ações corretivas imediatas, evitando prejuízos futuros (Buckham-Sporer *et al.*, 2023).

Um dos pilares para o sucesso do manejo é a capacitação dos trabalhadores envolvidos. Todos devem receber treinamento em bem-estar animal, com foco em técnicas de condução de baixo estresse, reconhecimento de sinais de desconforto e respostas a emergências (Brasil, 2021). A valorização do bem-estar animal como aspecto ético e econômico fortalece a responsabilidade dos trabalhadores e melhora a imagem do setor.

Além disto, é essencial estabelecer protocolos operacionais padronizados. Eles devem abranger todas as fases do transporte, desde o planejamento da lotação por viagem até a limpeza e desinfecção das áreas de manejo. A padronização das práticas facilita a fiscalização, promove a segurança e assegura a adoção de procedimentos baseados em evidências científicas (Ludolf *et al.*, 2022).

O manejo pré-embarque, o embarque e desembarque de bovinos no transporte fluvial amazônico exige uma combinação de infraestrutura adequada, manejo adequado e humanizado, além de uma equipe qualificada. A adoção de rampas com inclinação segura, pisos antiderrapantes, controle das condições ambientais e treinamento contínuo da equipe são estratégias indispensáveis para prevenir lesões, minimizar o estresse fisiológico e garantir o bem-estar dos animais ao longo de todo processo (Hansen *et al.*,

2023). Mais do que atender às exigências legais, estas medidas resultam em benefícios concretos para a cadeia produtiva, já que reduzem perdas econômicas, melhoram a qualidade da carne e aumentam a eficiência operacional.

5. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TRANSPORTE FLUVIAL DE BOVINOS NO OESTE DO PARÁ

O transporte fluvial de bovinos na Amazônia desempenha um papel crucial na logística da pecuária regional, especialmente em áreas de difícil acesso, como o Oeste do Pará. Com uma vasta rede de rios navegáveis, a região depende desta modalidade para o escoamento de grandes volumes de animais destinados ao abate (Dias-Filho e Lopes, 2020; Tavares e Neto, 2025;). Entretanto, este meio de transporte apresenta tanto vantagens quanto desvantagens, impactando diretamente o bem-estar dos animais e a eficiência do processo logístico (Silva *et al.*, 2022; Nielsen *et al.*, 2022).

Uma das principais vantagens é a redução de custos operacionais. Estudos indicam que o transporte por via fluvial pode ser até quatro vezes mais barato do que o rodoviário, devido à elevada capacidade de carga das embarcações e ao menor consumo de combustíveis (Dourado *et al.*, 2024; Tavares e Neto, 2025). Além disto, a inexistência de custos com construção de vias, uma vez que os rios constituem percursos naturais, também contribui para a economia. Esta redução de custos operacionais é crucial para os pecuaristas da região, onde os gastos logísticos podem representar uma parcela significativa das despesas totais (Dias-Filho e Lopes, 2020).

Além disto, o transporte fluvial apresenta menor impacto ambiental em comparação com o rodoviário. Embarcações maiores podem transportar mais toneladas de produtos com consumo de combustível proporcionalmente menor, reduzindo a emissão de gases poluentes (Lima *et al.*, 2024). Este aspecto torna esta modalidade uma alternativa mais sustentável para o escoamento da produção na Amazônia. No entanto, é importante ressaltar que a falta de regulamentação específica para o transporte na região pode comprometer estes benefícios ambientais, caso práticas inadequadas sejam adotadas (Acipar e Queiroz, 2025; Espinoza *et al.*, 2024).

Entretanto, o transporte fluvial de bovinos enfrenta desafios significativos (Quadro 1). A ausência de regulamentação específica para esta modalidade na região amazônica é um dos principais obstáculos. As normas existentes foram desenvolvidas para o transporte rodoviário e não consideram as particularidades do transporte fluvial, como a variação no nível dos rios e a necessidade de embarcações adaptadas (Acipar e Queiroz, 2025;

Tavares e Neto, 2025). Esta lacuna regulatória dificulta a implementação de boas práticas e a fiscalização adequada, comprometendo o bem-estar dos animais e a qualidade da carne produzida (Silva *et al.*, 2022).

Quadro 1 - Vantagens, desvantagens e limitações do transporte fluvial no Oeste paraense.

Informações	Vantagens	Desvantagens	Limitações
Logística	Reduz custos de transporte em longas distâncias em relação ao rodoviário.	Depende de condições climáticas e do nível dos rios, que podem variar sazonalmente.	Infraestrutura portuária insuficiente em muitas localidades.
Lotação animal	Permite o transporte de grandes lotes de animais em uma única viagem.	Embarcações mal adaptadas podem aumentar o risco de lesões.	Necessidade de embarcações especializadas e de alto investimento.
Custo operacional	Combustível e manutenção, geralmente, mais baratos em rotas fluviais extensas.	Custos adicionais com manejo pré-embarque e monitoramento de bem-estar.	Dependência de mão de obra qualificada e treinamento constante.
Escoamento dos animais	Viabiliza o escoamento da produção em regiões de difícil acesso terrestre.	Interrupção em períodos de seca ou cheia extrema podem atrasar a entrega.	Pouca integração com outros modais logísticos em algumas áreas.
Bem-estar animal	Possibilidade de embarcações adaptadas com ventilação natural e espaço adequado.	Embarcações sem adaptação aumentam o risco de hipertermia, desidratação e contusões.	Monitoramento contínuo de temperatura, umidade e indicadores fisiológicos ainda é pouco difundido.

Além disto, fatores ambientais, como a seca, podem afetar negativamente o transporte fluvial. A falta de chuvas pode reduzir o nível dos rios, dificultando a navegação e aumentando o risco de encalhes das embarcações (Lima *et al.*, 2024). Este fenômeno pode comprometer a segurança dos animais e a eficiência do transporte. A variabilidade climática exige planejamento logístico flexível e adaptável, além de investimentos em infraestrutura que permitam a operação contínua durante diferentes estações do ano (Espinoza *et al.*, 2024).

A falta de infraestrutura adequada também é uma limitação significativa. Embora os rios sejam amplamente utilizados, a infraestrutura

portuária e as embarcações especializadas são insuficientes para garantir o bem-estar dos animais durante o transporte. A ausência de embarcações adaptadas e de terminais portuários adequados pode aumentar significativamente o estresse dos animais e o comprometimento dos produtos vindos destes animais (Rohleder *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022; Dourado *et al.*, 2024).

6. DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA AMAZÔNICA

A pecuária desenvolvida na Amazônia, especialmente no Oeste do Pará, enfrenta obstáculos relevantes no que se refere à sustentabilidade, envolvendo dimensões ambientais, econômicas e sociais (Garcia *et al.*, 2017). O transporte fluvial de bovinos, elemento central desta cadeia produtiva, representa ao mesmo tempo uma solução logística e um ponto de vulnerabilidade, sobretudo, quando o bem-estar animal não recebe a devida atenção (Fike e Spire, 2006). O estresse gerado por viagens longas e em condições adversas compromete a produtividade, a qualidade da carne e a imagem do setor, exigindo estratégias integradas que conciliem eficiência, ética e conservação ambiental (Damtew *et al.*, 2008).

Os impactos econômicos do estresse animal são amplos (Fernandes *et al.*, 2021). Animais submetidos a deslocamentos sofrem perda de peso, redução no rendimento de carcaça e maior ocorrência de lesões e hematomas – fatores que afetam a competitividade do produto (Zanardi *et al.*, 2022). Além disto, alterações no pH da carne podem originar defeitos como a carne PSE (pálida, mole e exsudativa) ou DFD (escura, firme e seca), reduzindo seu valor de mercado e a aceitação por consumidores (Sristi *et al.*, 2025). Assim, falhas no manejo durante o transporte resultam em prejuízos diretos e indiretos, tanto para pecuaristas quanto para frigoríficos (Costa *et al.*, 2024).

Para superar esses desafios, a adoção de tecnologias e inovações é essencial (Abdul-Majid *et al.*, 2024). O uso de sensores de temperatura, umidade e qualidade do ar, sistemas automatizados de fornecimento de água e alimento, além de ferramentas de monitoramento remoto, permitem intervenções rápidas que minimizam riscos de estresse e mortalidade (Džermeikaitė *et al.*, 2023). A adaptação estrutural das embarcações com pisos antiderrapantes, ventilação eficiente e compartimentos ajustáveis também contribui para reduzir os impactos negativos do transporte fluvial (Reyes *et al.*, 2024).

Outro ponto crucial é a articulação entre boas práticas de manejo, políticas públicas e certificações (Sims *et al.*, 2005). A criação de normas

específicas para o transporte de animais na Amazônia, alinhadas a diretrizes internacionais de bem-estar, pode assegurar maior padronização e respaldo jurídico (Reis e Molento, 2020). Ao mesmo tempo, certificações que valorizem propriedades e transportadoras comprometidas com práticas sustentáveis e de baixo estresse agregam valor ao produto e ampliam o acesso a mercados mais exigentes em termos socioambientais (Bicalho e Hoeffle, 2015).

A capacitação contínua de produtores e trabalhadores representa outro pilar desta transformação (Phillips, 2024). Treinamentos sobre manejo de baixo estresse, identificação de sinais de desconforto e condução adequada dos animais são fundamentais para reduzir falhas e potencializar o uso das novas tecnologias (Ramos *et al.*, 2021). Além disso, o investimento em infraestruturas de apoio, como portos e rampas de embarque seguras, fortalece a eficiência operacional e diminui o risco de lesões nos animais (Reyes *et al.*, 2024).

Em síntese, a sustentabilidade da pecuária amazônica depende de uma abordagem integrada, capaz de alinhar rentabilidade, respeito aos animais e conservação ambiental (Cortner *et al.*, 2019). O transporte fluvial de bovinos, quando realizado de forma planejada e responsável, pode deixar de ser um gargalo e se tornar um diferencial competitivo (Ljungberg *et al.*, 2007). A combinação de inovações tecnológicas, regulamentação específica, certificações e capacitação humana aponta para um caminho promissor, em que a pecuária regional se consolide como ética, produtiva e sustentável no longo prazo (Vlaicu *et al.*, 2024).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte fluvial de bovinos no Oeste do Pará constitui meios para estratégias da pecuária amazônica, sendo essencial para o escoamento da produção e a integração da cadeia produtiva. Portanto, esta atividade apresenta desafios significativos relacionados ao bem-estar animal, juntamente com fatores ambientais adversos, densidade de lotação, tempo duradouro de viagem e movimentação constante das embarcações. Identificar e gerenciar estes fatores é de grande importância para garantir que os animais cheguem ao destino em condições favoráveis de conforto e saúde, conservando a qualidade da carcaça e a produtividade do setor.

A implementação de boas práticas de manejo, infraestrutura adequada e estratégias de monitoramento constante surge como um caminho efetivo para amenizar o estresse e prevenir lesões durante o transporte. Aspectos como rampas e pisos antiderrapantes, ventilação adequada, for-

necimento de água e alimento, junto com trabalhadores capacitados, são determinantes para promover o bem-estar animal. A adoção destas medidas com tecnologias de monitoramento e avaliação de índices comportamentais e fisiológicos sustentam a segurança e a eficiência do transporte fluvial, tornando-o ético e sustentável.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Pesquisa em Bioclimatologia, Bem-Estar e Nutrição Animal na Amazônia.

9. REFERÊNCIAS

ABDUL-MAJID, M.; ZAHARI, S. A.; OTHMAN, N.; NADZRI, S. Influence of technology adoption on farmers' well-being: Systematic literature review and bibliometric analysis. **Heliyon**, v. 10, n. 2, p. e24316, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24316>

ACIPAR, L.; QUEIROZ, M. Vulnerabilidade do território e circulação regional: Os impactos das estiagens severas no município de Tefé no Amazonas. **Revista Sociedade & Desenvolvimento**, v. 14, n. 5, 2025. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v14i5.48876>

ANDRADE, E. N. D.; ROÇA, R. D. O.; SILVA, R. A. M. S.; GONÇALVES, H. C.; PINHEIRO, R. S. B. Prevalência de lesões em carcaças de bovinos de corte abatidos no Pantanal Sul-Mato-Grossense transportados por vias fluviais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 4, p. 789–795, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400010>

BAILONE, R. L. Exportação de animais vivos e o bem-estar animal no Brasil: um panorama da situação atual. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, v. 17, n. 1, p. 34-38, 2019. <https://doi.org/10.36440/recmvz.v17i1.37841>

BICALHO, A. M. D. S. M.; HOEFLE, S. W. Conservation Units, Environmental Services and Frontier Peasants in the Central Amazon: Multi-Functionality, Juxtaposition or Conflict?. **Research in Economic Anthropology**, v. 35, n. 1, p. 65-105, 2015. <https://doi.org/10.1108/S0190-128120150000035004>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boas práticas na exportação de animais vivos**. Brasília: MAPA, 2019. Apresenta-

tação técnica.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual do Vigiagro**. Brasília: MAPA, 2021.

BUCKHAM-SPORER, K.; EARLEY, B.; MARTI, S. Current Knowledge on the Transportation by Road of Cattle, including Unweaned Calves. **Animals**, v. 13, n. 21, p. 3393, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13213393>

CAITANO, T. B. S. D.; HOMMA, A. K. O.; SANTOS, M. A. S. D.; BRASIL, E. C.; BELTRÃO, N. E. S. Perfil tecnológico da pecuária bovina paraense e os desafios da sustentabilidade das pastagens. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 20, n. 4, p. 253-277, 2023. ISSN: 2318-180X

CORTNER, O.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; FERREIRA, J.; NILES, M. T.; REIS, J.; GIL, J. Perceptions of integrated crop-live stock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 82, n. 1, p. 841-853, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.006>

COSTA, M. J. P. D. Handling and Transport of Cattle. **Live-stock Handling and Transport**, v. 6, n. 10, 213, 2024. <https://doi.org/10.1079/9781800625136.0000>

DAMTEW, A.; EREGA, Y.; EBRAHIM, H.; TSEGAYE, S.; MSIGIE, D. The effect of long distance transportation stress on cattle: a review. **Bio-medical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 3, n. 3, p. 3304-3308, 2018. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2018.03.000908>

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, S. P. Histórico e desafios da pecuária bovina na Amazônia. **Embrapa**, 2020. ISSN: 1983-0513

DOURADO, R. R.; SILVA, T. F.; COSTA, M. L.; OLIVEIRA, P. A. Dinâmica portuária na Amazônia: mudanças no uso e na cobertura do solo no bairro Área Verde em Santarém (PA). **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 20, n. 2, 2024. ISSN: 1809-239X

DŽERMEIKAITĖ, K.; BAČĖNINAITĖ, D.; ANTANAITIS, R. Innovations in cattle farming: application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. **Animals**, v. 13, n. 5, p. 780, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; SILVA, M. S.; ALVES, L. M. The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58000-0>

doi.org/10.1038/s41598-024-58782-5

FERNANDES, J. N.; HEMSWORTH, P. H.; COLEMAN, G. J.; TIL-BROOK, A. J. Costs and benefits of improving farm animal welfare. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 104, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020104>

FIKE, K.; SPIRE, M. F. Transportation of cattle. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v. 22, n. 2, p. 305-320, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.03.012>

FLEMING, P. A.; WICKHAM, S. L.; DUNSTON-CLARKE, E. J.; WILLIS, R. S.; BARNES, A. L.; MILLER, D. W.; COLLINS, T. Review of Livestock Welfare Indicators Relevant for the Australian Live Export Industry. **Animals**, v. 10, n. 7, p. 1236, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10071236>

GARCIA, E.; RAMOS-FILHO, F. S. V.; MALLMANN, G. M.; FONSECA, F. Costs, benefits and challenges of sustainable livestock intensification in a major deforestation frontier in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 158, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9010158>

GRANDIN, T. Cattle and pigs that are easy to move and handle will have less pre slaughter stress. **Animals**, v. 10, p. 25-83, 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10112583>

GRANDIN, T. Livestock Handling and Transport. 5. ed. Wallingford: **CABI**, 2019a. 496 p. <https://doi.org/10.1079/9781786399151.0000>

GRANDIN, T. Princípios comportamentais de manejo de gado de corte e design de currais, estabulações, corridas e rampas de carga. p. 80-109. In: **Manejo e transporte de gado**. Wallingford Reino Unido: CABI, 2019b.

HANSEN, B. G.; LANGSETH, E.; BERGE, C. Animal welfare and cow-calf contact-farmers' attitudes, experiences and adoption barriers. **Journal of Rural Studies**, v. 97, n. 1, p. 34-46, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.11.013>

HEIDERSCHEIT, K. J.; FREESTONE, A. D.; BEENKEN, A. M.; DE-TERS, E. L.; PESCHEL, J. M.; HANSEN, S. L. Long-duration transit and food and water deprivation alter behavioral activities and aggressive interactions at the feed bunk in beef feedlot steers. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.1093/jas/skac060>

JÚNIOR, A. P. S.; LIMA, N. C.; JÚNIOR, A. C. P.; OLIVEIRA, J. H. C. D. Um estudo da logística para o escoamento da produção pecuária do sul

do Pará. **Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, v. 9, n. 2, p. 94-107, 2011. ISSN: 1679-5830

JURKOVICH, V.; HEJEL, P.; KOVÁCS, L. A review of the effects of stress on dairy cattle behaviour. **Animals**, v. 14, n. 14, p. 2038, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14142038>

LEÃO, D. S. D.; LEITÃO-BARBOZA, M. S.; PRESTES-CARNEIRO, G. Criação e pastoreio de bois (*Bos taurus*) nas áreas inundadas de várzea da região de Santarém, Pará, um contexto amazônico. **Revista de Arqueologia**, v. 36, n. 3, p. 135-151, 2023. <https://doi.org/10.24885/sab.v36i3.1082>

LILIENTHAL, G., AHMAD, N., MUSTAFA, F. The live animal export trade. **European Food and Feed Law Review**, v. 14, n. 4, p. 347-364, 2019. ISSN: 1862-2720

LIMA, M. A.; SOUZA, R. T.; CARVALHO, P. R.; SANTOS, L. A. Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 5, 2024. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01530->

LJUNGBERG, D.; GEBRESENBET, G.; ARADOM, S. Logistics chain of animal transport and abattoir operations. **Biosystems Engineering**, v. 96, n. 2, p. 267-277, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.11.003>

LOURENÇO, D. B.; LUDOLF, R. V. E. A exportação de gado vivo no Brasil e a regra constitucional da vedação da crueldade. **Revista Brasileira de Direito Animal**, v. 15, n. 3, p. 53-73, 2020. E-ISSN: 2.317-4.552

LOURENÇO-JÚNIOR, J. D. B. Beef consumers' perception of welfare on animal farms laughter in Altamira, Pará, Brazil. **Revista de Salud Animal**, v. 46, n. 17, p. 1-7, 2024. <https://cu-id.com/2248/v46e17>

LUDOLF, R. V. E.; COSTA, S. R. R. A exportação de gado vivo no Brasil e a regra constitucional da vedação da crueldade: um estudo de caso sobre o navio MV NADA. **Confluências**, v. 22, n. 1, p. 101-119, 2020.

LUDOLF, R. V. E.; MORGADO, E. P.; OLIVEIRA, F. A. G. de; CHAVES, L. A. Exportação marítima de gado vivo: legados do especismo colonial. **Confluências**, v. 24, n. 3, p. 241-265, 2022. <https://doi.org/10.22409/conflu.v24i3>

MELASARI, R.; SUPRIYADI, A.; HASNITA, A.; HAKIM, L.; SETIAWAN, A.; PRAMONO, Y. Implementation of Animal Welfare Standards on Livestock Vessels. **Animal and Veterinary Sciences**, v. 13, n. 7, p. 1586-1596, 2025. <https://dx.doi.org/10.17582/journal>

NETO, G. V. F. C. **Ocorrência de contusões em carcaças bovinas no estado do Pará em função do transporte**, v. 15, n. 1, p. 70-74, 2021. <https://doi.org/10.26605/medvet-v15n1-2268>

NIELSEN, S. S.; ALVAREZ, J.; BICOUT, D. J.; CALISTRI, P.; CANALI, E.; DREWE, J. A.; GARIN-BASTUJI, B.; ROJAS, J. L. G.; SCHMIDT, C. G.; MICHEL, V.; CHUECA, M. Á. M.; PADALINO, B.; PASQUALI, P.; ROBERTS, H. C.; SPOOLDER, H.; STAHL, K.; VELARDE, A.; VILTROP, A.; WINCKLER, C.; EARLEY, B.; EDWARDS, S.; FAUCITANO, L.; MARTI, S.; LAMA, G. C. M. D. L.; COSTA, L. N.; THOMSEN, P. T.; ASHE, S.; MUR, L.; STEDE, Y. V. D.; HERSKIN, M. Welfare of cattle during transport. **EFSA Journal**, v. 20, n. 9, p. e07442, 2022. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7442>

PHILLIPS, C. J. C., SANTURTUN, E. The welfare of livestock transported by ship. **Veterinary Journal**, v. 196, n. 3, p. 309–314, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.01.007>

PHILLIPS, C. Transport of cattle, sheep and other livestock by sea and air. **Livestock handling and transport**, v. 22, n. 1, p. 488-504, 2024. <https://doi.org/10.1079/9781800625136.002>

RAMOS, A. K.; MCGINLEY, M.; CARLO, G. The relations of workplace safety, perceived occupational stress, and adjustment among Latino/a immigrant cattle feedyard workers in the United States. **Safety Science**, v. 139, n. 1, p. 105-262, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105262>

REBOUÇAS, G. F., ROSANOVA, C. Quantificação de lesões e contusões em carcaças bovinas decorrentes do manejo pré-abate e transporte, **Zootecnia: ciência animal aplicada**, 1. ed., cap. 1, p. 7-15). Editora Conhecimento Livre. 2021. <https://doi.org/10.37423/201203432>

REIS, G. G.; MOLENTO, C. F. M. Emerging market multinationals and international corporate social responsibility standards: bringing animals to the fore. **Journal of Business Ethics**, v. 166, n. 2, p. 351-368, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04144-5>

REYES, F. Dairy Cattle Handling and Transport. **Livestock Handling and Transport**, v. 6, n. 6, p. 122-137, 2024. <https://doi.org/10.1079/9781800625136.0006>

ROHLEDER, L. A. S.; QUERINO, C. A. S.; ALVES, P. V.; QUERINO, J. K. A. D. S.; JUNIOR, A. L. P.; VAZ, M. A. B. Evaluation of environmental

parameters in a microregion in southern Amazonas State, Brazil, and their relationship with heat stress in dairy cattle. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, e71625E, 2022. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v23e-71625E>

SILVA, T. M.; BRAINER, M. M. de A.; GODOY, H. B. R.; PAIVA, S. C.; NETO, R. F. Influência do transporte no bem-estar e na qualidade da carne de bovinos. **Editora Científica Digital** v. 6, p. 2.094-2.112, 2022. <http://dx.doi.org/10.37885/220910116>

SILVA, W. C. D.; FONTENELE, L. V.; NETO, O. G. N.; SILVA, É. B. R. D.; CAMARGO-JÚNIOR, R. N. C.; SOUSA, C. E. L.; BELO, T. S.; SILVA, J. A. R. D.;

SILVA, W. C. D.; GOUVEIA JÚNIOR, A.; DAMASCENO N. M, S.; SOUSA, L. F.; BARBOSA, A. V. C.; SILVA, É. B. R.; SILVA, A. G. M. E. Effect of transportation distance and lairage time on selected behaviors and carcass parameters in zebu cattle—a study using the animal focal sampling method. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, 1385481, 2024a. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1385481>

SILVA, W. C. da; SILVA, J. A. R.; MARTORANO, L. G.; SILVA, É. B. R. et al. Thermal comfort of Nelore cattle (*Bos indicus*) managed in silvopastoral and traditional systems associated with rumination in a humid tropical environment in the Eastern Amazon, Brazil. **Veterinary Sciences**, v. 11, n. 6, p. 236, 2024b. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060236>

SILVA, W. C. da; SILVA, J. A. R.; SILVA, É. B. R.; BARBOSA, A. V. C.; SOUSA, C. E. L. *et al.* Characterization of thermal patterns using infrared thermography and thermolytic responses of cattle reared in three different systems during the transition period in the Eastern Amazon, Brazil. **Animals**, v. 13, n. 17, art. 2735, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13172735>

SIMS, J. T.; BERGSTRÖM, L.; BOWMAN, B. T.; OENEMA, O. J. S. U. Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. **Soil Use and Management**, v. 21, p. 141-151, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2005.tb00418.x>

SOUZA GALVÃO DE, Jefferson Jesus; TEIXEIRA, Mayra Menegueli. PECUÁRIA E BEM-ESTAR ANIMAL: DA PROPRIEDADE ATÉ O ABATE. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 6, p. 1873-1885, 2025. <https://doi.org/10.51891/rease.v11i6.19819>

SRISTI, P. R.; DAS, N. R.; AKHTER, A.; KANIYA, N. M.; HASHEM, M. A. Relation among meat pH, color and tenderness-A review. **Meat Re-**

search, v. 5, n. 3, p. 1-7, 2025. <https://doi.org/10.55002/mr.5.3.117>.

SULLIVAN, P. A.; DAVIS, M.; NAIR, M. N.; HESS, A. M.; MOONEY, D. F.; EDWARDS-CALLAWAY, L. N. Preslaughter factors affecting mobility, blood parameters, bruising, and muscle pH of finished beef cattle in the United States. **Translational Animal Science**, v. 8, 2024. <https://doi.org/10.1093/tas/txae035>.

TAVARES, N. J. B.; NETO, A. P. Desafios logísticos do transporte fluvial amazônico: avaliação das dificuldades enfrentadas na movimentação de mercadorias no rio Amazonas no período de seca dos rios. **Revista de Ciências Sociais Aplicadas**, v. 29 n. 144, 2025. <https://doi.org/10.69849/revistaft/ra10202503111820>

UCHENDU, C.; AYO, J. O.; TEKDEK, L. B.; ZAKARI, F. O. Impact of road transportation on physiological and oxidative stress biomarkers in puppies. **Journal of Thermal Biology**, v. 110, p. 103376, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103376>

VALADEZ, N. M.; ESTÉVEZ, M. L. X.; GALINDO, F.; PÉREZ, M. F.; VILLARROEL, M.; MIRANDA-DE LA LAMA, G. C. Consequences of long-distance transport on the behavior and health of young-bulls that may affect their fitness to adapt to feedlots. **Livestock Science**, v. 265, p. 105083, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105083>

VÁLKOVÁ, L.; VEČEREC, V.; VOŠLÁŘOVÁ, E.; KALUŽA, M.; TAKÁČOVÁ, D. The Welfare of Cattle, Sheep, Goats and Pigs from the Perspective of Traumatic Injuries Detected at Slaughterhouse Postmortem Inspection. **Animals**, v. 11, n. 5, p. 1.406, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11051406>

VLAICU, P. A.; GRAS, M. A.; UNTEA, A. E.; LEFTER, N. A.; ROTAR, M. C. Advancing livestock technology: intelligent systemization for enhanced productivity, welfare, and sustainability. **AgriEngineering**, v. 6, n. 2, p. 1479-1496, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020084>

WIDJAYA, F. E.; DESPAL, D.; RETNANI, Y.; PRIYANTO, R.; ABDULAH, L. Effects of compacted forage feeding on Indonesian cattle performance during prolonged sea transport. **Journal of Advanced Veterinary Research**, v. 16, n. 1, p. 153-157, 2026. ISSN: 2090-6277/2090-6269

WILMANN, M.; HOFFMANN, G.; GENÍSIO, A. O.; TONON, F. C.; LANCET, A. D.; CORRÊA, A. H. P.; PEETZ, L. R. Effect of rest stop duration during long-distance transport on welfare indicators of cattle. **PlosOne**, v. 15, n. 4, e0228492, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal>.

pone.0228492

WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH (WOAH). **Terrestrial Animal Health Code**. Chapter 7.3 – Transport of animals by land and sea. Paris: WOAH, 2021.

ZANARDI, E.; LUCA, S. D.; ALBORALI, G. L.; IANIERI, A.; VARRÀ, M. O.; ROMEO, C.; GHIDINI, S. Relationship between bruises on carcasses of beef cattle and transport-related factors. **Animals**, v. 12, n. 15, p. 1997, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12151997>

TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DO BEM-ESTAR DE BOVINOS DE CORTE E DE LEITE

DOI 10.29327/5904333.1-2

Welligton Conceição da Silva¹

Éder Bruno Rebelo da Silva²

João Paulo de Sousa Cunha³

Alinne da Silva Souza³

Thiago da Silva Nogueira³

Carlos Eduardo Lima Sousa³

Italo Messias Ferreira de Souza¹

Vanessa Sousa Pinto¹

Luís Gustavo Paixão Vilela¹

Raimundo Nonato Colares Camargo-Júnior⁴

Cláudio Vieira de Araújo¹

1. INTRODUÇÃO

O estresse térmico pode causar problemas no Bem-Estar Animal (BEA), deste modo, frequentemente encontra-se em regiões que possuem clima árido tropical ou subtropical, influenciando a produtividade nos variados campos da produção pecuária (Silva *et al.*, 2023). É indispensável a utilização do manejo adequado nos animais, tendo em vista que é considerado um fator determinante para que estes indivíduos possam alcançar maiores índices produtivos. Para isto, necessitam de condições ambientais favoráveis, como sombra, água e alimento, evitando alterações fisiológicas decorrentes do estresse térmico (Silva *et al.*, 2024).

Frente a esta situação, requer-se a implantação de sistemas e tecnologias capazes de fornecerem conforto térmico, assim como espaços sombreados de dimensões suficientes para acomodar todos os animais, com disponibilidade de água para consumo e banho, consequentemente, pro-

1 Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, Brasil.

2 Centro Universitário Luterano de Santarém (Ceuls), Santarém, Pará, Brasil.

3 Centro Universitário da Amazônia (UNAMA), Santarém, Pará, Brasil.

4 Instituto Federal do Pará (IFPA), Santarém, Pará, Brasil.

porciona conforto térmico aos indivíduos. Assim, existem tecnologias que são utilizadas para avaliar o bem-estar animal como a termografia infravermelho, uso de biocápsulas e o uso de aplicativos eletrônicos (Džermeikaitė *et al.*, 2023).

A termografia infravermelho destaca-se como técnica não invasiva que permite avaliar, de forma rápida, segura e precisa, a temperatura superficial corporal dos animais. Esta ferramenta auxilia na detecção dos estados de estresse térmico, inflamações e alterações circulatórias, sem a necessidade de contenção física, amenizando o risco de estresse adicional. Além disso, o uso de termografia infravermelho possibilita o acompanhamento contínuo de rebanhos extensivos e avaliação mais eficiente do bem-estar animal (Bang *et al.*, 2022; McManus *et al.*, 2022; Da Silva *et al.*, 2024a).

Biocápsulas ruminais, posicionadas no rúmen, fornecem dados periódicos de temperatura interna e pH, auxiliando na identificação precoce de quadros de acidose, febre ou estresse térmico (Choi *et al.*, 2020; Dutta *et al.*, 2022). Do mesmo modo, sensores acoplados a câmeras e coleiras inteligentes monitoram variáveis como frequência cardíaca, atividade, tempo de ruminação, ingestão de alimento e movimentação, fornecendo informações para gestão da saúde e do bem-estar. Dispositivos conectados a softwares de análise auxiliam na tomada rápida de decisões, na eficiência e em um manejo melhorado (Mohteshamuddin *et al.*, 2022; Antanaitis *et al.*, 2024; Dilaver *et al.*, 2024).

A popularidade de aplicativos de celular voltados ao conforto animal facilita o acesso a dados em tempo real, integrando informações de diversos sensores e permitindo o acompanhamento de forma remota dos bovinos (Herlin *et al.*, 2021; Alanezi *et al.*, 2022). Esta integração tecnológica melhora a escolha de planejamentos estratégicos das propriedades, além de atender às exigências de mercados consumidores que demandam rastreabilidade, transparência e certificação de boas práticas de bem-estar animal. Deste modo, esta junção de manejo adequado e ferramentas de monitoramento digital enfatizam um caminho promissor para garantir sustentabilidade e a competitividade da pecuária atual, tanto de corte quanto de leite (Gupta *et al.*, 2022; Chapman *et al.*, 2023; Martínez-Yáñez *et al.*, 2025).

Com base nestas informações, objetivou-se analisar tecnologias utilizadas para avaliação do bem-estar animal de bovinos de corte e de leite.

2. FUNDAMENTOS DO BEM-ESTAR ANIMAL EM BOVINOS

2.1 Conceito de Bem-estar Animal

O conteúdo BEA é amplamente debatido na produção animal. Em 1964, no Reino Unido, começou com diferentes reportagens publicadas pela jornalista Ruth Harrison, prevenindo para a necessidade de observar os animais como seres vivos e não como seres inertes (Brambell, 1965).

O Parlamento britânico criou em 1965, um comitê coordenado pelo professor Rogers Brambell com objetivo de fornecer explicações aos criadores de bovinos sobre como instituir estes animais. Estabelecidas as diretrizes no relatório eram conhecidas como: “As cinco liberdades de Brambell”, como: “vire-se”, “deite-se”, “levante-se”, “escaneie seus membros” e “cuide do seu próprio corpo” (Broom, 1986). Após estas publicações, diversas visões foram assentadas sobre a BEA, buscando criar normas para se qualificar com este parâmetro nos animais.

A definição da BEA em termos conceituais mais aceita foi definida por Broom, conforme citado por Oliveira et al. (2008), que relatou como o estado de um indivíduo durante suas tentativas de se adaptar em um ambiente. Logo, quando os animais são colocados em ambientes distintos ou submetidos a um manejo inadequado, eles tendem a demonstrar estresse, o que resulta em características negativas na produção (Council, 1992).

As cinco liberdades são mencionadas como um marco importante na ciência do BEA, onde o animal deve estar: 1. livre de fome e sede, com livre acesso à água e dieta para manter a saúde e o vigor; 2. livre de desconforto, com ambiente adequado, com abrigo e área de espera confortável; 3. livre de dor, lesão e doença, com prevenção, diagnóstico e tratamento rápidos; 4. livre para expressar comportamento normal e natural, com espaço suficiente, instalações adequadas e específicas da espécie; e 5. livre de medo e angústia, com condições e tratamento que previnam o sofrimento mental. Entretanto, vale a pena ressaltar que a FAWC propõe que as cinco liberdades não necessariamente devem ser adotadas como paradigmas mínimos de bem-estar animal (Armstrong, 1994).

O “Projeto de Qualidade® do Bem-Estar” foi apresentado em 2004, pela União Europeia, incentivando a integração entre pesquisadores sobre a BEA de distintas instituições. Foram apresentadas quatro abordagens e 12 critérios (Welfare Quality, 2009), bem como: Boa nutrição, definida pela ausência de fome e sede prolongada (1 e 2); Boa acomodação, para repouso (3) e proporcionando conforto térmico (4), além de facilidade de locomoção (5); Boa saúde, caracterizada pela ausência de lesões (6),

doenças (7), dor induzida pelo manuseio (8); e apresentar comportamentos adequados, tais como: a expressão do comportamento social (9), de outros comportamentos (10), além de ter uma boa interação entre humanos e animais (11) e estados emocionais positivos (12).

2.2 Indicadores de Bem-Estar Animal

É essencial a busca por indicadores positivos de BEA, aliada a medidas que visem à redução de expressão de comportamentos anormais (Anderson *et al.*, 2015). Mellor e Reid (1994) propuseram o modelo dos cinco domínios, buscando englobar os aspectos negativos e positivos relacionados aos animais, divididos em quatro princípios físicos e um mental, a saber: nutrição, ambiente, saúde, comportamento e estado mental dos animais, considerando se apresentam emoções e sentimentos positivos e negativos. Indicadores-chave de bem-estar animal.

Para entender o BEA é fundamental conhecer as espécies em estudo, levando em consideração as características comportamentais no habitat natural, bem como o sistema de criação dos indivíduos. Ao tentar medir o BEA, deve-se atentar para uma variedade de indicadores multidimensionais, além de diferentes parâmetros para entender o estado geral de cada animal (Broom, 2010).

Os princípios de BEA são divididos em dois modelos: o primeiro refere-se aos animais que não realizam a adaptação a um determinado ambiente, enquanto o segundo retrata o esforço feito pelo animal para se adaptar ao ambiente (Silva *et al.*, 2024).

No que diz respeito à fertilidade, o estresse térmico causa danos em todas as etapas. Desde o crescimento do ovócito (Roth *et al.*, 2008; Lawrence *et al.*, 2004), passando pelas etapas seguintes, até a sua capacidade de fecundação (López-Gatius, 2003). O ciclo estral e o comportamento estral também são afetados negativamente (López-Gatius *et al.*, 2006). O desenvolvimento e a implantação do embrião continuam no útero, perdurando até o nascimento do bezerro (Ealy *et al.*, 1993).

A análise do nível de BEA pode ser efetuada em diversas situações, incluindo cenários de curto prazo, como durante o manejo antes do abate, onde se utilizam indicadores imediatos como a frequência cardíaca, os níveis de cortisol no sangue e os diversos comportamentos dos animais durante o processo de abate. Alternativamente, pode-se avaliar em condições de longo prazo, em sistemas de criação nos quais os animais dispõem de mais tempo para se adaptarem.

O BEA está relacionado a indicadores distintos, que respondem às formas de se adaptar aos ambientes, evidenciadas entre os animais; por

isto, é inviável a adoção de um único indicador (Reimert *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2024). Desta forma, Blokhuis (2008) disponibilizou indicadores que podem ser realizados na avaliação do BEA, como o princípio da boa alimentação, boa acomodação, boa saúde e expressão de comportamento adequado.

3. TECNOLOGIAS APLICADAS À AVALIAÇÃO DO BEM-ESTAR ANIMAL

A bovinocultura depende da integração entre tecnologias de monitoramento e práticas de manejo adequadas para avaliar o estresse térmico (Džermeikaitė *et al.*, 2023). O estresse térmico, amplificado pelas mudanças climáticas, compromete diretamente a saúde, a produção e a reprodução dos animais (Gupta *et al.*, 2022). Diante deste cenário, diferentes dispositivos eletrônicos vêm sendo utilizados para fornecer dados em tempo real sobre a condição fisiológica e comportamental dos bovinos, auxiliando na tomada de decisão por parte dos produtores (Figura 1) (Bang *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2025).

Figura 1 – Biocápsula Ruminal com medidas em centímetros.



Fonte: Choi *et al.* (2020)

3.1 Biocápsula ruminal

Uma das ferramentas que vem ganhando espaço são as biocápsulas ruminais, dispositivos inseridos no rúmen capazes de registrar continuamente variáveis como temperatura corporal, pH e atividade ruminal (Mohteshamuddin *et al.*, 2022). Estes sensores permitem identificar precocemente alterações metabólicas e fisiológicas decorrentes do estresse tér-

mico, correlacionando-as ao índice de temperatura e umidade (Merkelytė *et al.*, 2025). Ao enviar informações para softwares e aplicativos, tais tecnologias viabilizam ajustes imediatos no manejo (Nam *et al.*, 2024).

Outro recurso bastante utilizado é o uso das coleiras inteligentes empregadas para avaliar ruminação, frequência de ingestão alimentar e tempo de deglutição, atividade locomotora e tempo em estação, auxiliando na identificação de variações no comportamento, como aumento do ócio durante ondas de calor ou alterações relacionadas ao cio (Antanaitis *et al.*, 2023).

O estudo de Kim *et al.* (2021) mostrou que a temperatura ruminal média em vacas prenhes foi de $38,86 \pm 0,17^{\circ}\text{C}$, apresentando redução gradual até os 180 a 190 dias após a inseminação artificial e aumento acentuado próximo ao parto. Foram observadas médias de $38,68 \pm 0,01^{\circ}\text{C}$ entre os dias 80 a 100, $38,78 \pm 0,02^{\circ}\text{C}$ entre os dias 145 a 165, $38,99 \pm 0,45^{\circ}\text{C}$ entre os dias 200 a 220 e $39,14 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$ entre os dias 250 a 270 antes do parto. Estes valores diferiram significativamente das vacas não prenhes, indicando que a variação da temperatura ruminal pode ser utilizada como ferramenta para detecção precoce da gestação e previsão do parto em bovinos.

Mohteshamuddin *et al.* (2022) avaliaram o uso de biocápsulas ruminais como fonte de monitoramento e saúde, inserida no rúmen de bovinos de uma fazenda leiteira, analisando parâmetros hematobioquímicos por meio de amostras de sangue dos animais testados. Os resultados mostraram que não houve efeito nocivo ao animal com a implementação da biocápsula nestes animais.

A motilidade ruminal é um indicador fundamental para a saúde e produtividade de bovinos. Choi *et al.* (2020) investigaram o uso de biocápsulas, com dispositivo localizado no retículo. Nos experimentos, a administração de xilazina e atropina reduziu a mobilidade ruminal sendo mais eficiente em identificar variações de frequências, amplitude e V2, inclusive, de forma dose-dependente. Os resultados mostram que a biocápsula ruminal permite avaliar a motilidade ruminal com precisão e sem interferência dos movimentos corporais, possibilitando a detecção precoce de distúrbios e auxiliando na prevenção de perdas produtivas do rebanho.

3.2 Inteligência Artificial e monitoramento digital

Outros dispositivos eletrônicos integrados a aplicativos de celular e plataformas digitais (Figura 2) permitem que o produtor acompanhe os dados em tempo real (Herlin *et al.*, 2021; Neethirajan; Kemp, 2021). Esta

comunicação favorece decisões rápidas como o acionamento de sistemas de ventilação ou a transferência dos animais para áreas sombreadas (Chapman *et al.*, 2023). Além disto, algoritmos de inteligência artificial aplicados a estes aplicativos são capazes de prever cenários de risco, otimizando o manejo preventivo (Kim *et al.*, 2025).

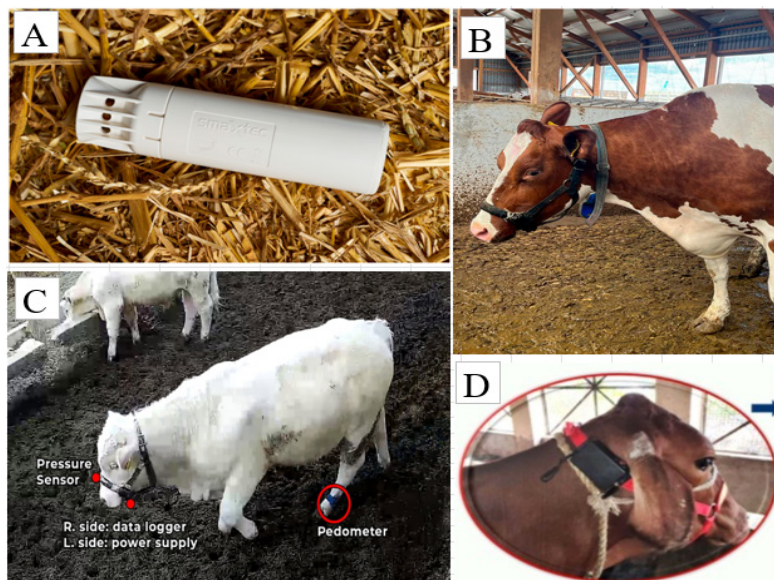
Papakonstantinou *et al.* (2024) revisaram a integração de meios eletrônicos digitais na pecuária, destacando que o aumento da produção animal nas últimas décadas trouxe desafios ambientais, sanitários e do bem-estar animal. As tecnologias de pecuária de precisão oferecem mais eficiência, reduzem impactos e promovem a saúde e o bem-estar dos animais, mas enfrentam desafios para melhorar a produção.

Zhang *et al.* (2024) utilizaram a aplicação de Inteligência Artificial (IA) na melhoria do bem-estar animal, destacando seu papel na compreensão do comportamento, na otimização da nutrição e na detecção e gerenciamento de doenças. A IA também contribui para melhores condições de vida por meio da gestão ambiental e de sistemas automatizados de limpeza. Os autores enfatizam que a IA pode promover um manejo animal mais saudável e eficiente.

De acordo com Rebez *et al.* (2024), o estresse térmico causado pelas mudanças climáticas afeta diretamente a produção, exigindo sistemas eficientes de monitoramento do desempenho animal. Na era digital, a adoção de tecnologias avançadas de IA incluindo machine learning, redes neurais e *deep learning*, tem sido fundamental para gerir este estresse térmico. Estas ferramentas automatizam a coleta e análise de dados comportamentais, fisiológicos e de saúde, possibilitando decisões em tempo real e previsão precoce de doenças.

Fuentes *et al.* (2020), avaliaram os efeitos do estresse térmico em vacas leiteiras usando quatro anos de dados de uma fazenda robótica, envolvendo 36 vacas tolerantes ao calor e todas as 312 vacas do rebanho. Combinando dados de ração, peso concentrado e clima, foram desenvolvidos modelos de aprendizado de máquina supervisionados para prever produção de leite, gordura, proteína e consumo de ração, alcançando alta precisão utilizando a inteligência artificial.

Figura 2 - Sensores eletrônicos para monitoramento de bovinos: A – Biocápsula Ruminal; B -Faixa nasal, C - Sensores acompanhado por câmera e D - Monitor.



Fonte: Adaptado de Antanaitis *et al.* (2023); Dutta *et al.* (2022); Džermeikaitė *et al.* (2023) e Nam *et al.* (2024).

3.3 Termografia Infravermelho

A termografia infravermelho, já consolidada na pesquisa, também está cada vez mais acessível na prática, podendo ser utilizada em dispositivos portáteis ou acoplados a drones (McManus *et al.*, 2022). Esta tecnologia permite mapear a temperatura corporal superficial e identificar pontos de estresse térmico em lotes maiores, reduzindo a necessidade de contenção individual (Alanezi *et al.*, 2022). O uso associado de câmeras térmicas e softwares de análise amplia a precisão na caracterização do microclima em instalações e pastagens (Silva *et al.*, 2023a; Mincu *et al.*, 2023).

Estes avanços tecnológicos não substituem o manejo tradicional, mas os complementam, segundo Bang *et al.* (2022), Holinger *et al.* (2024), Antanaitis *et al.* (2023) e Nam *et al.* (2024). Estratégias como sombreamento natural e artificial, resfriamento evaporativo e sistemas silvipastoris continuam sendo fundamentais para reduzir a carga térmica e proporcionar maior conforto (Silva *et al.*, 2023a; Silva *et al.*, 2024a). A inovação, neste sentido, deve ser entendida como ferramenta de apoio à sustentabilidade da produção, integrando ciência, bem-estar e produtividade (Guimarães-Yamada *et al.*, 2022; Babola *et al.*, 2024).

Por fim, destaca-se o papel do zoneamento bioclimático, associado às ferramentas digitais, como estratégia de planejamento em médio e longo prazo (Sousa *et al.*, 2025). Estudos de modelagem climática projetam cenários de risco para cada região, permitindo a adoção de práticas adaptativas antes que os efeitos do calor comprometam o rebanho (Andrade *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2025; Sousa *et al.*, 2025). Assim, a integração entre biotecnologias, dispositivos eletrônicos, aplicativos móveis e práticas de manejo adequadas representa uma tendência irreversível para a pecuária moderna, que busca conciliar conforto animal e eficiência produtiva (Crump *et al.*, 2024).

Silva *et al.* (2019) investigaram a utilização da termografia infravermelho para identificar em tempo real as condições fisiológicas de 39 bezerros. Os resultados mostraram que a temperatura média do globo ocular foi de 39,21°C. Com isto, concluiu-se que a termografia infravermelho foi eficaz para detectar alterações térmicas associadas a modificações fisiológicas e possíveis agentes patológicos, essencialmente, por meio da avaliação da temperatura do globo ocular.

3.4 Acelerômetro

O acelerômetro é um sensor utilizado para identificar padrões de comportamento de animais de produção por meio de análise de dados de movimento, permitindo registrar variáveis como atividade, repouso, alimentação e deslocamento. Sua aplicação está diretamente ligada ao monitoramento de bem-estar animal e ao fornecimento de informações precisas para gestão zootécnica, possibilitando a detecção precoce de alterações comportamentais que podem indicar estresse, desconforto ou doenças (Rodriguez-Baena *et al.*, 2020).

Crump *et al.* (2019) avaliaram 29 vacas leiteiras holandesas comparando 18 dias de acesso noturno ao pasto, e 18 dias de alojamento interno, utilizando acelerômetros para registrar o comportamento. Foi observada maior sincronia de comportamento ao deitar e maior contagem noturna de passos em comparação ao alojamento interno. Estes achados indicam que a utilização de tecnologias ajuda a monitorar o bem-estar e o comportamento animal.

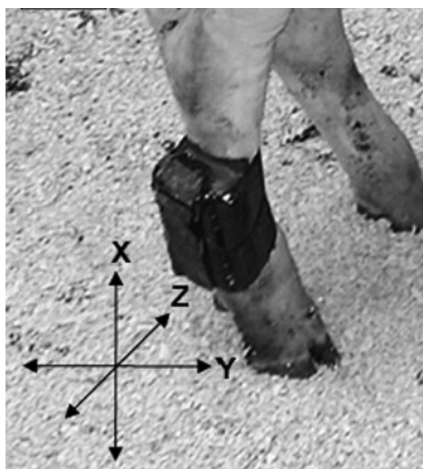
Ramezani Gardaloud *et al.* (2022) demonstraram que acelerômetros auriculares são capazes de identificar precocemente alterações comportamentais relacionadas à doença respiratória bovina em bezerros leiteiros. No total, 508 animais foram avaliados, sendo que os doentes foram classificados com escore clínico ≥ 4 e febre por pelo menos dois dias consecutivos. A análise dos dados de -7 a +1 dia em relação ao diagnóstico

clínico revelou que os bezerros controle apresentaram maiores tempos de atividade alta em todos os dias enquanto os animais doentes registraram mais tempo de atividade alta em períodos de repouso mais longos. Além disto, o estudo caracterizou o comportamento “normal” de 508 bezerros clinicamente saudáveis, destacando o potencial dos acelerômetros para detectar doenças antes mesmo da manifestação clínica em animais alojados em grupo.

Watanabe *et al.* (2008) testaram um acelerômetro de 3 eixos (MEMs), triaxial instalado sob a mandíbula de vacas, para monitorar o pastejo e classificar alimentação, ruminação e repouso, validado por filmagens. Cerca de 99,6% dos valores de aceleração, com uma amplitude maior em comer, ruminar repousar. Os resultados demonstraram que o processamento de dados de aceleração é eficaz na classificação estatística das atividades de alimentação, ruminação e repouso de bovinos.

Robert *et al.* (2009) avaliaram acelerômetros tridimensionais como forma de monitorar o comportamento de 15 bezerros. As orientações posturais foram classificadas como deitadas ou em pé, enquanto as atividades dinâmicas foram classificadas como caminhada ou transição entre as atividades em determinadas épocas do ano. No geral, descobriram que os acelerômetros forneceram uma medida precisa e remota do comportamento do gado durante o período experimental, mas esta precisão de classificação foi afetada pelo comportamento específico monitorado e pelo intervalo de relatório (época) (Figura 3).

Figura 3 - Posição do acelerômetro tridimensional (e ilustração dos eixos X, Y e Z medidos) na face lateral do membro traseiro direito em pé (a).



Fonte: Robert *et al.* (2009).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises das tecnologias aplicadas à avaliação do bem-estar de bovinos de corte e leite demonstram que a pecuária de precisão vem assumindo papel central na modernização de manejos da produção, tornando-a mais eficiente e sustentável. Ferramentas como biocápsulas ruminais, coleiras inteligentes e acelerômetros permitem o monitoramento contínuo de variáveis fisiológicas e comportamentais, possibilitando a detecção precoce de distúrbios metabólicos, alterações na motilidade ruminal e variações térmicas associadas ao estresse. Este acompanhamento em tempo real não apenas favorece decisões mais rápidas, mas também reduz perdas produtivas e melhora a saúde geral do rebanho, promovendo uma estratégia preventiva mais efetiva e menos reativa.

O uso de Inteligência Artificial, aliado a aplicativos móveis, amplia consideravelmente a capacidade de análise de dados e a previsão de cenários de risco, permitindo que os produtores adotem estratégias adaptativas frente às mudanças climáticas e as condições ambientais. A integração de câmeras termográficas, drones e softwares de análise complementa a avaliação do microclima e do estresse térmico, possibilitando identificar pontos críticos em grandes rebanhos sem a necessidade de contenção individual. Estas ferramentas fortalecem o papel da tecnologia como suporte ao manejo tradicional, potencializando o bem-estar animal e a produtividade.

Além disto, a combinação de tecnologias de monitoramento com práticas de manejo, como sombreamento natural ou artificial, sistemas silvipastoris e zoneamento bioclimático, configura-se como uma abordagem integrada para a pecuária moderna. Esta integração permite uma maior resiliência frente aos desafios sanitários e climáticos, garantindo produtividade aliada à sustentabilidade. A adoção estratégica destas ferramentas ainda favorece a tomada de decisões fundamentadas, baseadas em dados confiáveis, o que aumenta a segurança do manejo e a eficiência zootécnica.

Portanto, a incorporação de biotecnologias e soluções digitais representa um caminho irreversível para consolidação dos sistemas de produção bovina que conciliem eficiência econômica e elevados padrões de bem-estar animal. Estas evoluções não se limitam apenas às tecnologias, mas transformam a forma como o manejo é planejado, monitorado e ajustado, promovendo rebanhos mais saudáveis e uma produção mais sustentável, alinhada às demandas atuais do setor e as expectativas do mercado consumidor.

5. REFERÊNCIAS

- ALANEZI, M. A.; SHAHRIAR, M. S.; HASAN, M. B.; AHMED, S.; SHA'ABAN, Y. A.; BOUCHEKARA, H. R. Livestock management with unmanned aerial vehicles: A review. **IEEE Access**, v. 10, p. 45.001-45.028, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168295>
- ANTANAITIS, R.; DŽERMEIKAITĖ, K.; BESPALOVAITĖ, A.; RIB-ELYTĖ, I.; RUTKAUSKAS, A.; JAPERTAS, S.; BAUMGARTNER, W. Assessment of ruminating, eating, and locomotion behavior during heat stress in dairy cattle by using advanced technological monitoring. **Animals**, v. 13, n. 18, p. 2.825, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13182825>
- ANTANAITIS, R.; DŽERMEIKAITĖ, K.; KRIŠTOLAITYTĖ, J.; RIB-ELYTĖ, I.; BESPALOVAITĖ, A.; BULVIČIŪTĖ, D.; ANSKIENĖ, L. The impacts of heat stress on rumination, drinking, and locomotory behavior, as registered by innovative technologies, and acid–base balance in fresh multiparous dairy cows. **Animals**, v. 14, n. 8, p. 1.169, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14081169>
- ANDERSON, C.; YNGVESSON, J.; BOISSY, A.; UVNÄS-MOBERG, K.; LIDFORS, L. Behavioural expression of positive anticipation for food or opportunity to play in lambs. **Behavioural Processes**, v. 113, p. 152-158, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.02.003>
- ANDRADE, R. G.; GARCIA, L. C. S.; HOTT, M. C.; JUNIOR, W. C. P. M. S.; PEIXOTO, M. G. C. D.; COSTA, C. N.; CARVALHO, G. R. ZONEAMENTO DOS EFEITOS DO ESTRESSE TÉRMICO EM VACAS LEITEIRAS NO SUDESTE DO BRASIL. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 12, p. 29.977-29.991, 2023. <https://doi.org/10.56083/RCV3N12-263>
- ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of dairy science**, v. 77, n. 7, p. 2.044-2.050, 1994.
- BABOLA, M.; PONTES, L. S. D.; MORAES, A. D.; PIANO, T. G. R.; MOLENTO, M. B.; MOLENTO, C. F. M. The influence of the silvopastoral system on physiological, behavior, and health responses of the Purunã breed of cattle. **Archives of Veterinary Science**, v. 29, n. 1, 2024. <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v29i1.92665>
- BANG, N. N.; GAUGHAN, J. B.; HAYES, B. J.; LYONS, R. E.; MC-NEILL, D. M. Application of infrared thermal technology to assess the level of heat stress and milk yield reduction of cows in tropical smallholder dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 10, p. 8.454-8.469, 2022. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21343>

BLOKHUIS, H. J. International cooperation in animal welfare: the Welfare Quality® project. **Acta veterinarias candinavica**, v. 50, n. 1, p. S10, 2008. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-S1-S10>

BRAMBELL, F. W. R. **Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems**. 1965. Chairman: F. W. Rogers Brambell. London: Her Majesty's Stationery Office, 1965. (Cmnd. 2836).

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal**, v. 142, n. 6, p. 524-526, 1986.

BROOM, D. M. **Welfare of animals: behavior as a basis for decisions**. 2010. Oxford: Academic Press, 2010. v. 3, p. 580–584. .

CHAPMAN, N. H.; CHLINGARYAN, A.; THOMSON, P. C.; LOMAX, S.; ISLAM, M. A.; DOUGHTY, A. K.; CLARK, C. E. A deep learning model to forecast cattle heat stress. **Computers and electronics in agriculture**, v. 211, p. 107.932, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107932>

CHOI, W.; RO, Y.; HONG, L.; AHN, S.; KIM, H.; CHOI, C.; KIM, D. Evaluation of ruminal motility using an indwelling 3-axis accelerometer in the reticulum in cattle. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 82, n. 12, p. 1.750-1.756, 2020. <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0459>

COUNCIL, F. A. W. FAWC updates the five freedoms. **Veterinary Record**, v. 131, p. 357, 1992.

CRUMP, A.; JENKINS, K.; BETHELL, E. J.; FERRIS, C. P.; ARNOTT, G. Pasture access affects behavioral indicators of wellbeing in dairy cows. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 902, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9110902>

CRUMP, A.; JENKINS, K.; BETHELL, E. J.; FERRIS, C. P.; ARNOTT, G. Pasture access and eye temperature in dairy cows. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, v. 27, n. 2, p. 234-242, 2024. <https://doi.org/10.1080/10888705.2022.2063020>

DILAVER, H.; DILAVER, K. F. Robotics systems and artificial intelligence applications in livestock farming. **Journal of Animal Science and Economics**, v. 3, n. 2, p. 63-72, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12518170>

DUTTA, D.; NATTA, D.; MANDAL, S.; GHOSH, N. MOOnitor: An IoT based multi-sensory intelligent device for cattle activity monitoring. **Sensors and actuators A: Physical**, v. 333, p. 11.3271, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.113271>

DŽERMEIKAITĖ, K.; BAČĖNINAITĖ, D.; ANTANAITIS, R. Innovations in cattle farming: application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. **Animals**, v. 13, n. 5, p. 780, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>

EALY, A. D.; DROST, M.; HANSEN, P. J. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. **Journal of dairy science**, v. 76, n. 10, p. 2.899-2.905, 1993. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77629-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77629-8)

FUENTES, S.; GONZALEZ VIEJO, C.; CULLEN, B.; TONGSON, E.; CHAUHAN, S. S.; DUNSHEA, F. R Artificial intelligence applied to a robotic dairy farm to model milk productivity and quality based on cow data and daily environmental parameters. **Sensors**, v. 20, n. 10, p. 2.975, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20102975>

GUIMARÃES-YAMADA, K. L.; DOS SANTOS, G. T.; OSÓRIO, J. A.; SIPPERT, M. R.; FIGUEIREDO-PALUDO, M.; SILVA, B. G. D.; BEN-CHAAR, C. Influence of different heat-stress-reducing systems on physiological and behavioral responses and social dominance of Holstein and Jersey cows and heifers on pasture. **Animals**, v. 12, n. 18, p. 2.318, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12182318>

GUPTA, S.; SHARMA, A.; JOY, A.; DUNSHEA, F. R.; CHAUHAN, S. S. The impact of heat stress on immune status of dairy cattle and strategies to ameliorate the negative effects. **Animals**, v. 13, n. 1, p. 107, 2022. <https://doi.org/10.3390/ani13010107>

HERLIN, A.; BRUNBERG, E.; HULTGREN, J.; HÖGBERG, N.; RYDBERG, A.; SKARIN, A. Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 829, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11030829>

HOLINGER, M.; BÜHL, V.; HELBING, M.; PIEPER, L.; KÜRMANN, S.; PONTIGGIA, A.; AMMER, S. Behavioural changes to moderate heat load in grazing dairy cows under on-farm conditions. **Livestock Science**, v. 279, p. 105.376, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105376>

KIM, D. H.; HA, J. J.; YI, J. K.; KIM, B. K.; KWON, W. S.; YE, B. H.; LEE, Y. Differences in ruminal temperature between pregnant and non-pregnant Korean cattle. **Journal of Animal Reproduction and Biotechnology**, v. 36, n. 1, p. 45-50, 2021. <https://doi.org/10.12750/JARB.36.1.45>

KIM, S. Automated Cattle Head and Ear Pose Estimation Using Deep Learning for Animal Welfare Research. **Veterinary Sciences**, v. 12, n. 7, p. 664, 2025. <https://doi.org/10.3390/vetsci12070664>

LAWRENCE, J. L.; PAYTON, R. R.; GODKIN, J. D.; SAXTON, A. M.; SCHRICK, F. N.; EDWARDS, J. L. Retinol improves development of bovine oocytes compromised by heat stress during maturation. **Journal of dairy science**, v. 87, n. 8, p. 2.449-2.454, 2004. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73368-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73368-8)

LIU, C.; CAO, Y.; LUO, Z.; LIU, Y.; REYNOLDS, C. K.; HUMPHRIES, D.; BARKER, Z. Heat stress monitoring, modelling, and mitigation in a dairy cattle building in reading, UK: Impacts of current and projected heatwaves. **Building and Environment**, v. 279, p. 113.046, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113046>

LÓPEZ-GATIUS, F. Is fertility declining in dairy cattle?: a retrospective study in northeastern Spain. **Theriogenology**, v. 60, n. 1, p. 89-99, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01359-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01359-6)

LÓPEZ-GATIUS, F.; SANTOLARIA, P.; MARTINO, A.; DELÉTANG, F.; RENSIS, F. D. The effects of GnRH treatment at the time of AI and 12 days later on reproductive performance of high producing dairy cows during the warm season in northeastern Spain. **Theriogenology**, v. 65, n. 4, p. 820-830, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.07.002>

MARTÍNEZ-YÁÑEZ, R.; MORA-MEDINA, P.; ALBERTOS-ALPUCHE, P. J. EPI-DOM approach for comprehensive assessment of integral animal welfare. **Frontiers in Animal Science**, v. 6, p. 1495149, 2025. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1495149>

MCMANUS, R.; BODEN, L. A.; WEIR, W.; VIORA, L.; BARKER, R.; KIM, Y.; YANG, S. Thermography for disease detection in livestock: A scoping review. **Frontiers in veterinary science**, v. 9, p. 965622, 2022. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.965622>

MELLOR, D. J.; REID, C. S. W. **Concepts of animal well-being and predicting the impact of procedures on experimental animals**. Glen Osmond, South Australia: Australian and New Zealand Council for the Care of Animals in Research and Teaching (ANZCCART), 1994. p. 3-18. .

MERKELYTĖ, I.; ŠIUKŠČIUS, A.; NAINIENĖ, R. The Role of Sensor Technologies in Estrus Detection in Beef Cattle: A Review of Current Applications. **Animals**, v. 15, n. 15, p. 2313, 2025. <https://doi.org/10.3390/ani15152313>

MINCU, M.; NICOLAE, I.; GAVOJDIAN, D. Infrared thermography as a non-invasive method for evaluating stress in lactating dairy cows during isolation challenges. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1236668, 2023. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1236668>

MOHTESHAMUDDIN, K.; HAMDAN, L.; ESTRADA, L. M.; NADEEM, M. F.; KIM, H.; LEE, S.; DAKHEEL, A. A pilot study on the hemato-biochemical parameters of cattle administered with advanced health-care bio-capsules connected through a customized long-range network in the United Arab Emirates. **Sensing and Bio-Sensing Research**, v. 38, p. 100530, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2022.100530>

NAM, K. T.; CHOI, N.; NA, Y.; CHOI, Y. Effect of the Temperature–Humidity Index on the Productivity of Dairy Cows and the Correlation between the Temperature–Humidity Index and Rumen Temperature Using a Rumen Sensor. **Animals**, v. 14, n. 19, p. 2.848, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14192848>

NEETHIRAJAN, S.; KEMP, B. Digital phenotyping in livestock farming. **Animals**, v. 11, n. 7, p. 2.009, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11072009>

OLIVEIRA, C. B. D.; BORTOLI, E. C. D.; BARCELLOS, J. O. J. Diferenciação por qualidade da carne bovina: a ótica do bem-estar animal. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2.092-2.096, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000700049>

OLIVEIRA, C. E. A.; TINÔCO, I. F. F.; SOUSA, F. C.; BAÊTA, F. C.; VIEIRA, F. M. C.; BARBARI, M. Health and thermal comfort of dairy cattle in compost-bedded pack barns and other types of housing: A comparative systematic review. **AgriEngineering**, v. 6, n. 2, p. 1.395-1.416, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020080>

OLIVEIRA, C. P.; SOUSA, F. C. D.; SILVA, A. L. D.; SCHULTZ, É. B.; VALDERRAMA LONDOÑO, R. I.; SOUZA, P. A. R. D. Heat stress in dairy cows: impacts, identification, and mitigation strategies a review. **Animals**, v. 15, n. 2, p. 249, 2025. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>

PAPAKONSTANTINO, G. I.; VOULGARAKIS, N.; TERZIDOU, G.; FOTOS, L.; GIAMOURI, E.; PAPATSIROS, V. G. Precision livestock farming technology: applications and challenges of animal welfare and climate change. **Agriculture**, v. 14, n. 4, p. 620, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040620>

RAMEZANI GARDALOU, Nasrin et al. Early detection of respiratory diseases in calves by use of an ear-attached accelerometer. **Animals**, v. 12, n. 9, p. 1093, 2022.

REBEZ, E. B.; SEJIAN, V.; SILPA, M. V.; KALAINAZHAL, G.; THIRUNAVUKKARASU, D.; DEVARAJ, C.; DUNSHEA, F. R. Applications of artificial intelligence for heat stress management in ruminant

livestock. **Sensors**, v. 24, n. 18, p. 5.890, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24185890>

REIMERT, I.; WEBB, L. E.; MARWIJK, M. A. V.; BOLHUIS, J. E. Towards an integrated concept of animal welfare. **Animals**, v. 17, p. 100.838, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100838>

ROBERT, B.; WHITE, B. J.; RENTER, D. G.; LARSON, R. L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. **Computers and electronics in agriculture**, v. 67, n. 1-2, p. 80-84, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.03.002>

RODRIGUEZ-BAENA, D. S.; GOMEZ-VELA, F. A.; GARCÍA-TORRES, M.; DIVINA, F.; BARRANCO, C. D.; DAZ-DIAZ, N.; MONTALVO, G. Identify inglive stock behavior patterns base don accelerometer dataset. **Journal of Computational Science**, v. 41, p. 101.076, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101076>

ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N. D.; SOUSA, M. A. P. D.; BALIEIRO, J. C. C.; BRANDÃO, F. Z.; TONATO, F.; GARCIA, A. R Thermal comfort of Nelore (*Bos indicus*) and Canchim (*Bos taurus* x *Bos indicus*) bulls kept in an integrated crop-livestock-forestry system in a tropical climate. **Agricultural Systems**, v. 209, p. 103.687, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103687>

ROTH, Z.; AROYO, A.; YAVIN, S.; ARAV, A. The antioxidant epigallocatechin gallate (EGCG) moderates the deleterious effects of maternal hyperthermia on follicle-enclosed oocytes in mice. **Theriogenology**, v. 70, n. 6, p. 887-897, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.05.053>

SILVA, W. C. D.; MARTORANO, L.; SILVA, L.; ROCHA, S.; G. U. **Nuances na temperatura corporal de bezerros a partir de scanner com termografia infravermelho**. 2019.

SILVA, W. C. D.; PRINTES, O. V. N.; LIMA, D. O.; SILVA, É. B. R. D.; SANTOS, M. R. P. D.; CAMARGO JÚNIOR, R. N. C.; LOURENÇO-JÚNIOR, J. D. B. Evaluation of the temperature and humidity index to support the implementation of a rearing system for ruminants in the Western Amazon. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1198678, 2023. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198678>

SILVA, W. C. D.; SILVA, J. A. R. D.; MARTORANO, L. G.; SILVA, É. B. R. D.; SOUSA, C. E. L.; NEVES, K. A. L. ARAÚJO, C. JOAQUIM, L. A.; RODRIGUES, T. C. G. C. D.; BELO, T. S.; CAMARGO-JÚNIOR, N. C.; LOURENÇO-JÚNIOR, J. D. B. Thermographic Profiles in Livestock Systems under Full Sun and Shaded Pastures during an Extreme Cli-

mate Event in the Eastern Amazon, Brazil: El Niño of 2023. **Animals: an Open Access Journal from MDPI**, v. 14, n. 6, p. 855, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14060855>

SOUSA, R. V. D.; CAMPOS, J. C. D.; PAGIN, G.; PEREIRA, D. F.; CONCEIÇÃO, A. R.; TABILE, R. A.; MARTELLO, L. S. Non-Invasive Assessment of Heat Comfort in Dairy Calves Based on Thermal Signature. **Dairy**, v. 6, n. 4, p. 38, 2025. <https://doi.org/10.3390/dairy6040038>

SOUSA, A. C. D.; SOUSA, A. M. D.; CORRÊA, W. C.; MARQUES, J. I.; MENESES, K. C. D.; PANDORFI, H.; MACHADO, N. A. F. Bioclimatic Zoning and Climate Change Impacts on Dairy Cattle in Maranhão, Brazil. **Animals**, v. 15, n. 11, p. 1.646, 2025. <https://doi.org/10.3390/ani15111646>

WATANABE, N.; SAKANOUÉ, S.; KAWAMURA, K.; KOZAKAI, T. Development of an automatic classification system for eating, ruminating and resting behavior of cattle using an accelerometer. **Grassland science**, v. 54, n. 4, p. 231-237, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2008.00126.x>

ZHANG, L.; GUO, W.; LV, C.; GUO, M.; YANG, M.; FU, Q.; LIU, X. Advancements in artificial intelligence technology for improving animal welfare: Current applications and research progress. **Animal Research and One Health**, v. 2, n. 1, p. 93-109, 2024. <https://doi.org/10.1002/aro2.44>

PARTE II
SUSTENTABILIDADE E SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS ASSOCIADOS À PECUÁRIA SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

DOI 10.29327/5904333.1-3

Vinicius Costa Gomes de Castro¹

Sandra Cristina de Ávila²

Isadora Gabriele da Silva Matos¹

Caroline Emanuelle do Amaral Santa Rosa de Oliveira¹

Aluizio Raimundo Bastos de Oliveira Junior¹

Thiago Carvalho da Silva³

1. INTRODUÇÃO

O bioma Amazônia desempenha papel fundamental para o equilíbrio ambiental do planeta, sendo considerado um dos biomas mais importantes do mundo devido à sua ampla biodiversidade, riqueza de recursos naturais e influência sobre os ciclos climáticos globais (Nobre *et al.*, 2016).

Além de abrigar inúmeras espécies da fauna e flora, a Floresta Amazônica exerce funções essenciais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, como a regulação climática, a proteção dos recursos hídricos, a ciclagem de nutrientes e a provisão de alimentos e matérias-primas (Rodrigues; Monteiro; Escada, 2025). Desta forma, a conservação deste bioma tornou-se uma preocupação global diante das crescentes pressões antrópicas sobre seus ecossistemas.

Entre as atividades econômicas desenvolvidas na Amazônia, a pecuária bovina destaca-se por sua grande relevância socioeconômica e pela ampla ocupação territorial. Entretanto, historicamente, a expansão da atividade pecuária esteve associada ao avanço do desmatamento, à degradação ambiental e à substituição da vegetação nativa por áreas de pastagem, contribuindo para alterações nos ecossistemas amazônicos (Pinheiro *et al.*, 2022). Este cenário intensificou discussões sobre a necessidade de adoção de modelos produtivos mais sustentáveis, capazes de reduzir os impactos ambientais sem comprometer a produtividade e a viabilidade econômica da atividade.

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Castanhal, Pará, Brasil.

² Instituto de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Pará, Castanhal, Pará, Brasil.

³ Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Norte do Tocantins, Araguaína, Tocantins, Brasil.

Neste contexto, a pecuária de baixo impacto ambiental surge como uma alternativa para promover a produção animal de forma sustentável na Amazônia. Estes sistemas buscam integrar práticas produtivas eficientes com a conservação ambiental, priorizando o uso racional dos recursos naturais, a recuperação de áreas degradadas e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Modelos como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), os sistemas silvipastoris e o manejo rotacionado de pastagens têm apresentado resultados positivos tanto do ponto de vista produtivo quanto ambiental (Maia *et al.*, 2021).

Além de contribuir para a produção sustentável de carne e leite, os sistemas pecuários de baixo impacto favorecem a manutenção e ampliação dos serviços ecossistêmicos. A presença de árvores nas pastagens, a melhoria da qualidade do solo e o manejo adequado da vegetação auxiliam na conservação da biodiversidade, no sequestro de carbono e na proteção dos recursos hídricos. Desta maneira, a pecuária sustentável passa a desempenhar importante papel na mitigação das mudanças climáticas e na preservação da funcionalidade ecológica dos ecossistemas amazônicos (Ferreira, 2026).

Apesar dos avanços observados nos últimos anos, a consolidação da pecuária sustentável na Amazônia ainda enfrenta desafios técnicos, econômicos e institucionais. Questões relacionadas ao acesso à assistência técnica, financiamento, adoção de tecnologias e valorização dos serviços ecossistêmicos ainda limitam a expansão destes sistemas produtivos (Rajão *et al.*, 2022). Assim, torna-se fundamental fortalecer políticas públicas, incentivar práticas sustentáveis e promover a integração entre ciência, setor produtivo e sociedade, visando garantir o desenvolvimento sustentável da pecuária amazônica e a conservação dos recursos naturais para as futuras gerações.

2. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA AMAZÔNIA E SUA RELEVÂNCIA PARA A PRODUÇÃO ANIMAL

A Amazônia é considerada um dos ecossistemas mais importantes do planeta devido à sua elevada biodiversidade, vasta extensão territorial e influência direta sobre os processos ecológicos globais. A Floresta Amazônica ocupa aproximadamente 40% do território sul-americano e abriga milhões de espécies de plantas, animais e microrganismos, muitas delas ainda desconhecidas cientificamente (Esquivel-Muelbert *et al.*, 2019).

Além disto, desempenha funções essenciais relacionadas à manutenção da estabilidade climática, à proteção dos recursos hídricos e à con-

servação dos ciclos biogeoquímicos. Sua relevância ambiental vai além das fronteiras nacionais, sendo reconhecida internacionalmente como um componente estratégico para o equilíbrio climático mundial e para a manutenção da qualidade ambiental do planeta (Gatti *et al.*, 2021).

Os serviços ecossistêmicos fornecidos pela Amazônia são fundamentais para o bem-estar humano e para o funcionamento adequado dos ecossistemas naturais. Estes serviços englobam benefícios diretos e indiretos proporcionados pela natureza, incluindo a obtenção de alimentos, água e matérias-primas, além de funções relacionadas à regulação climática, à conservação do solo e à manutenção da biodiversidade. Entre os serviços mais relevantes, destaca-se a capacidade da floresta amazônica de atuar como importante sumidouro de carbono atmosférico, auxiliando na redução dos gases de efeito estufa e na mitigação das mudanças climáticas globais (Aragão *et al.*, 2018). Entretanto, estudos recentes indicam que determinadas áreas da Amazônia já apresentam redução significativa da capacidade de absorção de carbono devido ao aumento das queimadas e do desmatamento (Walker *et al.*, 2020; Hubau *et al.*, 2020).

Outro aspecto de grande importância refere-se à participação da Amazônia no ciclo hidrológico da América do Sul. A elevada taxa de evapotranspiração promovida pela floresta contribui para a formação de massas de ar úmidas responsáveis pelo transporte de vapor d'água para diferentes regiões do continente, fenômeno conhecido como “rios voadores”. Este processo influencia diretamente os regimes de precipitação em áreas agrícolas brasileiras e contribui para a manutenção da disponibilidade hídrica, para a geração de energia hidrelétrica e para a produção de alimentos. Desta maneira, alterações na cobertura vegetal amazônica podem provocar impactos significativos sobre a dinâmica climática regional e nacional (Nobre *et al.*, 2016).

Além da regulação climática e hídrica, a Amazônia possui um papel fundamental na conservação da biodiversidade global. A floresta abriga uma grande variedade de espécies vegetais e animais, contribuindo para a estabilidade ecológica e para a manutenção dos processos naturais dos ecossistemas. A biodiversidade amazônica apresenta, ainda, elevado potencial econômico e científico, sendo fonte de compostos bioativos utilizados em pesquisas farmacêuticas, cosméticas e biotecnológicas. A diversidade genética presente no bioma também favorece o desenvolvimento de estudos voltados à agricultura sustentável, à recuperação ambiental e à adaptação às mudanças climáticas (Malecha; Manes; Vale, 2025). Os principais serviços ecossistêmicos proporcionados pela Amazônia e suas contribuições para a sustentabilidade ambiental e para os sistemas de produção animal são sintetizados na Figura 1.

Figura 1 - Principais serviços ecossistêmicos da Amazônia e sua relevância para a produção animal.



Fonte: Nobre *et al.* (2016), Aragão *et al.* (2018) e Gatti *et al.* (2021).

Entretanto, o avanço das atividades antrópicas sobre a Amazônia vem comprometendo significativamente a integridade ecológica da floresta. O crescimento do desmatamento, associado à expansão agropecuária, exploração madeireira, mineração e queimadas, tem provocado fragmentação florestal, perda de biodiversidade e degradação dos serviços ecossistêmicos. De acordo com pesquisas, o aumento das áreas degradadas compromete a capacidade da floresta de regular o clima e reduz sua eficiência no armazenamento de carbono, agravando os efeitos das mudanças climáticas globais (Gatti *et al.*, 2021). Além disto, a redução da cobertura vegetal interfere diretamente no ciclo hidrológico, aumentando a ocorrência de secas prolongadas e desequilíbrios ambientais na Região Amazônica.

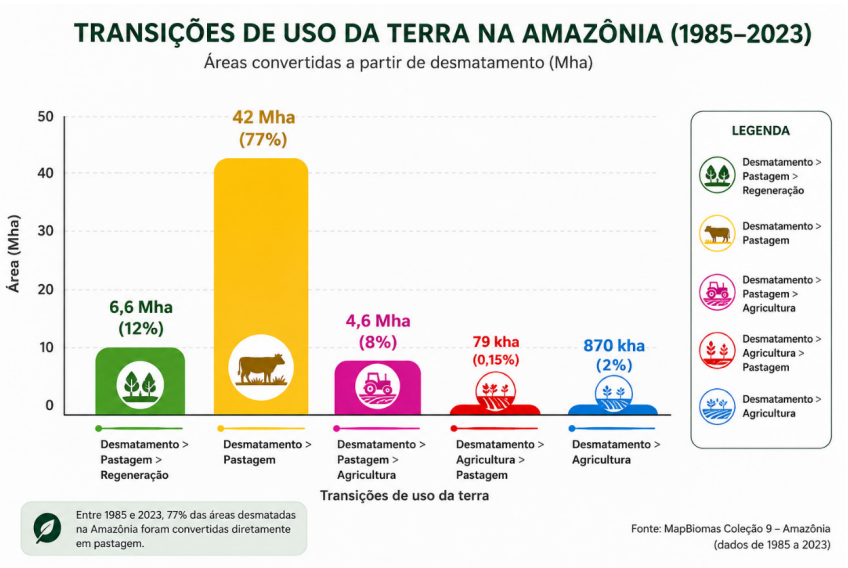
3. IMPACTOS AMBIENTAIS DA EXPANSÃO PECUÁRIA NA AMAZÔNIA

A pecuária bovina constitui uma das principais atividades econômicas desenvolvidas na Amazônia brasileira, desempenhando papel na geração de emprego, renda e abastecimento do mercado nacional e internacional de carne bovina. Nas últimas décadas, a expansão da atividade pecuária esteve diretamente associada ao processo de ocupação territorial da Região Amazônica, impulsionada, principalmente, pela abertura de novas áreas de pastagem, incentivos governamentais, melhoria da infraestrutura de trans-

porte e valorização do mercado agropecuário. Entretanto, apesar de sua importância econômica, a expansão da pecuária tem sido apontada como uma das principais responsáveis pelo avanço do desmatamento e pela degradação ambiental no bioma amazônico (Barona *et al.*, 2010).

Historicamente, o crescimento da pecuária na Amazônia ocorreu de forma extensiva, caracterizada pelo baixo nível tecnológico, reduzida produtividade e elevada demanda por novas áreas de pastagem. Este modelo de produção favoreceu a conversão de grandes áreas de floresta nativa em pastagens, contribuindo significativamente para a fragmentação dos ecossistemas e para a perda da biodiversidade regional. Aproximadamente 70% das áreas desmatadas na Amazônia brasileira são, atualmente, ocupadas por pastagens destinadas à criação bovina, evidenciando a forte relação entre pecuária e mudanças no uso da terra (MAPBIOMAS, 2024; Figura 2).

Figura 2 - Uso final das áreas desmatadas na Amazônia.



Fonte: MAPBIOMAS (2024)

Além da remoção da cobertura florestal, a expansão da pecuária provoca diversos impactos ambientais negativos sobre os ecossistemas amazônicos. Entre os principais efeitos destacam-se a redução da biodiversidade, a degradação dos solos, o aumento das emissões de gases de efeito estufa e as alterações no ciclo hidrológico regional. Ao mesmo tempo, práticas inadequadas de manejo das pastagens favorecem processos erosivos, compactação do solo e redução da fertilidade, dificultando a recuperação ambiental das áreas degradadas (Fearnside, 2020).

Outro impacto significativo refere-se às emissões de gases de efeito estufa associadas à atividade pecuária. A criação bovina contribui para a emissão de metano entérico, gás com elevado potencial de aquecimento global, além das emissões decorrentes das queimadas utilizadas na abertura e renovação de áreas de pastagem. Estudos indicam que o desmatamento associado à expansão agropecuária na Amazônia contribui significativamente para o aumento das emissões brasileiras de carbono, agravando os efeitos das mudanças climáticas globais (Pendrill *et al.*, 2019). Além disto, a redução da cobertura vegetal compromete a capacidade da Floresta Amazônica de atuar como sumidouro de carbono atmosférico.

As alterações provocadas pela expansão pecuária também afetam diretamente os recursos hídricos da Região Amazônica. A remoção da floresta interfere na infiltração da água no solo, reduz a evapotranspiração e altera os padrões regionais de precipitação. Em áreas onde ocorre intenso desmatamento, observa-se aumento da temperatura local, redução da umidade relativa do ar e maior ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e queimadas florestais. Estas mudanças comprometem não apenas os ecossistemas amazônicos, mas também atividades econômicas dependentes da estabilidade climática e hídrica, como agricultura, geração de energia e abastecimento urbano (Leite-Filho *et al.*, 2021).

Apesar dos impactos ambientais associados à pecuária extensiva, observa-se nos últimos anos crescente discussão sobre a necessidade de adoção de modelos produtivos mais sustentáveis para a Região Amazônica. A intensificação sustentável da produção pecuária surge como alternativa capaz de aumentar a produtividade sem a necessidade de abertura de novas áreas florestais. Sistemas integrados de produção, recuperação de pastagens degradadas e adoção de tecnologias sustentáveis têm sido apontados como estratégias fundamentais para reduzir os impactos ambientais da atividade e promover maior eficiência produtiva (Garrett *et al.*, 2018).

Além disto, iniciativas relacionadas à rastreabilidade da cadeia produtiva, certificações socioambientais e políticas de combate ao desmatamento vêm sendo implementadas com o objetivo de promover maior sustentabilidade na pecuária amazônica. Programas de monitoramento ambiental por satélite e acordos firmados entre empresas, produtores e organizações ambientais têm contribuído para ampliar o controle sobre áreas desmatadas ilegalmente e incentivar práticas produtivas ambientalmente responsáveis. Entretanto, desafios relacionados à fiscalização, regularização fundiária e acesso à assistência técnica ainda limitam a efetividade destas ações (Vale *et al.*, 2021).

Desta forma, a expansão da pecuária bovina na Amazônia representa um dos principais desafios para a conservação ambiental e para o desen-

volvimento sustentável da região. Embora a atividade seja economicamente relevante, torna-se indispensável promover modelos de produção que conciliem produtividade, conservação dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais.

Diante deste cenário, torna-se indispensável fortalecer estratégias voltadas à conservação da Amazônia e ao uso sustentável de seus recursos naturais. A adoção de práticas produtivas sustentáveis, aliada à implementação de políticas públicas ambientais e ao incentivo à bioeconomia, pode contribuir para reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável da região.

4. SISTEMAS PECUÁRIOS SUSTENTÁVEIS PARA A AMAZÔNIA

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pela expansão da agropecuária tem impulsionado a busca por sistemas produtivos mais sustentáveis, especialmente, na Amazônia brasileira. Neste contexto, a pecuária sustentável surge como uma alternativa capaz de conciliar produção animal, conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico.

Diferentemente do modelo convencional extensivo, caracterizado pelo uso inadequado dos recursos naturais e baixa eficiência produtiva, os sistemas de baixo impacto ambiental buscam aumentar a produtividade por área, reduzir a pressão sobre novos desmatamentos e promover maior equilíbrio ecológico nas propriedades rurais (Strassburg *et al.*, 2014).

A pecuária sustentável baseia-se, principalmente, no conceito de intensificação sustentável, que consiste em elevar a eficiência produtiva sem comprometer os recursos naturais e os serviços ecossistêmicos. Este modelo envolve a adoção de práticas de manejo que favorecem a recuperação ambiental, o aumento da produtividade das pastagens e a melhoria das condições de solo e vegetação. Entre as principais estratégias utilizadas destacam-se a recuperação de áreas degradadas, o manejo rotacionado de pastagens, a correção e adubação do solo, o uso de forrageiras adaptadas e a integração entre diferentes sistemas produtivos (Garrett *et al.*, 2017).

A recuperação de pastagens degradadas constitui uma das principais estratégias para a consolidação da pecuária sustentável na Amazônia. Grande parte das áreas de pastagem da região apresenta algum nível de degradação devido ao manejo inadequado, superpastejo e ausência de práticas conservacionistas. A recuperação destas áreas permite aumentar a produtividade animal sem necessidade de abertura de novas áreas florestais,

contribuindo diretamente para a redução do desmatamento. Além disto, pastagens bem manejadas apresentam maior capacidade de armazenamento de carbono no solo e melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis (Feltran-Barbieri e Féres, 2021). Aliada às práticas voltadas à recuperação das pastagens, a pecuária sustentável tem integrado sistemas produtivos mais complexos que visam conciliar eficiência produtiva, conservação dos recursos naturais e ampliação dos serviços ecossistêmicos.

Os sistemas integrados de produção têm ganhado destaque como importantes ferramentas para promover sustentabilidade na pecuária amazônica. Entre eles, a ILPF apresenta grande potencial para recuperação de áreas degradadas e redução dos impactos ambientais da produção animal. A ILPF caracteriza-se pela combinação de atividades agrícolas, pecuárias e florestais em uma mesma área, de forma simultânea, sucessiva ou rotacionada. Este modelo busca otimizar o uso dos recursos naturais e promover maior equilíbrio ecológico nos sistemas produtivos. Além disto, a presença de árvores nas áreas produtivas contribui para o sequestro de carbono, proteção do solo e melhoria do conforto térmico animal (Oliveira *et al.*, 2018).

Na Amazônia, a adoção da ILPF tem apresentado resultados positivos relacionados à recuperação da fertilidade do solo, aumento da produtividade das pastagens e redução da necessidade de abertura de novas áreas florestais. Também, a diversificação produtiva proporcionada pelo sistema contribui para maior estabilidade econômica das propriedades rurais, reduzindo riscos associados às oscilações climáticas e de mercado (Reis *et al.*, 2021).

Outro modelo discutido no contexto da sustentabilidade é o sistema silvipastoril, que consiste na integração de árvores, pastagens e animais em uma mesma unidade produtiva. A presença do componente arbóreo oferece diversos benefícios ambientais e produtivos, como melhoria do microclima, aumento da infiltração de água no solo e redução dos processos erosivos. O sombreamento promovido pelas árvores auxilia no conforto térmico dos animais, reduzindo o estresse causado pelas altas temperaturas e favorecendo melhores índices produtivos. Além disto, as árvores contribuem para o aumento da biodiversidade e para o sequestro de carbono atmosférico, desempenhando importante papel na mitigação das mudanças climáticas (Jose; Dollinger, 2019). Estudos recentes demonstram que sistemas silvipastoris apresentam maior eficiência ambiental quando comparados aos sistemas pecuários convencionais, especialmente em regiões tropicais (Murgueitio *et al.*, 2011).

Ademais, a diversificação de espécies vegetais e a presença constante de cobertura vegetal dos sistemas integrados promovem melhoria da

qualidade do solo, favorecendo o aumento da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a atividade biológica. Em sistemas convencionais de pecuária extensiva, é comum observar degradação física e química do solo devido ao manejo inadequado das pastagens. Em contrapartida, a ILPF e os sistemas silvipastoris promovem maior equilíbrio ecológico, contribuindo para a recuperação da fertilidade e aumento da capacidade produtiva das áreas manejadas (Reis *et al.*, 2021).

Outro aspecto importante relacionado à pecuária sustentável refere-se à mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A adoção de tecnologias sustentáveis, associada à melhoria da qualidade das pastagens e da alimentação animal, pode reduzir significativamente as emissões de metano entérico por unidade de produto. Sistemas mais eficientes permitem maior ganho de peso animal em menor tempo, reduzindo o período de permanência dos animais nas propriedades e diminuindo a intensidade das emissões de carbono da atividade pecuária (Latawiec *et al.*, 2014). As árvores presentes nos sistemas integrados atuam como importantes reservatórios de carbono, absorvendo dióxido de carbono da atmosfera e armazenando-o na biomassa vegetal e no solo. Além disto, a melhoria da eficiência produtiva reduz a necessidade de expansão da fronteira agrícola, diminuindo a pressão sobre áreas de floresta nativa. Estudos recentes indicam que sistemas integrados podem apresentar balanço positivo de carbono, tornando-se alternativas estratégicas para produção agropecuária de baixa emissão (Oliveira *et al.*, 2023).

Em conjunto, a recuperação de pastagens degradadas, a integração lavoura-pecuária-floresta, os sistemas silvipastoris e o manejo sustentável das pastagens constituem estratégias complementares para a consolidação de uma pecuária mais eficiente e ambientalmente responsável na Amazônia. Estes sistemas favorecem o aumento da produtividade, a conservação dos recursos naturais e a provisão de serviços ecossistêmicos (Figura 3).

Figura 3 - Principais estratégias de pecuária sustentável para a Amazônia.



Fonte: Strassburg et al. (2014), Oliveira et al. (2018), Jose e Dollinger (2019), Marchão et al. (2022), Lemes et al. (2021), Stabile et al. (2020).

Além dos benefícios ambientais, os sistemas pecuários sustentáveis também apresentam vantagens econômicas e sociais para os produtores rurais. A melhoria da produtividade das áreas de pastagem favorece maior rentabilidade da atividade, reduzindo custos relacionados à abertura de novas áreas e aumentando a eficiência produtiva. A diversificação produtiva proporcionada pelos sistemas integrados também contribui para maior estabilidade econômica das propriedades rurais, reduzindo riscos associados às oscilações de mercado e às condições climáticas adversas. Ademais, práticas sustentáveis têm ampliado o acesso dos produtores a mercados diferenciados e certificações ambientais, agregando valor à produção pecuária (Garrett *et al.*, 2017). Em regiões amazônicas, onde muitos produtores enfrentam limitações relacionadas à abertura de novas áreas, a intensificação sustentável promovida pelos sistemas integrados representa alternativa importante para ampliar a produção sem comprometer os recursos naturais (Marchão *et al.*, 2022).

Apesar dos benefícios ambientais, econômicos e sociais, a implementação destas práticas agropecuárias sustentáveis ainda enfrenta desafios importantes na Amazônia. Entre os principais obstáculos destacam-se os altos custos iniciais de implantação, a necessidade de assistência técnica especializada, dificuldades de acesso ao crédito rural e resistência cultural

à adoção de novas tecnologias. Além disto, muitos pequenos produtores ainda enfrentam limitações relacionadas à regularização fundiária e à infraestrutura de produção.

Desta forma, políticas públicas de incentivo, capacitação técnica e fortalecimento da extensão rural tornam-se importante para ampliar a adoção de sistemas de baixo impacto ambiental na Região Amazônica. Aliado a isto, a integração entre instituições de pesquisa, órgãos governamentais e produtores rurais será essencial para promover maior disseminação destas tecnologias e consolidar modelos produtivos capazes de aliar eficiência econômica e conservação ambiental.

5. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA PECUÁRIA SUSTENTÁVEL

A pecuária sustentável contribui para a conservação ambiental ao reduzir a necessidade de abertura de novas áreas de floresta para formação de pastagens. A intensificação sustentável da produção permite elevar a produtividade animal em áreas já consolidadas, promovendo melhor aproveitamento da terra e reduzindo a pressão sobre os ecossistemas amazônicos.

Estudos desenvolvidos demonstram que a recuperação de pastagens degradadas pode aumentar expressivamente a capacidade produtiva das propriedades rurais sem necessidade de expansão da fronteira agrícola (Dias-Filho, 2017). Desta forma, a melhoria do manejo das pastagens torna-se importante ferramenta para redução do desmatamento e preservação da biodiversidade amazônica.

Como citado no tópico anterior, a pecuária sustentável atua diretamente na mitigação das mudanças climáticas. Isto ocorre porque os sistemas integrados, especialmente, aqueles que incorporam o componente arbóreo, potencializam o estoque de carbono no solo e na vegetação.

Além disto, a adoção de práticas conservacionistas, como o manejo rotacionado de pastagens, integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas silvipastoris, contribui para o sequestro de carbono atmosférico e para a redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa. Pesquisas recentes indicam que sistemas pecuários de baixa emissão podem apresentar balanço positivo de carbono, tornando-se aliados importantes no combate ao aquecimento global (Garcia *et al.*, 2022).

A conservação dos recursos hídricos também representa importante benefício associado à adoção da pecuária sustentável. Em sistemas convencionais, o manejo inadequado das pastagens frequentemente favorece processos erosivos, compactação do solo e assoreamento de corpos d'água. Em contrapartida, práticas sustentáveis promovem maior cobertura vegetal

do solo, aumento da infiltração de água e redução do escoamento superficial. Além disto, a manutenção de áreas de preservação permanente e recuperação de matas ciliares contribuem para proteção de nascentes e melhoria da qualidade da água nas propriedades rurais (Silveira *et al.*, 2022).

A pecuária sustentável também favorece a conservação da biodiversidade nos ecossistemas amazônicos. Sistemas integrados de produção apresentam maior diversidade vegetal quando comparados às pastagens convencionais, criando ambientes mais favoráveis à permanência da fauna silvestre. A presença de árvores e corredores ecológicos nas propriedades rurais auxilia na conectividade entre fragmentos florestais, reduzindo os efeitos da fragmentação ambiental e contribuindo para manutenção dos processos ecológicos naturais (Lemes *et al.*, 2021).

Para além das vantagens ambientais, a pecuária sustentável gera também benefícios socioeconômicos. A otimização produtiva das pastagens eleva a rentabilidade por área e reduz custos operacionais com expansão de áreas e com futuras recuperações ambientais. Adicionalmente, a diversificação produtiva promovida pelos sistemas integrados confere maior estabilidade financeira às propriedades rurais, minimizando os riscos decorrentes de variações climáticas e de mercado. Além disto, produtores que adotam práticas sustentáveis tendem a obter maior valorização comercial de seus produtos, especialmente em mercados que exigem certificações ambientais e rastreabilidade da produção (Stabile *et al.*, 2020).

Somado a isto, destaca-se a crescente pressão internacional por cadeias produtivas ambientalmente responsáveis. Consumidores, empresas e organizações internacionais têm ampliado as exigências por produtos agropecuários associados à conservação ambiental e ao combate ao desmatamento. Neste cenário, a adoção da pecuária sustentável torna-se fundamental para garantir competitividade da produção brasileira no mercado externo. Iniciativas relacionadas à rastreabilidade da cadeia produtiva, certificações socioambientais e monitoramento do uso da terra têm contribuído para fortalecer práticas mais sustentáveis na pecuária amazônica (Garrett *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços observados, a consolidação da pecuária sustentável na Amazônia ainda enfrenta desafios significativos. Muitos produtores rurais apresentam dificuldades relacionadas ao acesso à assistência técnica, ao crédito rural e a tecnologias adequadas. Além disto, questões fundiárias, deficiência de infraestrutura e ausência de incentivos econômicos ainda limitam a adoção de práticas sustentáveis em larga escala. Pesquisadores da Embrapa Agrossilvipastoril ressaltam a necessidade de fortalecimento das políticas públicas voltadas à recuperação de pastagens degradadas e promoção da agricultura de baixa emissão de carbono (Balbino *et al.*, 2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Amazônia desempenha papel importante para a manutenção do equilíbrio ambiental global, fornecendo serviços ecossistêmicos relacionados à regulação climática, conservação da biodiversidade, proteção dos recursos hídricos e armazenamento de carbono.

Entretanto, a expansão da pecuária bovina extensiva contribuiu significativamente para o avanço do desmatamento e da degradação ambiental na região, reforçando a necessidade de adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis. Neste contexto, práticas como recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas silvipastoris demonstram potencial para conciliar aumento da produtividade com conservação dos recursos naturais.

Além dos benefícios ambientais, a pecuária sustentável apresenta importantes contribuições econômicas e sociais, favorecendo maior eficiência produtiva, diversificação da renda e fortalecimento do desenvolvimento regional. Contudo, a ampliação destes sistemas ainda depende de investimentos em assistência técnica, acesso ao crédito rural, capacitação profissional e fortalecimento das políticas públicas voltadas à sustentabilidade da agropecuária amazônica.

Assim, a integração entre pesquisa científica, setor produtivo e políticas ambientais será fundamental para consolidar modelos pecuários sustentáveis capazes de promover desenvolvimento econômico aliado à preservação dos ecossistemas amazônicos.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02771-y.

BALBINO, L. C. *et al.* **Sistemas integrados e agricultura de baixa emissão de carbono no Brasil**. Brasília-DF: Embrapa, 2021.

BARONA, E. *et al.* The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 2, 2010. DOI: 10.1088/1748-9326/5/2/024002.

DIAS-FILHO, M. B. **Recovery of degraded pastures in the Amazon: challenges and prospects**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2017.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. *et al.* Compositional response of Amazon

forests to climate change. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 39-56, 2019. DOI: 10.1111/gcb.14413.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2020. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, art. 201854, 2021. DOI: 10.1098/rsos.201854.

FERREIRA, A. Amazon deforestation: drivers, damages, and policies. **Land Use Policy**, v. 160, art. 107810, 2026. DOI: 10.1016/j.landusepol.2025.107810.

GARCIA, J. R. *et al.* Agricultura familiar de baixa emissão de carbono no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília-DF, v. 31, n. 4, p. 119-135, 2022.

GARRETT, R. D.; NILES, M. T.; GIL, J. D. B.; DY, P.; REIS, J.; VALIN, H. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136-146, 2017. DOI: 10.1016/j.agry.2017.05.003.

GARRETT, R. D. *et al.* Intensification in agriculture-forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233-243, 2018. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011.

GARRETT, R. D. *et al.* Reconciling sustainable development and commodity expansion in the Brazilian Amazon. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 57, 2022. DOI: 10.1016/j.cosust.2022.101220.

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, p. 388-393, 2021. DOI: 10.1038/s41586-021-03629-6.

HUBAU, W. *et al.* Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature**, v. 579, p. 80-87, 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2035-0.

JOSE, S.; DOLLINGER, J. L. Silvopasture: a sustainable livestock production system. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 1-9, 2019. DOI: 10.1007/s10457-019-00366-8.

LATAWIEC, A. E. *et al.* Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. **An-**

imal, v. 8, n. 8, p. 1.255-1.263, 2014. DOI: 10.1017/S1751731114001566.

LEITE-FILHO, A. T. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 12, 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-22840-7.

LEMES, A. P.; GARCIA, A. R.; PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in beef production systems. **Scientific Reports**, v. 11, art. 14.092, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-93609-7.

MAIA, A. G. *et al.* The economic impacts of the diffusion of agroforestry in Brazil. **Land Use Policy**, v. 111, 2021. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105489.

MALECHA, A.; MANES, S.; VALE, M. M. Climate change and biodiversity in Brazil: What we know, what we don't, and Paris Agreement's risk reduction potential. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 23, p. 77-84 2025. DOI: 10.1016/j.pecon.2025.03.004.

MAPBIOMAS. **Coleção 9 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomass, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 24 maio 2026.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Integrated crop-livestock-forest systems in Brazil: challenges for sustainable production. **Agronomy**, v. 12, n. 5, 2022.

MURGUEITIO, E. *et al.* Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1.654-1.663, 2011. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.09.027.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L. S.; CASTILLA-RUBIO, J. C.; SILVA, J. S.; CARDOSO, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016. DOI: 10.1073/pnas.1605516113.

OLIVEIRA, D. M. S.; TAVARES, R. L. M.; LOSS, A.; MADARI, B. E.; CERRI, C. E. P.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M. G.; CHERUBIN, M. R. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, e0220055, 2023. DOI: 10.36783/18069657rbcs20220055.

OLIVEIRA, J.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; ASSIS, P. C. R.; SILVEIRA, A. L. R.; LELES, L. M.; WRUCK, F. J.; MEDEIROS, J. C.; MACHADO, P. L. O. A. Integrated farming systems for improving

soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 105–116, 2018. DOI: 10.1007/s10113-017-1146-0.

PENDRILL, F. *et al.* Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. **Global Environmental Change**, v. 56, p. 1-10, 2019. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002.

PINHEIRO, C. P. S. *et al.* Agribusiness and environmental conservation in tropical forests in the eastern Amazon. **Sustainable Production and Consumption**, v. 34, p. 173-184, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.08.015.

RAJÃO, R. *et al.* The risk of fake controversies for Brazilian environmental conservation. **Biological Conservation**, v. 267, 2022. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109447.

REIS, J. C.; RODRIGUES, G. S.; BARROS, I.; RODRIGUES, R. A. R.; GARRETT, R. D.; VALIN, H.; TABOADA, M. A.; PELSTER, D. E.; BODDEY, R. M.; FERREIRA, L. G.; MARTINS, C. M.; MACHADO, L. A. Z. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, art. 124.580, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124580.

RODRIGUES, É. T.; MONTEIRO, A. M. V.; ESCADA, M. I. S. Assessing forest landscape disturbance and structural integrity through synthetic indices in the Brazilian Amazon. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 28, art. 101.009, 2025. DOI: 10.1016/j.indic.2025.101009.

SILVEIRA, J. G. *et al.* Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 5, art. 2.563, 2022. DOI: 10.3390/su14052563.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, 2014. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001.

STABILE, M. C. C.; GUEDES, C. A.; SILVA, D. S. *et al.* Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, art. 104.362, 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104362.

WALKER, W. S. *et al.* The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and pro-

tected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 6, p. 3015–3025, 2020. DOI: 10.1073/pnas.1913321117.

VALE, M. M. et al. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. **Biological Conservation**, v. 255, 2021. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.108994.

POTENCIAL DA INTENSIFICAÇÃO MODERADA NA MELHORIA DA PERFORMANCE AMBIENTAL DA PECUÁRIA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE MULTI-ESCALAS

DOI 10.29327/5904333.1-4

Darlina Caroline da C. Corrêa¹

René Pocard-Chapuis²

Philippe Lescoat³

1. INTRODUÇÃO

A pecuária ocupa um papel central na economia brasileira e, de forma ainda mais expressiva, na Amazônia Legal, região que apresentou a maior expansão pecuária nos últimos 40 anos, inicialmente pela abertura de novas áreas e depois pela intensificação gradual dos sistemas produtivos (FAOSTAT, 2023; Haddad *et al.*, 2024). Contudo, o modelo extensivo atuou como importante vetor de desmatamento, contribuindo para a fragmentação da paisagem, a perda de biodiversidade e a degradação dos solos (Feltran-Barbier; Féres, 2021; Gibbs *et al.*, 2015; Haddad *et al.*, 2024). Nesse contexto, o debate sobre intensificação produtiva e impactos ambientais torna-se ainda mais relevante na Amazônia, onde coexistem um dos maiores rebanhos do mundo e um dos mais importantes patrimônios ecológicos do planeta (Haddad *et al.*, 2024).

A intensificação moderada surge como estratégia para conciliar produtividade e conservação, especialmente diante da necessidade de aumentar a produção sem expandir a área agrícola (Barbero *et al.*, 2021). As práticas envolvem recuperação de pastagens degradadas, correção e fertilização dos solos, manejo do pasto e suplementação do rebanho, compondo um modelo produtivo ambientalmente orientado (Cardoso *et al.*, 2020; Stabile *et al.*, 2016). Na propriedade, esses manejos melhoram a qualidade da forragem, elevam o desempenho animal, reduzem emissões de metano

1 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Maranhão), São Luís, MA, Brasil

2 UMR SELMET, Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (CIRAD), Montpellier, França

3 UMR SADAPT, AgroParisTech, INRAE, Université Paris- Saclay, Palaiseau, França

(CH₄) entérico e aumentam o estoque de carbono (C) no solo (Cardoso *et al.*, 2016; Corrêa *et al.*, 2025; Soussana *et al.*, 2010). Na paisagem, a intensificação permite concentrar a produção em áreas de aptidão agrícola, permitindo a regeneração florestal nas áreas marginais e ampliando o fornecimento de serviços ecossistêmicos (Osis *et al.*, 2019; Pinillos *et al.*, 2020; Poccard-Chapuis *et al.*, 2025).

Contudo, a eficiência das práticas de intensificação depende de uma compreensão ampla dos sistemas produtivos, o que exige uma abordagem multiescala e multidisciplinar capaz de integrar processos biogeofísicos, econômicos e territoriais. Avaliações simultâneas nas escalas da pastagem, da fazenda e da paisagem permitem, por exemplo, entender como as práticas pecuárias afetam a fertilidade do solo, a qualidade da forragem, o balanço energético, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a produtividade da fazenda, além de revelar como a organização espacial das atividades molda os serviços ecossistêmicos. Apesar de seu potencial explicativo, essa abordagem ainda é pouco aplicada na Amazônia, embora essencial diante da heterogeneidade regional. Ao integrar diferentes níveis de análise, ela evidencia interações produtivas e ecológicas complexas e identifica caminhos viáveis para uma intensificação sustentável, subsidiando recomendações técnicas, políticas públicas, investimentos e ações de mitigação climática (Shahpari *et al.*, 2021).

O objetivo desse capítulo é analisar o potencial da intensificação moderada para melhorar a performance ambiental da pecuária na Amazônia brasileira, demonstrando como uma abordagem multiescala, envolvendo as escalas da pastagem, fazenda e paisagem, permite avaliar de forma mais precisa as relações entre práticas de manejo, produtividade, eficiência energética, emissões de GEE e serviços ecossistêmicos, contribuindo para reflexões mais robustas sobre caminhos de intensificação sustentável na região.

2. CONTEXTO DA EXPANSÃO DA PECUÁRIA NA AMAZÔNIA

A Amazônia brasileira constitui um dos maiores e mais diversos espaços ecológicos do planeta, o que reforça sua relevância ambiental e estratégica no debate sobre conservação e uso da terra (MCTI, 2021). A pecuária, por sua vez, possui longa e profunda trajetória na região. Desde o início da colonização na região, o gado foi utilizado como instrumento de ocupação territorial, processo intensificado a partir do final dos anos 1950 com a política estatal de “colonização pela pata do boi”, responsável por impulsionar ciclos de desmatamento, conflitos fundiários e transformações agrárias que moldaram a paisagem amazônica contemporânea (Droulers, 2001).

Após seis décadas de expansão, a Amazônia tornou-se o principal polo pecuário do país, sustentada por um sistema multifuncional, de baixos custos e historicamente associado à derrubada da floresta (Poccard-Chapuis *et al.*, 2015). O rebanho passou de 8,9 milhões de cabeças em 1974 para 104,3 milhões em 2022, equivalente a 44,5% do total nacional, consolidando a centralidade da atividade na região. A expansão ocorreu sobretudo por meio do modelo extensivo, principal responsável pelo avanço das fronteiras agrícolas: enquanto 85,7 milhões de hectares foram desmatados, 74,4 milhões foram convertidos em pastagens cultivadas, evidenciando a forte relação entre desmatamento e pecuária (FAOSTAT, 2023; Haddad *et al.*, 2024).

As práticas pecuárias extensivas resultaram na degradação dos solos, perda de fertilidade, erosão, compactação e esgotamento dos recursos naturais, frequentemente levando ao abandono das áreas e abertura de novas frentes de desmatamento, em um ciclo reiterado ao longo de décadas (Tourrand; Veiga, 2003). Entretanto, apesar de suas controvérsias, a pecuária amazônica apresenta potenciais importantes de transformação. Em diversas regiões têm surgido práticas de manejo mais eficientes, como pastejo rotacionado, fim do uso do fogo, introdução de sistemas integrados e processos de recuperação de áreas degradadas, sinalizando a possibilidade de transição para sistemas mais produtivos, resilientes e compatíveis com os princípios da sustentabilidade (Piketty *et al.*, 2015; Pinillos *et al.*, 2020).

3. INTENSIFICAÇÃO MODERADA E SUSTENTABILIDADE NA PECUÁRIA AMAZÔNICA

A intensificação moderada da pecuária na Amazônia representa uma estratégia central para tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis, pois aumenta a produtividade sem depender de grandes volumes de insumos ou tecnologias de alto custo. Seus efeitos positivos se manifestam de forma integrada nas escalas da pastagem, da fazenda e da paisagem, ao elevar a eficiência de uso dos recursos e reduzir impactos ambientais. Os ganhos agrônômicos e zootécnicos se traduzem em maior eficiência técnica e econômica: a produtividade por área cresce sem exigir elevação proporcional dos insumos, criando um balanço mais favorável entre investimento e retorno, inclusive para pequenos produtores.

Práticas como pastejo rotacionado, manutenção da fertilidade do solo, uso de gramíneas mais produtivas, controle do pastejo e suplementação estratégica melhoram a qualidade da forragem, aumentam a produção de biomassa vegetal e o estoque de C nas pastagens, bem como aumentam

o desempenho animal e reduzem as emissões de CH₄ entérico por unidade de produto (Cardoso *et al.*, 2016; Soussana *et al.*, 2010). Essas práticas relativamente simples e acessíveis também reforçam a eficiência das fazendas, diminuindo desperdícios, otimizando o uso dos recursos e ampliando a produção de forma consistente e ambientalmente equilibrada (Corrêa *et al.*, 2025; Osis *et al.*, 2019; Poccard-Chapuis *et al.*, 2015).

Além de ganhos produtivos e ambientais na fazenda, a intensificação moderada reorganiza o uso da terra na escala da paisagem (Corrêa *et al.*, 2025; Costa Júnior *et al.*, 2025; Poccard-Chapuis *et al.*, 2025; Torres *et al.*, 2023). Ao concentrar esforços produtivos em áreas de maior aptidão agrícola, como planaltos férteis, ou seja, solos com características adequadas de textura, relevo e profundidade e ao abandonar áreas de baixa aptidão, como grotas, encostas íngremes e várzeas inundáveis, favorece-se a regeneração natural da vegetação e a recomposição de conectividade ecológica (Pinillos *et al.*, 2020). Essa reorganização espacial, somada ao abandono do sistema de corte-queima, aumenta a provisão de serviços ecossistêmicos como estoque de C, regulação hídrica e conservação da biodiversidade, ao mesmo tempo em que reduz a pressão por abertura de novas áreas. O resultado é um mosaico territorial mais equilibrado, no qual áreas para grãos, pastagens manejadas e zonas em recomposição florestal se articulam de forma complementar, produzindo paisagens mais resilientes e ambientalmente estáveis (Poccard-Chapuis *et al.*, 2025).

4. ABORDAGEM MULTIESCALA NA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

A construção de sistemas pecuários mais sustentáveis na Amazônia depende de diagnósticos que consigam captar a elevada complexidade territorial da região e a diversidade de fatores biofísicos, econômicos e sociais que estruturam a produção. Entretanto, a maior parte das análises ainda se limita a uma única escala, seja da pastagem, da fazenda ou da paisagem, o que restringe a capacidade de compreender como esses diferentes níveis se articulam e moldam a produtividade, a eficiência e os impactos ambientais dos sistemas pecuários. Por isso, a adoção de uma abordagem multiescala torna-se essencial para interpretar o funcionamento dos sistemas de forma integrada.

Dentro desse marco analítico, a escala da pastagem exige estudos voltados à compreensão dos processos solo–planta–animal. Nessa escala, avaliações devem incluir análises de fertilidade do solo, disponibilidade e qualidade da forragem, dinâmica de crescimento da biomassa, práticas

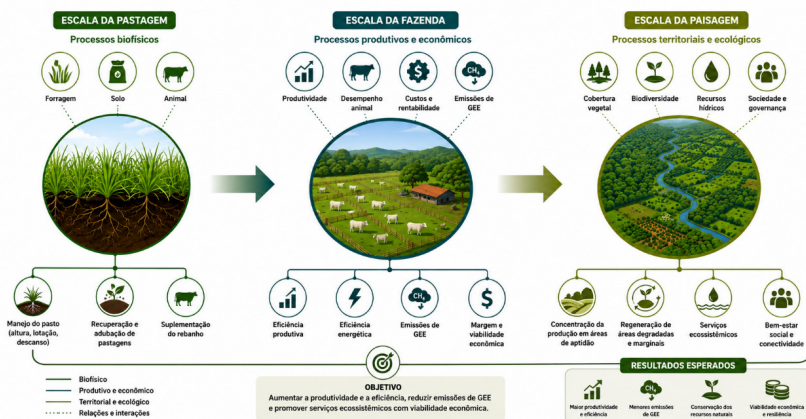
de manejo do pastejo, capacidade de suporte e respostas do sistema forrageiro ao manejo. Esses estudos são fundamentais para identificar gargalos produtivos, entender os mecanismos ecológicos que sustentam a oferta de forragem e explicar variações no desempenho animal, permitindo relacionar práticas de manejo e resultados biofísicos. Essas pesquisas fornecem a base ecológica que sustenta todo o sistema e permitem diagnósticos detalhados sobre a eficiência de processos fundamentais (Cardoso *et al.*, 2016; Soussana *et al.*, 2010).

Na escala da fazenda, os estudos devem integrar os resultados obtidos na pastagem e indicadores de produtividade e indicadores ambientais como balanço energético e emissões de GEE da propriedade. Essa escala permite compreender como decisões de manejo, estratégias de intensificação, capacidades de investimento e condições socioeconômicas moldam o funcionamento global do sistema produtivo. Além disso, análises energéticas e de emissões expressam a eficiência por unidade de produto — dada em GJ por tonelada produzida ou em tCO₂eq por tonelada — explicitando a existência de compromissos e também de sinergias entre produtividade, uso de energia e emissões de GEE, refletindo a lógica integrada de funcionamento da fazenda (Keating *et al.*, 2013; Vayssières *et al.*, 2011).

Por fim, na escala da paisagem, os estudos devem analisar como a distribuição espacial das atividades produtivas, segundo as aptidões do solo, influencia processos ecológicos mais amplos, como conectividade, fluxo de carbono, regulação hídrica e conservação da biodiversidade. Também é fundamental considerar o contexto social, a situação agrária das propriedades e sua trajetória técnica, permitindo compreender como decisões tomadas nas escalas da pastagem e da fazenda se acumulam e produzem efeitos ecológicos e socioeconômicos em maior escala. Esses estudos ajudam a explicar a formação de mosaicos produtivos, a heterogeneidade das paisagens e a coexistência entre produção pecuária e preservação de espaços florestais (Pinillos *et al.*, 2020; Poccard-Chapuis *et al.*, 2025).

Em conjunto, as três escalas fornecem um quadro analítico integrado que permite identificar mecanismos, interações e pontos de sinergia que seriam invisíveis em análises isoladas (Figura 1). A abordagem multiescala, portanto, não apenas melhora a compreensão do sistema pecuário amazônico, mas também permite orientar estratégias de intensificação moderada, formular intervenções territoriais e identificar caminhos mais robustos de transição para sistemas produtivos e ambientalmente sustentáveis.

Figura 1 - Representação conceitual da abordagem multiescala para avaliação da intensificação moderada da pecuária na Amazônia.



5. DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA INTENSIFICAÇÃO MODERADA NA AMAZÔNIA

A pecuária amazônica desempenhou papel decisivo no avanço do desmatamento, especialmente, nos fronts pioneiros, onde impulsionou a ocupação territorial por meio de um modelo extrativista baseado no uso do fogo, na derrubada da floresta e na degradação dos solos (Wood; Tourrand; Toni, 2015). Esse processo levou à remoção de mais de 85 milhões de hectares de vegetação nativa e à formação de ciclos recorrentes de esgotamento e abandono de pastagens, estimulando a abertura contínua de novas áreas (Souza *et al.*, 2020; Poccard-Chapuis *et al.*, 2021).

Mesmo que a pecuária ocupe posição central nos debates sobre mudança climática por estar historicamente associada ao desmatamento e às emissões de GEE, estudos mostram que, uma vez eliminado o desmatamento, os sistemas pecuários podem contribuir para a mitigação quando manejados de forma adequada e monitorados com indicadores consistentes (Corrêa *et al.*, 2025; Poccard-Chapuis *et al.*, 2021; Poccard-Chapuis *et al.*, 2025).

Nos últimos 20 anos na Amazônia, o avanço de práticas de intensificação e adoção de sistemas integrados de produção tem demonstrado potencial para romper esse ciclo, ao restaurar a fertilidade do solo, aumentar a produção de forragem e reduzir a pressão pela abertura de áreas, apontando caminhos concretos para a construção de sistemas mais produtivos e ambientalmente sustentáveis (Silva; Barreto, 2014; Valentim *et al.*, 2008).

Nesse contexto, além da necessidade de estudos multiescala e multidisciplinares, um desafio central é que as metodologias internacionais de

mensuração da performance dos sistemas de produção pecuária, frequentemente, desconsideram as especificidades da Amazônia, subestimando o papel do componente florestal, incluindo florestas primárias e secundárias, bem como o potencial das pastagens como sequestradoras de carbono, que podem compensar parte das emissões da pecuária. Essa lacuna metodológica distorce a avaliação do desempenho produtivo e ambiental das fazendas da região (Chazdon, 2008; Ferreira *et al.*, 2018). Diante disso, torna-se essencial desenvolver ferramentas de avaliação adaptadas às condições edafoclimáticas e produtivas amazônicas, capazes de representar de forma mais fiel os fluxos de carbono, a preservação florestal e as práticas de manejo, orientando estratégias mais coerentes de mitigação e de transição para sistemas pecuários sustentáveis.

Nesse cenário, o debate entre pecuária e agroecologia ganha relevância diante das crises alimentar, climática e energética, especialmente, nos países em desenvolvimento, onde a demanda por alimentos de origem animal tende a crescer. Enquanto modelos intensivos são criticados por seus impactos ambientais e distanciamento dos ciclos naturais, a agroecologia propõe práticas integradas capazes de conciliar produção, eficiência e preservação ambiental (Alexandre *et al.*, 2014). Assim, compreender como sistemas pecuários podem dialogar com princípios agroecológicos torna-se fundamental para construir modelos inovadores, baseados na valorização dos recursos locais e na redução dos impactos ambientais.

Retornando ao potencial das práticas associadas à intensificação moderada, elas podem reforçar processos ecológicos essenciais, restaurando ciclos biogeoquímicos, aumentando a infiltração de água e favorecendo a biodiversidade (Assis *et al.*, 2017). Além disso, reduzem a degradação dos solos e aumentam a resiliência dos agroecossistemas, contribuindo para alinhar a atividade pecuária aos princípios da agroecologia e da sustentabilidade (Costa Júnior *et al.*, 2025; Torres *et al.*, 2023). E na compreensão desses efeitos, a análise multiescala é central, pois permite avaliar como as práticas adotadas impactam os diferentes níveis do sistema pecuário, com destaque para a preservação e restauração florestal e na provisão de serviços ecossistêmicos.

Assim, a convergência entre agroecologia e pecuária não representa uma oposição, mas uma oportunidade: práticas bem conduzidas dentro da intensificação moderada mostram que a pecuária pode contribuir para soluções ambientais e sociais, fortalecendo a resiliência territorial e promovendo sistemas mais justos e sustentáveis (Garrett *et al.*, 2018; Vaz *et al.*, 2012).

Outro aspecto é a pecuária e a inclusão social, que emerge como componente essencial na transição para sistemas pecuários mais susten-

táveis na Amazônia, conectando-se diretamente às dimensões produtivas, ambiental, climática e agroecológica discutidas anteriormente. A adoção de práticas sustentáveis depende da capacidade dos produtores — especialmente, pequenos e médios — de acessar tecnologias compatíveis com suas condições de trabalho, recursos e conhecimentos, uma vez que muitas inovações orientadas à intensificação exigem investimentos elevados e competências técnicas que reforçam desigualdades históricas (Santos *et al.*, 2023). Nesse cenário, práticas de manejo simples, como o pastejo rotacionado e a condução adequada da pastagem, mostram-se decisivas por oferecerem ganhos produtivos e ambientais significativos com baixo custo, configurando tecnologias inclusivas capazes de reduzir a pobreza rural e ampliar a resiliência socioecológica das fazendas.

Para produtores com maior capacidade de investimento, sistemas integrados como sistemas silvipastoris (SSP), integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ampliam possibilidades de intensificação sustentável, permitindo trajetórias diversas dentro de um mesmo território. A inclusão social não é um elemento à parte, mas o elo que garante que a transição rumo à sustentabilidade, envolvendo mitigação climática, redução do desmatamento e incorporação de princípios agroecológicos ocorra de forma justa, viável e alinhada às múltiplas realidades da Amazônia.

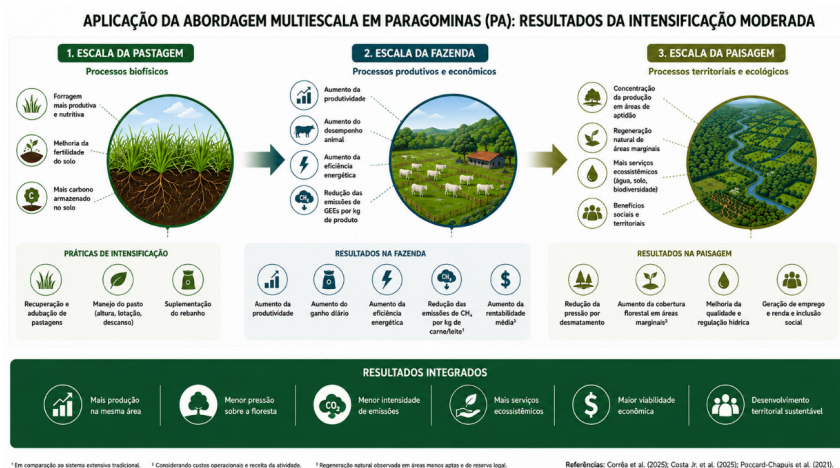
6. APLICAÇÃO DA ABORDAGEM MULTIESCALA EM PARAGOMINAS – PA

O município de Paragominas, no Pará, tornou-se um caso emblemático da trajetória agrária amazônica e da transição para modelos mais sustentáveis. Inserido nas políticas de colonização e cortado pela rodovia Belém–Brasília, o município, então, totalmente florestal, tornou-se símbolo da “colonização pela pata do boi” e conhecido como “capital do boi” devido à rápida expansão da pecuária (Deffontaines, 1957). A exploração intensiva do mogno impulsionou um segundo ciclo, transformando-o na “capital do desmatamento”, com cerca de 300 serrarias nos anos 1970 e 1980. O colapso madeireiro nos anos 1990 desencadeou crise e estimulou a reestruturação produtiva e institucional (Piketty *et al.*, 2015). Reformas agrárias, avanços agronômicos e a chegada da agricultura de grãos diversificaram a economia, permitindo ao município conquistar o título de “Município Verde”, hoje caracterizado por um mosaico de florestas, agricultura mecanizada e pastagens manejadas (Poccard-Chapuis *et al.*, 2025).

Nesse contexto agrário, foi conduzida uma pesquisa integrando as escalas da pastagem, fazenda e paisagem para avaliar a performance am-

biental da intensificação moderada da pecuária na Amazônia em fazendas reais (Corrêa, 2025). Na pastagem, medições de campo em quatro fazendas mostraram que práticas como pastejo rotacionado e fertilização aumentaram o acúmulo de biomassa, melhoraram a qualidade da forragem e reduziram a intensidade das emissões de CH₄ (emissões por ganho de peso vivo; Figura 2).

Figura 2 - Aplicação da abordagem multiescala em Paragominas (PA): efeitos da intensificação moderada da pecuária sobre a pastagem, a fazenda e a paisagem.



Na fazenda, foi utilizada uma calculadora adaptada à região para medir o balanço energético e as emissões de GEE, a análise de 33 propriedades com diferentes níveis de intensificação revelou que as fazendas amazônicas são duas vezes mais eficientes em energia que fazendas europeias. E, tendo em conta o estoque de carbono na área florestal e nas pastagens de mais de 20 anos, essas propriedades são neutras ou sumidouros de carbono. No entanto, os níveis de desmatamento nas últimas duas décadas ainda influenciam negativamente esse balanço.

Na paisagem, análises cartográficas e entrevistas em 11 propriedades mostraram que a intensificação moderada reorganiza o uso da terra, aumentando a eficiência da paisagem, preservando a floresta e regenerando áreas marginais, impactando em maior fornecimento de serviços ecossistêmicos. Esses resultados inéditos reforçam que a intensificação moderada, aliada a uma governança territorial robusta, permite aumentar a produtividade, reduzir emissões e favorecer a preservação, oferecendo evidências sólidas para orientar políticas públicas e o desenvolvimento sustentável da pecuária amazônica.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida nesse capítulo evidencia que a intensificação moderada representa uma via tecnicamente sólida e ambientalmente promissora para a melhoria da performance da pecuária na Amazônia, sobretudo quando examinada por meio de uma abordagem multiescala capaz de integrar processos biofísicos, produtivos, econômicos e territoriais. Os resultados apresentados demonstram que práticas relativamente simples, como o pastejo rotacionado, adubação e manejo rigoroso do pasto, podem gerar aumentos expressivos de produtividade, redução da intensidade das emissões de GEE e reorganização mais eficiente do uso da terra, criando condições favoráveis à conservação e ao fortalecimento dos serviços ecossistêmicos.

Além disso, a utilização de metodologias de análise de indicadores ambientais, como calculadoras adaptadas às especificidades regionais, permite revelar que tais fazendas amazônicas podem se aproximar de um balanço mais favorável entre emissões e remoções de GEE, especialmente em um cenário de desmatamento zero, no qual o manejo da pastagem, a manutenção das florestas e a regeneração natural tornam-se pilares centrais para a sustentabilidade produtiva e climática da região.

Nesse sentido, o estudo de caso de Paragominas ilustra de forma concreta como essas transformações podem ocorrer e se acumular ao longo das escalas da pastagem, da fazenda e da paisagem, compondo trajetórias produtivas mais sustentáveis e melhor alinhadas aos princípios da agroecologia e da mitigação climática.

Mesmo com avanços observados, permanece claro que a intensificação moderada não constitui apenas um conjunto de técnicas produtivas, mas um processo sistêmico que exige governança territorial, acesso a conhecimento, inclusão social e instrumentos de avaliação adaptados às especificidades amazônicas. Essa reflexão destaca a importância crescente de metodologias integradas, capazes de captar a diversidade ecológica e socioeconômica da região, bem como as interações entre manejo, organização espacial e regulação ambiental. Também reforça que a sustentabilidade da pecuária amazônica depende menos de soluções isoladas e mais da articulação entre ciência, políticas públicas, capacitação técnica e participação dos produtores.

Ainda existem lacunas importantes que demandam aprofundamento. A variabilidade edafoclimática da Amazônia exige mais pesquisas de longo prazo sobre respostas do solo, da vegetação e dos sistemas produtivos à intensificação moderada. É necessário avançar na mensuração fina das emissões e dos fluxos de carbono em diferentes tipos de pastagem e ar-

ranjos territoriais, assim como compreender melhor os fatores sociotécnicos que influenciam a adoção das práticas. Além disso, desafios persistem na construção de políticas de incentivo que conciliem eficiência produtiva, preservação ambiental e justiça social. Avançar nessas direções permitirá consolidar uma pecuária amazônica mais resiliente, competitiva e ambientalmente responsável.

8. REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, G.; FANCHONE, A.; OZIER-LAFONTAINE, H.; DIMAN, J. L. Livestock farming systems and agroecology in the tropics. In: OZIER-LAFONTAINE, H.; LESUEUR-JANNOYER, M. (Eds.). **Sustainable Agriculture Reviews 14: Agroecology and Global Change**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 83–115. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06016-3_4

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; SILVEIRA, A. L. R. D.; OLIVEIRA, J. D. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E. Biological soil properties in integrated crop–livestock–forest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, art. e0160209, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160209>

BARBERO, R. P.; RIBEIRO, A. C. D. C.; MOURA, A. M.; LONGHINI, V. Z.; MATTOS, T. F. D. A.; BARBERO, M. M. D. Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, art. e69609, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>

CARDOSO, A. D. S.; BARBERO, R. P.; ROMANZINI, E. P.; TEOBALDO, R. W.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. D. R.; RUGGIERI, A. C. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. **Sustainability**, v. 12, n. 16, art. 6656, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12166656>

CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J.; DE CARVALHO, I. D. N.; DE BARROS SOARES, L. H.; URQUIAGA, S.; BODEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86–96, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1458–1460, 2008. <https://doi.org/10.1126/science.1155365>

CORRÊA, D. C. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; BLANFORT, V.; BO-

CHU, J.-L.; LESCOAT, P. Impacts of cattle farming practices and associated livestock systems on energy balances and greenhouse gas emissions in the municipality of Paragominas - State of Pará - Amazonia. **Pastoralism**, v. 15, art. 14461, 2025. <https://doi.org/10.3389/past.2025.14461>

CORRÊA, D. C. C. **Performance environnementale de l'intensification modérée des systèmes d'élevage bovin en Amazonie**. 298 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – AgroParisTech, Paris, 2025.

COSTA JÚNIOR, C.; TEDESCHI, L. O.; GONZALEZ-QUINTERO, R.; ARANGO, J.; BURKART, S.; GROSJEAN, G.; BOISSEAU, A.; RAO, I. M. South America's pasture intensification can increase beef production, reduce emissions by 30% and mitigate warming from methane by 2050. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, art. 35734, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20394-y>

DEFFONTAINES, P. L'introduction du bétail en Amérique Latine. **Les Cahiers d'Outre-Mer**, v. 10, p. 5-22, 1957.

DROULERS, M. *Brésil: une géohistoire*. Paris: Presses Universitaires de France, 2001.

FAOSTAT. **World food and agriculture – statistical yearbook 2023**. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/5c272dc7-e1b8-486ab-323-6babb174eee0>. Acesso em: 15 out. 2024.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, art. 201854, 2021. <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>

FERREIRA, J.; LENNOX, G. D.; GARDNER, T. A.; THOMSON, J. R.; BERENGUER, E.; LEES, A. C.; MAC NALLY, R.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FERRAZ, S. F. B.; LOUZADA, J.; MOURA, N. G.; OLIVEIRA, V. H. F.; PARDINI, R.; SOLAR, R. R. C.; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 744-749, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0225-7>

GARRETT, R. D.; LAMBIN, E. F.; SIMS, K. R. E.; NASR, Z.; ROMAN, M. Intensification in agriculture–forest frontiers: land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233-243, 2018.

GIBBS, H. K.; MUNGER, J.; L'ROE, J.; BARRETO, P.; PEREIRA, R.; CHRISTIE, M.; WALKER, N. F. Did ranchers and slaughterhouses respond to zero-deforestation agreements in the Brazilian Amazon? **Conservation**

Letters, v. 9, n. 1, p. 32-42, 2015. <https://doi.org/10.1111/conl.12175>

HADDAD, E. A.; ARAÚJO, I. F.; FELTRAN-BARBIERI, R.; PEROBELLI, F. S.; ROCHA, A.; SASS, K. S.; NOBRE, C. A. Economic drivers of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. **Nature Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 1141-1148, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01387-7>

KEATING, B.; CARBERRY, P.; THOMAS, S.; CLARK, J. Eco-efficient agriculture and climate change: conceptual foundations and frameworks. In: **Eco-efficiency: from vision to reality**. Cali: CIAT, 2013. p. 19-28.

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021.

OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Spatial determinants and future land use scenarios of Paragominas municipality. **Journal of Land Use Science**, v. 14, p. 258-279, 2019. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1643422>

PIKETTY, M. G.; POCCARD-CHAPUIS, R.; DRIGO, I.; COUDEL, E.; PLASSIN, S.; LAURENT, F.; MICHAEL, V. Multi-level governance of land use changes in the Brazilian Amazon: lessons from Paragominas, state of Pará. **Forests**, v. 6, n. 5, p. 1516-1536, 2015. <https://doi.org/10.3390/f6051516>

PINILLOS, D.; BIANCHI, F. J.; POCCARD-CHAPUIS, R.; CORBEELS, M.; TITTONELL, P.; SCHULTE, R. P. Understanding landscape multifunctionality in a post-forest frontier. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, art. 206, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00206>

POCCARD-CHAPUIS, R.; CARVALHO, S. A.; BURLAMAQUI BENDAHAN, A.; NAVEGANTES-ALVES, L. D. F.; PLASSIN, S.; EL HUSNY, J. C. Des cendres de la forêt à l'économie verte: l'évolution agraire en Amazonie orientale traduit-elle un mouvement d'intensification écologique? **Fourrages**, v. 222, p. 125-133, 2015.

POCCARD-CHAPUIS, R.; PLASSIN, S.; OSIS, R.; PINILLOS, D.; PIMENTEL, G. M.; THALÊS, M. C.; LAURENT, F.; GOMES, M. R. O.; DARNET, L. A. F.; PEÇANHA, J. C.; PIKETTY, M.-G. Mapping land suitability to guide landscape restoration in the Amazon. **Land**, v. 10, n. 4, art. 368, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10040368>

POCCARD-CHAPUIS, R.; CORRÊA, D. C. C.; RIPARDO, J. V.; PEÇANHA, J. C. Accompagner la transition des systèmes d'élevage: une approche par l'aménagement du territoire en Amazonie brésilienne. In: ALINON, K.

et al. (Coords.). *Élevages et pâturages sous tension*. Versailles: Éditions Quæ, 2025. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4045-6>. p. 174-188.

SANTOS, P. da S.; NANTES, J. F. D.; LOURENÇO, J. F.; OLIVEIRA, T. M.; MARTINS, F. Cenários futuros para a produção de bovinos de corte no Brasil. **Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 19, n. 1, p. 148-168, 2023. <https://doi.org/10.26767/2351>

SHAHPARI, S.; ALLISON, J.; HARRISON, M. T.; STANLEY, R. An integrated economic, environmental and social approach to agricultural land-use planning. **Land**, v. 10, art. 364, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10040364>

SILVA, D.; BARRETO, P. **O aumento da produtividade e lucratividade da pecuária bovina na Amazônia**: o caso do Projeto Pecuária Verde em Paragominas. Belém: Imazon, 2014.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334-350, 2010. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990784>

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, art. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

STABILE, M. C. C.; SIMÕES, C. G.; AZEVEDO, A. A.; WOLDMAR, R. **Oportunidades da intensificação da bovinicultura de corte em Mato Grosso**. Brasília: IPAM, 2016.

TORRES, B.; ESPINOZA, Í.; TORRES, A.; HERRERA-FEIJOO, R.; LUNA, M.; GARCÍA, A. Livelihood Capitals and Opportunity Cost for Grazing Areas' Restoration: A Sustainable Intensification Strategy in the Ecuadorian Amazon. **Animals**, v. 13, art. 714, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13040714>

TOURRAND, J. F.; VEIGA, J. B. (Eds.). **Viabilidade de sistemas agropecuários na agricultura familiar da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003.

VALENTIM, J.; ANDRADE, C.; RESENDE, R.; ASSIS, G.; GODOY, R.; EUCLIDES, V.; SANTOS, P. Leguminosas cultivadas. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Eds.). **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

VAYSSIÈRES, J.; THEVENOT, A.; VIGNE, M.; CANO, M.; BROCC, A.; BELLINO, R. Evaluation des inefficiences zootechnique et environnementale pour intensifier écologiquement les systèmes d'élevage tropicaux. **Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux**, v. 64, n. 1-4, p. 73-79, 2011. <https://doi.org/10.19182/remvt.10117>

VAZ, V.; ABREU DE CARVALHO, S.; BARBOSA, T.; THALES, M. C.; MOURÃO, M.; CIADELLA, N.; SILVA, J. A pecuária na agenda ambiental da Amazônia brasileira: percepções e representações dos atores locais. In: ALMEIDA, J.; GERHARDT, C.; MAGALHÃES, S. B. (Orgs.). **Contextos rurais e agenda ambiental no Brasil: práticas, políticas, conflitos, interpretações**. Belém: Rede de Estudos Rurais, 2012. p. 65-90.

WOOD, C. H.; TOURRAND, J. F.; TONI, F. **Pecuária, uso da terra e desmatamento na Amazônia: um estudo comparativo do Brasil, do Equador e do Peru**. Brasília: UNB, 2015.

PARTE III
QUALIDADE DOS PRODUTOS
DE ORIGEM ANIMAL

A QUALIDADE DO LEITE DE BÚFALA NO MARAJÓ: INTERAÇÃO ENTRE AMBIENTE, MANEJO TRADICIONAL E IDENTIDADE PRODUTIVA

DOI 10.29327/5904333.1-5

Allana Laís Alves Lima¹

Caroline Emanuelle do Amaral Santa Rosa de Oliveira²

Aluizio Raimundo Bastos de Oliveira Junior²

Isadora Gabriele da Silva Matos²

1. INTRODUÇÃO

A bubalinocultura possui papel estratégico na produção de alimentos em regiões tropicais e subtropicais, destacando-se pela alta eficiência produtiva destes animais e pela qualidade de seus derivados. Neste contexto, o leite de búfala tem conquistado crescente valorização comercial por algumas de suas características sensoriais e nutricionais, além do rendimento superior na fabricação de queijos, iogurtes e manteigas (Abdel-Hamil *et al.*, 2023).

No Brasil, sua maior produção encontra-se no estado do Pará, o qual detém cerca de 72% do rebanho nacional. Com destaque para o Arquipélago do Marajó, região que concentra maior parte destes animais e possui condições ambientais singulares que favorecem a produção leiteira; sua produção mensal chega a mais de 4.100 toneladas de leite (Rentero, 2024). Este cenário produtivo está intimamente associado ao modo de vida das populações locais, que utilizam o búfalo não apenas como fonte de leite, mas também como animal de tração e suporte socioeconômico.

A qualidade do leite é resultado da interação entre fatores fisiológicos, ambientais, nutricionais e sanitários. No caso das búfalas do Marajó, elementos como clima amazônico, alagamentos sazonais, tipo de pastagem disponível, manejo extensivo e convivência intensa entre vacas e bezerros podem exercer influência significativa sobre a composição do leite e

¹Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agropecuária, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Castanhal, Pará, Brasil.

seu microbioma, conforme observado em estudos recentes (Salman *et al.*, 2023). Estes aspectos tornam fundamental compreender os fatores que determinam a qualidade microbiana do leite bubalino nesta região.

Sendo assim, compreender os fatores que influenciam a qualidade do leite é essencial não apenas para o desenvolvimento produtivo, mas também para fortalecer cadeias agroindustriais tradicionais, como a produção de queijos artesanais e derivados de alto valor comercial (Silva e Lima, 2020).

Do ponto de vista nutricional, o leite de búfala possui características ímpares, como maior teor de sólidos totais, proteínas e gordura, o que resulta em melhor rendimento industrial. Entretanto, a ausência de uma regulamentação federal específica para leite bubalino faz com que muitos processos produtivos utilizem como referência normas destinadas ao leite bovino, o que não contempla plenamente as particularidades da espécie. Isto reforça a necessidade de estudos que fundamentem políticas públicas, padrões de qualidade e recomendações técnicas adequadas à realidade bubalina.

O Arquipélago de Ilhas do Marajó apresenta particularidades ambientais que influenciam diretamente neste sistema de produção, tendo como exemplos as variações climáticas, sazonalidade de pastagens e manejo extensivo, os quais podem afetar a composição físico-química do leite, a contagem de células somáticas (CCS), o perfil microbiológico e a saúde da glândula mamária. Além dos aspectos produtivos, o estudo microbiológico do leite emergiu como um componente essencial da qualidade. Ele reflete tanto condições sanitárias quanto práticas de manejo, podendo servir como marcador biológico de saúde do úbere, de bem-estar animal e de segurança alimentar.

Portanto, explorar a qualidade do leite de búfala na Ilha do Marajó justifica-se não apenas pelo potencial produtivo da espécie, mas também pela necessidade de aprimorar práticas de manejo, garantir segurança dos alimentos, valorizar produtos regionais e compreender interações microbiológicas fundamentais para a saúde e sustentabilidade do sistema.

Assim, este capítulo visa apresentar uma síntese atualizada e integrada sobre a qualidade do leite de búfala produzido na Ilha do Marajó, agregando conhecimento técnico, científico e contextual.

2. ASPECTOS PRODUTIVOS, SANITÁRIOS E AMBIENTAIS DA BUBALINOCULTURA LEITEIRA NO MARAJÓ

A bubalinocultura leiteira no Arquipélago do Marajó possui características singulares, marcadas pelas condições ambientais amazônicas e pelo manejo tradicional adotado nas propriedades rurais. A atividade é

majoritariamente conduzida por pequenos produtores, para os quais o leite representa a principal fonte de renda. Ainda assim, a produção ocorre de forma sazonal, uma vez que grande parte das propriedades consegue ofertar leite apenas em determinados períodos do ano, devido à forte dependência das pastagens naturais e das variações climáticas características da região (Figura 1). Este contexto limita a regularidade da produção, mas demonstra a importância socioeconômica da cadeia, capaz de sustentar famílias, agregar valor por meio da fabricação artesanal e fortalecer produtos de identidade territorial, como o Queijo do Marajó (Silva e Lima, 2020).

Do ponto de vista produtivo, o rebanho bubalino do arquipélago, historicamente, apresentou baixo grau de seleção genética. Entretanto, nos últimos anos, a adoção de biotecnologias reprodutivas e programas estruturados, como o Promebull Marajó, tem impulsionado a produtividade do rebanho (PARÁ, 2020). Mesmo assim, o sistema de ordenha permanece essencialmente manual, refletindo tanto a rusticidade da produção quanto a limitada infraestrutura da maioria das propriedades.

Figura 1 - Aspectos produtivos, sanitários e ambientais da bubalinocultura leiteira no Marajó.



Os aspectos sanitários são fatores que influenciam a qualidade do leite. A contagem de células somáticas (CCS) é um importante indicador de saúde da glândula mamária que, em búfalas, tende a ser naturalmente baixa. Fatores como idade, estresse térmico e manejo influenciam diretamente este parâmetro. As búfalas demonstram menor predisposição a infecções intramamárias, o que tem sido relacionado tanto à anatomia do canal do teto, que é mais estreito, sendo consequentemente mais eficiente na

barreira contra patógenos, quanto a características intrínsecas do leite, que apresentam níveis superiores de lactoferrina e lactoperoxidase, componentes naturais de defesa capazes de inibir o crescimento bacteriano (Becskei *et al.*, 2020).

Já sob a perspectiva ambiental, o sistema de produção caracteriza-se pela interação entre os animais, pastagens nativas e ambientes alagáveis. Esta dinâmica influencia diretamente não apenas a saúde e a produção, mas também a composição microbiana do leite. O solo, frequentemente ingerido durante o pastejo, atua como reservatório microbiano e pode contribuir para a modulação dos componentes microbianos ruminais e, indiretamente, do leite (Noronha *et al.*, 2023).

3. MANEJO, ORDENHA E PROCESSAMENTO DO LEITE DE BÚFALA

Nas propriedades marajoaras, a ordenha é realizada, em sua maioria, de forma manual, o que molda todo o processo produtivo, desde o manejo do rebanho até a obtenção dos derivados. A rotina de ordenha segue um modelo tradicional: o bezerro é aproximado da mãe para estimular a ejeção do leite e, após alguns segundos, é retirado para permitir o procedimento manual. Esta interação búfala-bezerro faz parte da cultura local e influencia diretamente o volume ordenhado e a composição microbiana do leite (Figura 2).

No que diz respeito à caracterização físico-química, os métodos utilizados seguem protocolos padronizados e acessíveis à realidade da região. Os sólidos solúveis totais são avaliados por refratometria; a acidez titulável é determinada em graus Dornic; a densidade utiliza o picnômetro; o pH é medido por pHmetro eletrométrico; e a condutividade elétrica é aferida por condutivímetro digital (Brasil, 2018). Estes parâmetros auxiliam na identificação de possíveis alterações na composição do leite e na detecção de distúrbios da glândula mamária.

A fabricação do Queijo do Marajó, principal derivado regional, segue processos artesanais tradicionais. A coagulação ocorre de forma espontânea, sem adição de culturas lácticas, e a massa coalhada é lavada e, posteriormente, submetida a dois tratamentos térmicos: aquecimento em torno de 55 °C durante a lavagem e cozimento a cerca de 80 °C na etapa de fusão (ADEPARÁ, 2013). Sendo assim, a adoção de boas práticas, como limpeza do úbere com água corrente, uso de pré e pós-*dipping* e utensílios sanitizados de forma correta pode reduzir de forma significativa a presença de microrganismos deteriorantes e patogênicos no produto.

Figura 2 - Fluxo do manejo, ordenha e processamento artesanal do leite de búfala no Marajó.



4. DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A CADEIA PRODUTIVA BUBALINA

A produção de leite de búfala na Ilha do Marajó enfrenta desafios que combinam limitações tecnológicas, condições ambientais extremas e aspectos estruturais históricos. O primeiro grande entrave é a infraestrutura das propriedades: muitas não possuem energia elétrica, o que impede o resfriamento imediato do leite e compromete sua estabilidade microbiológica. Além disto, as práticas de ordenha nem sempre seguem padrões de higienização adequados, e a predominância da ordenha manual reforça a necessidade de cuidados mais rigorosos com limpeza de mãos, utensílios e do úbere. A sazonalidade das pastagens também limita a produtividade: durante o período seco, a escassez de forragem reduz o volume de leite e afeta a qualidade nutricional e sanitária do rebanho.

Outra dificuldade está relacionada à padronização do Queijo do Marajó. A produção ainda é amplamente artesanal e carece de uniformidade entre propriedades e queijarias, dificultando a expansão comercial para mercados mais exigentes. Embora a Portaria n.º 418/2013 da ADEPARÁ e o Selo Arte tenham avançado na criação de normas e na valorização do produto, muitos estabelecimentos ainda encontram barreiras para adequação plena a boas práticas de fabricação e critérios sanitários. A ausência de certificações mais amplas, como SIE ou SIF, limita o acesso ao mercado nacional, restringindo o potencial econômico da região.

Do ponto de vista sanitário, a saúde da glândula mamária das búfalas e o risco de disseminação de bactérias resistentes representam pontos

críticos. Embora as búfalas apresentem mecanismos naturais de defesa, o manejo extensivo, o contato constante com bezerros e a exposição ao ambiente alagadiço favorecem a circulação de microrganismos.

Apesar dos obstáculos, há soluções e inovações em curso. A adoção de boas práticas de higiene durante a ordenha, como a limpeza adequada do úbere e o uso de pré e pós-*dipping*, pode reduzir significativamente a contaminação bacteriana. A introdução de tanques comunitários de resfriamento é uma alternativa valiosa para mitigar os efeitos da falta de energia elétrica nas propriedades individuais.

Diante dos desafios estruturais e sanitários, algumas iniciativas já implementadas na região apontam caminhos promissores para elevar a qualidade do leite e dos derivados. No âmbito normativo, a Portaria n.º 418/2013 da ADEPARÁ estabeleceu o Regulamento Técnico de Produção do Queijo do Marajó, definindo padrões de Boas Práticas Agropecuárias, Boas Práticas de Fabricação e controles essenciais para a produção artesanal. A regulamentação tem sido complementada pela adesão ao Selo Arte, concedido pela Lei Federal n.º 13.680/2018, que permite a comercialização interestadual de produtos artesanais que atendam às boas práticas produtivas. Algumas queijarias marajoaras já conquistaram esta certificação, evidenciando o potencial de profissionalização da cadeia. Além disto, a adoção de ferramentas de gestão da qualidade, como o sistema APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), é recomendada para garantir maior segurança sanitária, padronizar etapas da fabricação e fortalecer a confiabilidade dos produtos regionais.

Estas medidas, quando integradas ao manejo tradicional e à valorização cultural do território, representam avanços importantes para consolidar a qualidade e a competitividade da produção bubalina do Marajó.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade do leite de búfala produzido no Arquipélago do Marajó reflete a interação entre o ambiente amazônico, o manejo tradicional e a importância social da bubalinocultura para as comunidades. Embora o leite possua características nutricionais e tecnológicas superiores, sua excelência depende diretamente de práticas adequadas de produção, higiene e processamento, além de investimentos em infraestrutura e capacitação técnica. Ao mesmo tempo, o avanço das regulamentações, a adoção de certificações e o fortalecimento de boas práticas demonstram que a região possui grande potencial para consolidar produtos de alto valor agregado, como o Queijo do Marajó, em mercados mais amplos. Assim, a combinação entre

conhecimento técnico, valorização cultural e melhorias estruturais aponta para um cenário promissor, no qual tradição e inovação se juntam para garantir a segurança, a identidade e a sustentabilidade da produção bubalina marajoara.

6. REFERÊNCIAS

ABDEL-HAMID, A. *et al.* Buffalo milk: nutritional composition, bioactive properties, and advances in processing technologies—a comprehensive review. *Food chemistry*, v. 106, n. 4, p. 2.331-2.345, 2023. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00163.x.

ADEPARÁ. Portaria n.º 418/2013: aprova o Regulamento Técnico de Produção do Queijo do Marajó. Belém: Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará, 2013.

BECSKEI, Z. *et al.* Assessment of water buffalo Milk and traditional Milk products in a sustainable production system. *Sustainability*, v. 12, n. 16, p. 6.616, 2020. DOI: 10.3390/su12166616.

BRASIL. Lei n.º 13.680, de 14 de junho de 2018: dispõe sobre a comercialização interestadual de produtos alimentícios artesanais. Brasília-DF: Presidência da República, 2018.

NORONHA, G. N.; HESS, M. K.; DODDS, K. G.; SILVA, A. G. M. *et al.* Characterization of the Ruminal Microbiome of Water Buffaloes (*Bubalus bubalis*) Kept in Different Ecosystems in the Eastern Amazon. *Animals*, v. 13, n. 24, p. 3.858, 2023. DOI: 10.3390/ani13243858.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE COMUNICAÇÃO. Programa de inovação tecnológica vai desenvolver a pecuária leiteira do Pará. Belém: Governo do Estado do Pará, 2018.

RENTERO, N. Leite de búfala: crescimento, produção e consumo atraem criadores. In: EMBRAPA GADO DE LEITE. Anuário Leite 2024: *avaliação genética multirracial*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2024.

SALMAN, C. *et al.* Exploring the Milk Microbiota of Healthy and Mastitic Nili Ravi Buffalo Using 16S rRNA Gene Base Metagenomic Analysis. *Animals*, v. 13, p. 1.142-1.156, 2023. DOI: 10.3390/ani13142298.

SILVA, A. L. G.; LIMA, M. C. Produção leiteira bubalina na Amazônia: perspectivas e desafios. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 10, n. 2, p. 45-52, 2020.

ASPECTOS GERAIS DA QUALIDADE DA CARNE DE BOVINOS PRODUZIDA NO PARÁ

DOI 10.29327/5904333.1-6

Andréa Viana da Cruz¹
Jenifer Maira Lima Ramos²
Sandra Cristina de Ávila³
Suzana Silva e Silva⁴
Thiago Carvalho da Silva⁵

1. INTRODUÇÃO

As atividades da pecuária de corte no Brasil têm grande relevância econômica e social e, nas últimas quatro décadas, o rebanho nacional cresceu substancialmente, expandindo-se para novas fronteiras produtivas, sobretudo, para a região Norte (Freire *et al.*, 2021). Atualmente, o país detém o maior rebanho comercial do mundo e ocupa a posição de segundo maior produtor e exportador global de carne bovina (Carvalho; Zen, 2017). Neste cenário, o Estado do Pará se destaca como o segundo maior rebanho bovino do Brasil, com 25.040.621 cabeças distribuídas em todos os municípios paraenses. Dentre os maiores produtores de rebanho bovino do país, destacam-se os municípios de São Félix do Xingu (2.452.095), Marabá (1.305.000) e Novo Repartimento (1.275.779) (IBGE, 2023). Esta representatividade coloca o Pará em posição de destaque diante do mercado nacional e internacional.

A pecuária no estado possui raízes históricas que remontam ao século XVII (Dias-Filho; Lopes, 2020), e se desenvolveu predominantemente sob sistemas de pastejo extensivo de pastagens nativas e/ou cultivadas, como as pastagens nativas do Marajó, Baixo e Médio Amazonas e as pastagens cultivadas utilizando forrageiras de melhor valor nutricional (Rodrigues *et al.*, 2023). Além disto, a alta demanda por carnes estimulou a adoção de sistemas intensivos, como o confinamento, que contribuem para otimizar o uso das áreas de pastagem, elevando a eficiência produtiva, resultando na melhoria da qualidade das carcaças bovinas (Gomes; Feijó; Chiari, 2017; Santos *et al.*, 2017).

1 Professora na Universidade da Amazônia no Curso de Medicina Veterinária do Campus de Bragança – Pará

2 Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa – UFV

3 Instituto de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Pará, Castanhal, Pará, Brasil.

4 Graduanda no curso de medicina veterinária-Unama

5 Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Norte do Tocantins, Araguaína, Tocantins, Brasil.

Diante do papel de destaque da bovinocultura de corte paraense, torna-se essencial discutir os aspectos relacionados à qualidade da carne em relação às características tecnológicas, sensoriais e os impactos dos diferentes sistemas de produção. Embora ainda exista uma lacuna de conhecimento específico sobre a carne produzida na região, há trabalhos que podem contribuir para avançar nesta temática. A compreensão destes fatores é fundamental para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis, capazes de conciliar eficiência econômica, responsabilidade ambiental e atendimento às demandas dos consumidores por carne de alta qualidade.

2. CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DA CARNE BOVINA PRODUZIDA NO PARÁ

O conceito de qualidade da carne é amplo e envolve atributos percebidos como desejáveis pelos consumidores, especialmente aqueles relacionados a características visuais e sensoriais como cor, textura, maciez, além da quantidade e distribuição de gordura (Liu *et al.*, 2022). Do ponto de vista produtivo, as propriedades comerciais da carne constituem a base para a remuneração dos pecuaristas, sendo, portanto, de particular interesse para o setor (Clinkuart *et al.*, 2022). Já os atributos sensoriais, determinantes para a aceitação do produto, sofrem influência de múltiplos fatores tecnológicos *ante-mortem*: alimentação, manejo, peso e idade ao abate e transporte dos animais; e *post-mortem*: condições de abate, embalagem e cozimento, resultando em uma elevada variabilidade (Modzelewska-Kapituła e Nogalski, 2014).

Neste contexto, a análise sensorial por meio de painéis de provadores se destaca como ferramenta essencial para avaliar atributos-chave que direcionam a aceitação do consumidor, como cor e sabor, bem como aspectos de textura, especialmente maciez e suculência. Este tipo de avaliação integra de forma mais completa a percepção humana, refletindo diretamente na satisfação, na demanda e na intenção de recompra de carne bovina (Banović *et al.*, 2009).

3. CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DA CARNE BOVINA PRODUZIDA NO PARÁ

3.1. Cor

A cor é considerada a característica mais importante no momento da compra, por ser um atributo visual imediato ao consumidor e refletir

tanto o estado químico quanto o teor de mioglobina presente no músculo (McKenna *et al.*, 2005). Em estudo conduzido no município de Redenção-PA, Correa *et al.* (2020) avaliaram, por meio de painel de provadores, as características sensoriais de carnes bovinas *in natura*, resfriadas e maturadas. Os resultados mostraram que 60% dos avaliadores classificaram a carne maturada como de coloração vermelho púrpura, enquanto 57,15% consideraram a carne *in natura* como vermelho brilhante. Ressalta-se que o processo de maturação da carne pode levar ao escurecimento do produto, o que frequentemente é associado, de forma equivocada, à carne proveniente de animais mais velhos, gerando rejeição por parte do consumidor no ato da compra. Este aspecto foi corroborado por Kuss *et al.* (2010), que observaram que consumidores tendem a associar cores mais claras a carne de animais mais jovens e recém-abatidos.

Adicionalmente, o sistema de produção influencia diretamente a percepção da cor da carne. Animais criados em pastagens, geralmente abatidos em idades mais avançadas, apresentam carne com coloração mais escura em comparação com bovinos terminados em sistemas intensivos alimentados com grãos (Lanari *et al.*, 2002). Estas diferenças refletem a composição das fibras musculares, a atividade física e a idade dos animais, reforçando a complexa relação entre dieta, exercício, idade e sistema de produção na determinação da qualidade da carne.

3.2. Aroma e Sabor

O aroma da carne é uma combinação complexa de odor, sabor e pH, determinados por fatores pré e pós abate. O sabor característico da carne cozida se desenvolve a partir da interação de precursores provenientes da gordura e da carne magra, principalmente por meio de produtos da reação de Maillard entre carboidratos e proteínas, como pirazinas e tiazóis, bem como compostos provenientes da degradação lipídica de aldeídos, álcoois e cetonas, que são os determinantes do sabor (Mottram, 1989; Mottram; Salter, 1994). Além destes compostos voláteis formados durante o cozimento, outros são liberados na mastigação ou deglutição da carne, contribuindo para o perfil aromático final. A percepção destes compostos, no entanto, depende da sensibilidade individual, da quantidade e do tipo de receptores olfativos, além da concentração dos compostos (Flores, 2017). No estudo realizado por Correa *et al.* (2020), a carne maturada, com sabor mais intenso, apresentou maior aceitação pelos provadores em comparação à carne *in natura*. Este resultado reforça a importância de processos como a maturação para atender ao paladar dos consumidores paraenses, cada vez mais atentos à qualidade sensorial da carne.

3.3. Textura

Segundo Roça (2000), os principais parâmetros relacionados à textura da carne são a maciez, suculência e mastigabilidade. A suculência, em particular, está associada à sensação de umidade percebida nos primeiros movimentos de mastigação, influenciada pela liberação de líquidos e pelo teor de gordura (intermuscular e intramuscular), que estimulam a salivação. Além disto, tanto o período de maturação da carne (entre 0 °C durante 14 a 21 dias) quanto a temperatura de cocção impactam de forma decisiva este atributo (Roça, 2000).

Considerando outros fatores que podem influenciar a qualidade final da carne, Ramos *et al.* (2024) avaliaram estratégias nutricionais ajustadas às condições sazonais em bovinos Nelore mantidos a pasto na Amazônia Oriental. Foram testadas diferentes combinações de suplementação mineral e concentrada aplicadas nas estações seca e chuvosa: mineral em ambas as estações (MS/MS), mineral na seca e concentrada na chuva (MS/CS), concentrada na seca e mineral na chuva (CS/MS) e concentrada em ambas as estações (CS/CS). A suplementação CS/CS resultou em maior peso de carcaça e melhor rentabilidade, sem afetar significativamente atributos como maciez, coloração ou composição química da carne, indicando que a qualidade sensorial se mantém estável independentemente da estratégia adotada. As principais características sensoriais da carne bovina produzida no Pará estão compiladas na Figura 1, que apresenta, de forma esquemática, os atributos relacionados à cor, aroma, sabor e textura, bem como os principais fatores que influenciam a percepção da qualidade pelo consumidor.

Figura 1 - Fatores associados às características sensoriais da carne bovina produzida no Pará.



4. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DA CARNE BOVINA PRODUZIDA NO PARÁ

4.1. Minerais

A composição mineral da carne bovina é um aspecto de elevada importância para a qualidade tecnológica e sensorial do produto, uma vez que os minerais estão diretamente envolvidos em processos fisiológicos vitais, como transporte de oxigênio, atividade enzimática antioxidante e características da carne bovina, como cor e textura (Arthington; Ranches, 2021).

No contexto amazônico, os sistemas de criação exercem influência direta sobre a ingestão e o metabolismo mineral, uma vez que os solos da região, frequentemente, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes minerais, refletindo na composição mineral das forragens (Veiga; Láu, 1998). Em sistemas extensivos, predominantes no Pará, a dieta dos animais depende quase exclusivamente das pastagens, que sofrem variações sazonais quanto ao teor mineral, especialmente durante a estação seca, devido à lignificação das plantas e à escassez hídrica (Ferreira *et al.*, 2025).

Em um estudo recente, Ferreira *et al.* (2025) demonstraram que o sistema de criação impacta a composição mineral do músculo *Longissimus lumborum* de bovinos na Amazônia Oriental. Animais em sistemas extensivos apresentaram maiores teores de Fe, Zn, Cu e Mn; aqueles em pastagem cultivada em K, Mg, P e S; enquanto o confinamento resultou em valores intermediários, refletindo o impacto do manejo e da disponibilidade de pastagem na qualidade da carne.

Além disto, a suplementação mineral apresenta relevância econômica e nutricional para a produção de bovinos na região. Barbosa *et al.* (2016) avaliaram diferentes tipos de suplementação mineral no Estado do Pará, mostrando que a escolha adequada pode otimizar o aproveitamento dos nutrientes limitantes das pastagens, especialmente durante a estação seca. Desta forma, a suplementação mineral contribui não apenas para a saúde e nutrição dos animais, mas também representa uma estratégia para aumentar a eficiência e a sustentabilidade econômica da produção de carne bovina na região.

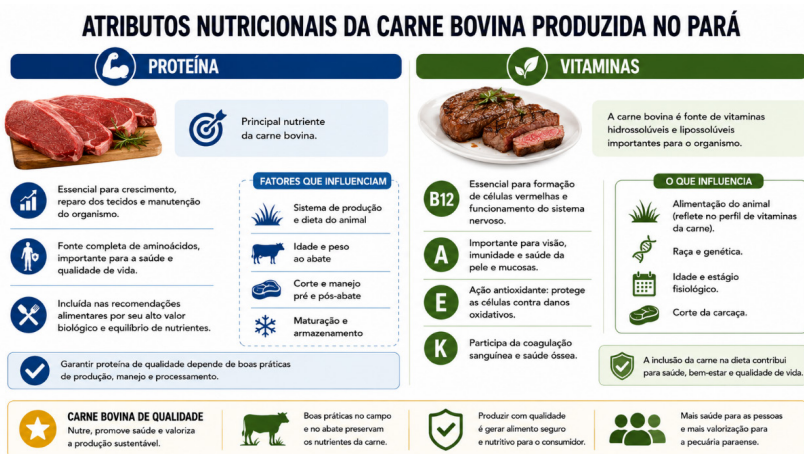
Compreender os fatores que modulam a deposição de minerais no tecido muscular é essencial para explicar como as características do ecossistema amazônico influenciam tanto a absorção destes elementos pelos animais quanto a qualidade final da carne produzida na região.

4.2. Vitaminas

A vitamina A é um composto lipossolúvel essencial para funções fisiológicas vitais, como imunidade, visão, proliferação celular e diferenciação (Han *et al.*, 2011). Por não ser sintetizada por animais, deve ser obtida a partir da clivagem de carotenoides provitamina A, presentes em fontes vegetais ou fornecida por suplementação na forma éster retinílico (Theodosiou; Laudet; Schubert, 2010; Chen, 2014). Neste contexto, o sistema de criação exerce influência significativa sobre o teor de vitamina A nos tecidos musculares. Lobato *et al.* (2024) observaram que bovinos criados em confinamento apresentaram maiores concentrações de provitamina A (β -caroteno, β -tocotrienol e γ -tocoferol), enquanto teores de α -tocoferol e δ -tocoferol foram mais expressivos em animais mantidos em sistema extensivo de pastagem nativa de áreas alagadas.

A Figura 2 apresenta uma síntese dos principais componentes nutricionais da carne bovina produzida no Pará, destacando a relevância dos minerais e das vitaminas para a qualidade da carne e os fatores de produção que podem influenciar sua composição.

Figura 2 - Fatores associados às características nutricionais da carne bovina produzida no Pará.



A cadeia de produção da carne é complexa e influenciada por múltiplas variáveis ao longo de todo o processo produtivo, algumas de fácil controle e outras mais desafiadoras. Neste sentido, o conhecimento detalhado dos processos bioquímicos, físicos e químicos envolvidos na conversão do tecido muscular em carne é fundamental para garantir a obtenção de um

produto final de elevada qualidade, seguro e nutricionalmente adequado para o consumidor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É necessário conhecer as necessidades dos animais para obtenção de produtos com boas características sensoriais e nutritivas, além do bom aspecto físico, o que dependerá em grande parte dos manejos corretos *ante-mortem*, assim mesmo a qualidade da carne, o que vai depender do conteúdo nutricional, higiene, boas propriedades intrínsecas e livre de substâncias nocivas à saúde humana. As evidências disponíveis indicam que a carne bovina produzida no Estado do Pará apresenta características de qualidade que refletem a interação entre estes fatores.

Neste contexto, a ampliação das pesquisas sobre a qualidade da carne bovina produzida na Amazônia, considerando as particularidades edafoclimáticas e dos sistemas de produção regionais, é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias, agregar valor ao produto e fortalecer a competitividade da cadeia produtiva paraense nos mercados nacional e internacional. Além disto, o aprofundamento deste conhecimento contribuirá para consolidar sistemas de produção mais sustentáveis, capazes de aliar desempenho produtivo, conservação dos recursos naturais e oferta de carne de elevada qualidade.

6. REFERÊNCIAS

ARTHINGTON, J. D., RANCHES, J. Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. **Animals**, 11, 1–20, 2021.

BANOVIĆ, M. *et al.* **Percepção da qualidade da carne bovina no ponto de compra**: um estudo em Portugal. *Food Qual. Prefer.* 20, p. 335-342, 2009.

BARBOSA, F. B. *et al.* Avaliação econômica de três tipos de suplementação mineral para bovinos de corte no Estado do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, n. 36, p. 600-604, 2016.

CARVALHO, T. B.; ZEN, S. A. Cadeia de pecuária de corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 85-99, 2017.

CHEN, W.; CHEN, G. The roles of vitamin A in the regulation of carbohydrate, lipid, and protein metabolism. **Journal of Clinical Medicine**, n. 3. p. 453-79, 2014.

CLINQUART, A. *et al.* On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. **Animal**, v. 16, p. 100-426, 2022.

CORREA, L. A. T.; CALIL JUNIOR, N. M.; CARVALHAL, M. V.L. **Qualidade sensorial da carne bovina maturada e in natura resfriada no município de Redenção-PA**. Nutritime, Viçosa, v. 17, n. 4, p. 8755–8760, jul./ago. 2020

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, M. J. S. **Histórico e desafios da pecuária bovina na Amazônia. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020. 34 p.** (Documentos, 454). Disponível em: Infoteca-e Embrapa. Acesso em: 3 ago. 2026.

FERREIRA, A.P.D. *et al.* Is the Mineral Content of Muscle Tissue (Longissimus Lumborum) in Cattle Finished During the Rainy Season in the Eastern Amazon Influenced by Different Farming Systems? **Animals**, n. 15, p. 2.186, 2025.

FLORES, M. **The Eating Quality of Meat: III - Flavor**. In Lawrie's Meat Science, 8th ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2017; p. 383–417. ISBN 9780081006979.

FREIRE, D. A. F. *et al.* Caracterização dos confinamentos de bovinos no Estado do Pará. Research, **Society and Development**, v. 10, n. 5, e35410514893, 2021.

GOMES. R. C.; FEIJÓ. G.L. D.; CHIARI. L. **Evolução e qualidade da Pecuária Brasileira**. EMBRAPA. 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/10180/2147_0602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf/64e8985a-5c7c-b83e-ba2d-168ffaa762ad. Acesso em: 01 out. 2025.

HAN, S. *et al.* Machine vision based prediction of serum vitamin A level in Japanese black cattle by pupillary light reflex analysis. p. 178-81. In: **IEEE/SICE international symposium on system integration (SII)**, v. 2011: IEEE; 2011.

IBGE. **Produção Agropecuária: bovinos**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em: 30 set. 2025.

KUSS, Fernando *et al.* Qualidade da carne de novilhos terminados em confinamento e abatidos aos 16 ou 26 meses de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 924-931, 2010.

LANARI, M.C. *et al.* Pasture and Grain Finishing Affect the Color Stability of Beef. **J. Food Sci**, n. 67, p. 2467-2473, 2002.

LIU, JINGJING, *et al.* Consumer perception of beef quality and how to control, improve and predict it? Focus on eating quality. **Foods**, v. 11, n. 12, p. 1.732, 2022.

LOBATO, A.S.M. *et al.* Impact of rearing systems in the Eastern Amazon on cholesterol, β -carotene and vitamin E homologues in steer. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, p. 1331913, 2024.

MCKENNA, D. R. *et al.* Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 665-682, 2005.

MODZELEWSKA-KAPITUŁA, M.; NOGALSKI, Z. Effect of gender on collagen profile and tenderness of *infraspinatus* and *semimembranosus* muscles of Polish Holstein-Friesian x Limousine crossbred cattle. **Livestock**, n. 167, p. 417-424, 2014.

MOTTRAM, D. S.; SALTER, L. J. Flavor formation in meat-related mail-lard systems containing phospholipids. In: **Thermal Generation of Aromas; ACS Symposium Series; American Chemical Society**: Washington-DC, USA. p. 442-451, 1989.

MOTTRAM, D. Meat flavour. p. 140-163. In: **Understanding Natural Flavors**; Piggott, J.R., Paterson, A., Eds.; Springer: Boston, MA, USA, 1994;

RAMOS, Jenifer Maira Lima *et al.* Effect of vitamin blend supplementation on the oxidative stability and beef quality parameters of Nellore cattle. **Livestock Science**, v. 286, p. 105509, 2024.

ROÇA, R. O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. 202 p, 2000.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Muscle mineral profile of water buffaloes (*Bubalus bubalis*) reared in different production systems of the Brazilian Eastern Amazon. **Front. Veterinary Sciences**, 10, 1057658, 2023.

SANTOS, M.A.S. *et al.* Caracterização do nível tecnológico da pecuária bovina na Amazônia Brasileira. 2017.

THEODOSIOU, M.; LAUDET, V.; SCHUBERT, M. From carrot to clinic: an overview of the retinoic acid signaling pathway. **Cellular and molecular lifesciences**, v. 67, n. 9, p. 1.423-1.445, 2010.

VEIGA, J. B.; LÁU, H.D. **Manual sobre deficiência e suplementação mineral do gado bovino na Amazônia Oriental**. 1998.

PARTE IV
INTENSIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO ANIMAL

ESTRATÉGIAS PARA A INTENSIFICAÇÃO DA RECRIA E TERMINAÇÃO DE BOVINOS DE CORTE A PASTO

DOI 10.29327/5904333.1-7

Marlon Richard Hilário Da Silva¹

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de corte brasileira, detentora do maior rebanho comercial do mundo, com aproximadamente 232 milhões de cabeças (IBGE, 2023), consolida-se como um pilar do agronegócio nacional. Contudo, a despeito de sua magnitude, a atividade é historicamente caracterizada por índices zootécnicos medianos, com taxa de desfrute em torno de 22% e idade de abate frequentemente superior a 36 meses, reflexos de um modelo predominantemente extensivo (ANUALPEC, 2025).

O cenário contemporâneo, marcado por pressões socioambientais globais e por um mercado consumidor crescentemente exigente em relação à qualidade, rastreabilidade e sustentabilidade do produto, impõe uma transição paradigmática. A simples expansão horizontal da atividade, historicamente vinculada a pressões sobre biomas sensíveis como a Amazônia (Vale *et al.*, 2019), torna-se anacrônica, cedendo espaço à intensificação sustentável das áreas já consolidadas. Neste contexto, as fases de recria e terminação, que concentram a maior parcela do custo alimentar e do tempo do ciclo produtivo, representam o *locus* de maior potencial para ganhos de eficiência e competitividade.

A meta de reduzir a idade de abate para menos de 24 meses, materializada no conceito “Boi 7-7-7” (7 arrobas aos 7 meses na desmama, 7 arrobas de ganho na recria aos 14 meses e 7 arrobas de ganho na terminação aos 21 meses) deixa de ser uma abstração e se consolida como um objetivo técnico e economicamente alcançável, desde que alicerçado em bases científicas sólidas (Resende *et al.*, 2018). Este capítulo objetiva, portanto:

- Discutir os fundamentos ecofisiológicos e operacionais do manejo do pastejo como base incontornável para a intensificação.

¹ Professor adjunto no Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Estadual de Maringá-UEM

- Analisar em profundidade os conceitos, resultados zootécnicos e viabilidade econômica da Recria Intensiva a Pasto (RIP) e da Terminação Intensiva a Pasto (TIP).
- Apresentar evidências científicas robustas sobre as estratégias de suplementação que otimizam o desempenho animal em cada fase.
- Explorar as inovações e tendências tecnológicas que moldarão o futuro da intensificação a pasto no Brasil.

2. FUNDAMENTOS DO MANEJO DE PASTAGENS EM SISTEMAS INTENSIVOS

O manejo eficiente das pastagens constitui o alicerce incontornável sobre o qual se erguem sistemas de recria e terminação economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. Um pasto mal manejado inviabiliza economicamente qualquer investimento em suplementação ou genética, enquanto um dossel forrageiro bem conduzido representa o insumo de menor custo e maior retorno na pecuária brasileira (Carvalho *et al.*, 2018).

2.1. Princípios ecofisiológicos e a interceptação luminosa como paradigma

A produtividade primária de uma pastagem está intrinsecamente ligada à sua capacidade de interceptar a energia solar e convertê-la em biomassa por meio da fotossíntese. O ponto de máxima eficiência fotossintética é alcançado quando o dossel forrageiro intercepta entre 90% e 95% da luz incidente (Da Silva *et al.*, 2015; Mota *et al.*, 2024). Abaixo deste limiar, há subaproveitamento da radiação solar; acima, as folhas basais ficam sombreadas, iniciando um processo de senescência que degrada a qualidade do pasto e compromete a persistência da forrageira.

Pesquisas conduzidas por Mota *et al.* (2024) em *Megathyrus maximus* (cv. Mombaça) demonstraram que a manutenção da altura do pasto para maximizar a interceptação luminosa resultou em uma taxa de acúmulo de matéria seca significativamente superior em comparação com manejos menos criteriosos. Este princípio fisiológico fundamenta a definição das alturas ideais de manejo, transformando-o de uma prática empírica em uma estratégia baseada em evidências.

2.2. Parâmetros operacionais: altura, oferta de forragem e lotação variável

A altura do pasto surge como um indicador prático e confiável do estado do dossel, servindo como ferramenta de manejo direta para o produtor. Manejar pela altura correta garante a maximização da interceptação luminosa, a relação folha/colmo e o valor nutritivo (Tabela 1).

Tabela 1 - Metas de manejo para forrageiras tropicais em sistemas intensivos de recria e terminação.

Espécie Forrageira	Altura Ideal de Entrada (cm)	Altura Ideal de Saída (cm)	Período de Descanso (dias)	Oferta de Forragem (kg MS/100 kg PV/dia)
<i>Urochloa Brizantha</i> (Braquiária)	30 – 35	15 - 20	28 - 35	8 - 12
<i>Megathyrsus maximus</i> (Mombaça)	80 – 90	40 - 50	30 - 40	10 - 14
<i>Megathyrsus maximus</i> (Tanzânia)	75 – 85	35 - 45	30 - 40	10 - 14
<i>Cynodon spp.</i> (Tifton, Jiggs)	15 – 25	5 - 8	18 - 25	6 - 10

Fonte: Adaptado de Euclides *et al.* (2016); Da Silva *et al.* (2019) e Mota *et al.* (2024).

A oferta de forragem é o parâmetro que assegura o consumo *ad libitum* e minimiza a seletividade do animal, otimizando a colheita do pasto. Ofertas inferiores a 8-10 kg de MS/100 kg de PV limitam o consumo, enquanto ofertas excessivas levam ao acamamento e à perda de qualidade. A lotação (UA/ha), por sua vez, deve ser dinâmica e ajustada à taxa de acúmulo de forragem, seguindo o princípio da «Lotação Variável».

Euclides *et al.* (2016) comprovaram que a lotação variável em *Urochloa Brizantha* cv. Marandu permitiu um incremento significativo na carga animal anual, quando comparada à lotação fixa, sem comprometer a persistência do pasto. Esta estratégia evita o superpastejo, que destrói os meristemas apicais da planta, e o subpastejo, que resulta em perdas por senescência e lignificação.

2.3. Adubação, fertilidade do solo e comportamento ingestivo

A intensificação do pastejo é um processo análogo à agricultura, demandando a reposição sistemática de nutrientes. Programas de adubação nitrogenada, na faixa de 50 a 150 kg de N/ha/ano, podem elevar a produtividade das braquiárias em mais de 40%, aumentando proporcionalmente a capacidade de suporte (Dos Santos *et al.*, 2023). A correção do solo (calagem e gessagem) é pré-requisito para a eficiência do uso dos fertilizantes, com estudos de Mora *et al.* (2002) evidenciando que a aplicação de gesso em solos de cerrado aumentou em 25% a eficiência de uso do nitrogênio aplicado em cobertura.

O comportamento ingestivo dos bovinos, enquanto selecionadores naturais, é profundamente influenciado pela estrutura do pasto. Um dossel com alta densidade de lâminas foliares promove maior taxa de bocado, maior tempo efetivo de pastejo e, conseqüentemente, maior consumo de nutrientes. Pastos muito altos ou muito baixos e rasos dificultam a apreensão do alimento, deprimindo o desempenho animal. Carvalho *et al.* (2017), avaliando novilhos em pastejo em *Urochloa brizantha* suplementados com diferentes aditivos, observaram que a estrutura do pasto foi determinante para a eficiência de utilização do suplemento, refletindo diretamente no desempenho animal.

3. ESTRATÉGIAS DE RECRIA INTENSIVA A PASTO

A Recria Intensiva a Pasto (RIP) consolida-se como um dos pilares mais impactantes para a quebra de paradigmas na pecuária nacional. Trata-se de um sistema estratégico que visa maximizar a taxa de crescimento pós-desmama, assegurando que os animais atinjam o peso ideal para a terminação de forma precoce e eficiente (Pasquini Neto *et al.*, 2024). A importância produtiva da RIP reside na sua capacidade de “encurtar” o ciclo animal, enquanto sua importância econômica está diretamente ligada à melhor conversão biológica e financeira do alimento mais barato disponível: a forragem.

A integração temporal das fases de recria e terminação com a curva de produção forrageira sazonal é o aspecto mais frequentemente subestimado na implantação prática dos sistemas intensivos, e possivelmente o mais determinante para o sucesso econômico. No Brasil Central, as gramíneas tropicais concentram entre 70% e 80% de sua produção anual de matéria seca no período das águas (outubro–março), com redução drástica da taxa de crescimento durante a seca (maio–setembro) (Nantes *et al.*, 2013). Um planejamento eficiente deve sincronizar: (I) a entrada de bezerros des-

mamados na RIP no início das águas (outubro–novembro), aproveitando a máxima produção forrageira para crescimento ósseo-muscular sem necessidade de suplementação energética intensiva; (II) a transição RIP→TIP no início da seca (abril–maio), quando o suplemento energético torna-se necessário para manter o GMD e iniciar a deposição de gordura; e (III) o abate entre agosto e novembro, janela que historicamente concentra os melhores preços de boi gordo no mercado brasileiro, coincidindo com animais em pico de acabamento. Desvios críticos deste calendário — como terminar animais no início das águas, quando o pasto em crescimento vegetativo apresenta baixa matéria seca e alta umidade — resultam em perda de condição corporal e espessura de gordura subcutânea (EGS) insuficiente, penalizando economicamente o produtor mesmo diante de bom desempenho na recria (Martha Júnior *et al.*, 2012; Torrecilhas *et al.* 2026).

3.1. A conexão com a intensificação e a meta do “boi 7-7-7”

De acordo com Resende *et al.* (2018), a recria intensiva à pasto é a etapa operacional que materializa o segundo “7” do conceito “Boi 7-7-7”. Enquanto a cria é responsável pelas primeiras 7 arrobas até a desmama, a RIP deve adicionar mais 7 arrobas, fazendo o novilho atingir cerca de 330-350 kg (14@) aos 14 meses de idade. Para cumprir esta meta, é necessário um Ganho Médio Diário (GMD) consistente superior a 0,7 kg/dia ao longo de toda a recria. Este patamar é impossível de ser mantido com manejo extensivo, especialmente, durante a estação seca, quando a qualidade da forragem entra em declínio acentuado. Portanto, a RIP não é uma opção, mas uma condição *sine qua non* para a pecuária de ciclo curto.

A base para o sucesso da RIP pode ser estabelecida ainda na fase de cria, através do *creep-feeding* (suplementação exclusiva para bezerros). Carvalho *et al.* (2019) demonstraram que bezerros submetidos a *creep-feeding* não apenas foram mais pesados ao desmame, mas também mantiveram uma vantagem de desempenho significativa durante a recria, atingindo a puberdade mais cedo. Este diferencial de desenvolvimento ruminal e ponderal é capitalizado na RIP, permitindo GMDs mais elevados e consistentes.

3.2. Suplementação estratégica: da correção de déficits à maximização do desempenho

O cerne da RIP é a suplementação estratégica, que vai muito além de simplesmente “fornecer um sal mineral”. Seu objetivo é corrigir os desbalanços nutricionais do pasto, otimizando o processo de digestão e o consumo total de nutrientes (Defalque *et al.*, 2024).

• Estação das Águas

Em um estudo de metanálise realizado por Tambara *et al.* (2021), os autores demonstraram que a suplementação de bovinos de corte durante o período chuvoso constitui uma estratégia eficiente para aumentar o desempenho animal e intensificar a produtividade dos sistemas de produção em pastagens tropicais. Embora a qualidade da forragem seja naturalmente superior nesta época do ano, refletida por maiores concentrações de proteína bruta e nutrientes digestíveis totais e menores teores de fibra, a suplementação promove ganhos adicionais de desempenho. O ganho médio diário (GMD) dos animais em pastejo foi, em média, de 0,81 kg dia⁻¹ durante as águas, superior ao observado no período seco (0,56 kg dia⁻¹), sendo estimado um incremento de aproximadamente 0,308 kg no GMD para cada aumento de 1% do peso corporal no consumo de suplemento, independentemente do tipo de suplemento fornecido.

Os autores também verificaram que os maiores ganhos produtivos por unidade de área foram obtidos com a utilização de suplementos energéticos contendo menos de 20% de proteína bruta, fornecidos em níveis superiores a 1,0% do peso corporal. Nestas condições, foram registrados ganhos de até 8,16 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e taxas de lotação de aproximadamente 2.045 kg de peso corporal ha⁻¹ dia⁻¹, resultados atribuídos principalmente ao efeito de substituição, no qual o consumo de suplemento reduz parcialmente a ingestão de forragem, permitindo elevar a lotação sem comprometer o desempenho individual. Assim, diferentemente do período seco, em que a suplementação proteica é essencial para corrigir a deficiência de nitrogênio das forragens, durante o período chuvoso a suplementação energética torna-se a principal estratégia para intensificar os sistemas de produção, aumentando a produtividade por área e reduzindo o tempo necessário para o acabamento e abate dos animais.

• Estação Seca: O Período Crítico e a Suplementação Proteica:

Este é o momento em que a suplementação mostra seu maior retorno sobre o investimento. A forragem torna-se fibrosa e deficiente em Proteína Degradável no Rúmen (PDR), limitando severamente a atividade microbiana e a digestão. Segundo Egan e Doyle (1985), dietas destinadas a bovinos devem conter, no mínimo, 7% de proteína bruta para assegurar concentrações adequadas de nitrogênio amoniacal no rúmen, em torno de 8 mg/dL, consideradas essenciais para o desenvolvimento e a atividade das bactérias responsáveis pela degradação da fibra (Arcuri *et al.*, 2011; Hobson e Stewart, 2012). Quando este limite não é atingido, ocorre redução da digestibilidade dos componentes fibrosos da dieta, comprometendo a síntese de proteína microbiana, o consumo voluntário de matéria seca

e, consequentemente, o desempenho animal. Em contrapartida, o fornecimento de proteína acima das exigências nutricionais também é indesejável, pois o excesso de nitrogênio precisa ser metabolizado e excretado, aumentando os custos de alimentação, a excreção de compostos nitrogenados no ambiente e podendo, inclusive, prejudicar o desempenho reprodutivo dos animais (Dayani *et al.*, 2011; Löest *et al.*, 2018). Neste contexto, trabalhos seminais como os de Detmann *et al.*, (2014a), avaliando a suplementação com diferentes níveis de proteína para novilhos em pasto de *Urochloa Brizantha* durante a seca, verificaram que a suplementação com 30% de PB (a base de farelo de soja e ureia) elevou o GMD de 0,25 kg/dia (apenas mineral) para 0,78 kg/dia. Este ganho expressivo é explicado pelo efeito aditivo: o suplemento proteico não compete com o pasto, mas sim potencializa seu uso, aumentando a digestibilidade da fibra e, consequentemente, o consumo voluntário de forragem (Detmann *et al.*, 2014b). A suplementação proteica durante a seca aumenta a síntese de proteína microbiana, favorecendo o crescimento, principalmente, de bactérias fibrolíticas, contribuindo para a otimização na utilização dos carboidratos estruturais (CE), sincronização entre a taxa de fermentação dos carboidratos e a degradação da proteína tem s para otimizar o crescimento microbiano no rúmen (Shabi *et al.*, 1998; Lu *et al.*,2019) e atendimento das exigências nutricionais, (Dias *et al.*, 2023; Almeida Rufino *et al.*, 2025). Faz-se necessário, portanto, o emprego de estratégias que permitam maximizar os resultados na recria e terminação, definindo estes indicadores zootécnicos (Tabela 2)

Tabela 2 - Indicadores zootécnicos de monitoramento (KPIs) para os sistemas RIP e TIP

Fase	Indicador	Meta / Referência	Frequência de monitoramento	Ação corretiva se abaixo da meta
RIP	GMD (kg/dia)	≥ 0,700 (águas); ≥ 0,500 (seca)	Quinzenal (pesagem)	Revisar qualidade do pasto; aumentar suplementação proteica
RIP	Escore de condição corporal (ECC)	3,0 – 3,5 (escala 1–5)	Mensal	Suplementar energia; verificar endoparasitas
RIP	Altura pré-pastejo (cv. Mombaça)	70 – 90 cm	Semanal	Reduzir taxa de lotação ou antecipar entrada
RIP	Altura pós-pastejo	30 – 40 cm	A cada ciclo	Ajustar taxa de lotação ou aumentar área

RIP	Consumo de suplemento (g/animal/dia)	2 – 4 g/kg PC ¹	Semanal	Verificar palatabilidade e oferta de sal mineral
TIP	GMD (kg/dia)	≥ 1,100	Quinzenal (pesagem)	Aumentar nível de concentrado; avaliar qualidade do pasto
TIP	ECC	3,5 – 4,0 (escala 1–5)	Mensal	Suplementar energia; avaliar sanidade
TIP	EGS estimada por ultrassom (mm)	≥ 3,0 ao abate	Bimestral	Aumentar suplementação energética; antecipar abate
TIP	Consumo de concentrado (% PC)	1,0 – 1,5%	Semanal	Ajustar formulação; verificar aproveitamento do pasto
TIP	Peso vivo ao abate (kg)	480 – 540 (Nelore) / 520–580 (cruzados)	Na expedição	Manter lote em pastagem de qualidade até meta

¹ PC = Peso corporal. Metas adaptadas de Pasquini Neto *et al.* (2024), Naves *et al.* (2024) e Cavalcante filho *et al.* (2026). GMD = ganho médio diário; ECC = escore de condição corporal; EGS = espessura de gordura subcutânea; PC = peso corporal.

4. ESTRATÉGIAS DE TERMINAÇÃO INTENSIVA A PASTO

A Terminação Intensiva a Pasto (TIP) representa o estágio final de sofisticação da intensificação a pasto, desafiando o antigo paradigma de que apenas a terminação em confinamento é capaz de produzir carcaças com alto padrão de acabamento e qualidade de carne. Este sistema busca atingir o peso e o grau de marmoreio e gordura de cobertura exigidos pelos mercados mais *premium*, utilizando o pasto como base da dieta e suplementação com concentrado para suprir as exigências e possibilitar este objetivo.

4.1. Viabilidade técnica e qualidade do produto final

A percepção de que animais terminados a pasto produzem carne mais dura é um mito superado por evidências científicas. O sucesso da TIP depende do tripé: genética precoce, pastagem de alta digestibilidade e suplementação concentrada de qualidade. Em estudo realizado por Simioni *et al.* (2021), foram avaliados touros Nelore, ½ Angus × Nelore e ½ Senepol × Nelore terminados em pastagem tropical suplementada ou em confinamento. Durante a terminação a pasto, os animais receberam suple-

mento concentrado correspondente a 2% do peso corporal (20 g kg⁻¹ PV), formulado com 16,0% de proteína bruta (PB), enquanto a pastagem apresentava 11,3% de PB. No confinamento, a dieta foi composta por 75% de concentrado e 25% de silagem de milho, mantendo o mesmo concentrado (16,0% de PB). Embora o confinamento tenha proporcionado maior ganho médio diário (1,53 vs. 1,19–1,23 kg dia⁻¹), a terminação em pastagem resultou em desempenho elevado e características de carcaça semelhantes, como espessura de gordura subcutânea e ganho diário de carcaça, demonstrando que pastagens de alta qualidade associadas à suplementação concentrada podem constituir uma alternativa eficiente ao confinamento. Os autores ressaltam, ainda, que ambos os sistemas são capazes de produzir carne de elevada qualidade, porém a terminação a pasto demanda menor infraestrutura e pode representar uma estratégia mais prática e economicamente atrativa para muitos produtores, desde que sejam considerados o potencial genético dos animais e o manejo nutricional adotado.

A suplementação na TIP é distinta da RIP. Enquanto na recria o foco é a proteína para estimular o consumo do pasto, na terminação o objetivo é fornecer energia densa para a deposição de gordura intramuscular e subcutânea. Naves *et al.* (2024) avaliaram diferentes fontes energéticas e aditivos na TIP e observaram que o fornecimento de concentrado a níveis entre 1,0% e 1,5% do PC é capaz de sustentar GMDs superiores a 1,3 kg/dia, desde que a qualidade do pasto seja mantida. A inclusão de aditivos como monensina sódica é comum nesta fase, visando melhorar a eficiência alimentar e prevenir distúrbios metabólicos (Gadberry *et al.*, 2022; Ribeiro *et al.*, 2025).

4.2. Análise econômica comparativa

A principal vantagem competitiva da TIP reside na sua estrutura de custos. A análise do Custo por Arroba Produzida, frequentemente, favorece a TIP em relação ao confinamento total. Na Tabela 3, pode ser observada a comparação entre as estratégias de terminação em TIP e confinada. Em estudo conduzido por Klopatek *et al.* (2021), foram comparados sistemas de terminação exclusivamente a pasto por 25 meses (GF25) e em pastagem seguida de apenas 45 dias de confinamento (GR45) com o confinamento convencional. Embora o confinamento tenha apresentado maior peso final, peso e rendimento de carcaça, a estratégia GR45 permitiu obter desempenho produtivo semelhante ao sistema exclusivamente a pasto de 25 meses, reduzindo em aproximadamente cinco meses a idade de abate e aumentando o rendimento de carcaça e o marmoreio. Sob o aspecto econômico, ambos os sistemas baseados em pastagens apresentaram custos de produção

inferiores ao confinamento e proporcionaram maior retorno econômico, evidenciando que a combinação de pastejo com uma curta fase de terminação em confinamento representa uma alternativa tecnicamente eficiente e economicamente viável para sistemas de produção de carne *premium*. Esta diferença é atribuída, principalmente, à eliminação do custo de produção ou compra do volumoso (silagem/feno), que no confinamento pode representar até 40% do custo total da dieta. Adicionalmente, os custos fixos com instalações, equipamentos e mão de obra são significativamente menores na TIP.

Tabela 3 - Comparativo econômico-produtivo entre terminação intensiva a pasto (TIP) e em confinamento.

Componente	Terminação Intensiva a Pasto (TIP)	Confinamento
GMD esperado (kg/dia)	1,3 - 1,6	1,5 - 1,8
Custo do volumoso	Baixo (Pasto)	Alto (Silagem/Feno)
Custo com concentrado	Alto	Alto
Custos fixos (Instalações, Mão de Obra)	Moderado	Alto
Custo total por @ produzida	Geralmente Menor	Geralmente Maior
Bem-estar animal	Superior	Inferior
Controle sobre a dieta/desempenho	Moderado	Alto
Potencial de acabamento de carcaça	Alto (com manejo adequado)	Alto

Fonte: Adaptado de Klopatek et al. (2021) e Simioni et al. (2021).

4.3. A Sinergia Produtiva e Econômica entre a Recria e a Terminação Intensiva

A máxima eficiência de um sistema de produção de bovinos de corte é alcançada quando a Recria Intensiva a Pasto (RIP) e a Terminação Intensiva a Pasto (TIP) são compreendidas não como fases estanques, mas como elos de uma mesma corrente de valor, onde o desempenho em uma determina diretamente o sucesso na outra. A sinergia entre RIP e TIP gera vantagens produtivas, econômicas e qualitativas que transcendem a simples soma das partes.

Do ponto de vista produtivo, a RIP atua como a fundação biológica para a TIP. Uma recria bem-sucedida, que produz animais com 14 a 15

arrobas (@) entre 12 e 14 meses de idade, fornece à terminação um novilho com frame adequado e potencial fisiológico para depositar gordura de cobertura e intramuscular de forma eficiente. Animais que chegam à terminação com baixo peso e idade avançada possuem menor taxa de deposição muscular e maior conversão alimentar, onerando o custo final. Outro fator importante está relacionado à precocidade, que pode afetar diretamente a eficiência produtiva e características de carcaça. Em estudo conduzido por Regan *et al.*, 144 novilhos de raças de maturidade precoce (Aberdeen Angus e Hereford) e tardia (Limousin) foram terminados em diferentes sistemas baseados em pastagens, com ou sem suplementação concentrada. Os animais de maturidade tardia apresentaram maior peso e melhor conformação de carcaça, enquanto os de maturidade precoce depositaram gordura mais rapidamente, atingindo o acabamento adequado em menor idade. Os autores demonstraram que novilhos Angus e Hereford puderam ser terminados exclusivamente a pasto aos 20 meses, ao passo que os Limousin necessitaram de maior tempo de permanência no sistema, evidenciando que a precocidade influencia principalmente a velocidade de acabamento e a eficiência da terminação em sistemas baseados em pastagens.

Economicamente, a sinergia é ainda mais pronunciada. A RIP, ao reduzir a idade do animal, “libera” tempo no ciclo produtivo, permitindo que a mesma área de terra gere mais ciclos de produção (arroba/ano/hectare). O custo de produção da arroba na RIP é significativamente menor que na TIP, pois utiliza menos concentrado. Portanto, ao adicionar mais arrobas na fase mais barata (RIP), dilui-se o custo fixo do sistema e reduz-se o custo total da arroba final (Rufino *et al.*, 2021).

Finalmente, a conexão direta entre as fases impacta positivamente a qualidade da carcaça. Animais criados de forma intensiva e terminados a pasto com suplementação tendem a produzir uma carne com um perfil de ácidos graxos mais benéfico à saúde (maior teor de ômega-3 e CLA - Ácido Linoleico Conjugado) quando comparados aos terminados exclusivamente em confinamento com alta ingestão de grãos. A continuidade do consumo de forragem na TIP preserva estas características, agregando valor ao produto final (French *et al.*, 2000; Daley *et al.*, 2010; Simioni *et al.*, 2021).

Além do perfil lipídico, animais submetidos à RIP+TIP apresentam características quantitativas de carcaça superiores às de animais produzidos em sistemas extensivos sem suplementação. Silva *et al.* (2021) avaliaram carcaças de novilhos Nelore e cruzados Nelore × Angus terminados a pasto com suplementação energética e reportaram rendimento de carcaça entre 54,5% e 57,2%, área de olho de lombo (AOL) de 72 a 89 cm² e espessura de gordura subcutânea (EGS) de 4,2 a 6,8 mm — valores enquadrados nas categorias de acabamento 2 e 3 pelo sistema brasileiro de tipificação

de carcaças (ABIEC, 2025), atendendo às exigências da maioria dos frigoríficos exportadores. A EGS mínima de 3 mm constitui critério frequente de pagamento diferenciado nos frigoríficos brasileiros, sendo que valores abaixo deste limiar resultam em desconto no preço pago ao produtor, independentemente do peso de carcaça quente (PCQ). O ajuste do nível de suplementação energética na fase final da TIP (1,0% a 1,5% do PC; Naves *et al.*, 2024) é, portanto, determinante para garantir o acabamento mínimo exigido pelo mercado sem comprometer a eficiência econômica. Ressalta-se que o rendimento de carcaça em sistemas a pasto tende a ser 1% a 2% inferior ao de animais confinados com dietas de alta inclusão de concentrado, diferença que deve ser incorporada à análise econômica comparativa entre sistemas.

Em resumo, a implementação coordenada da RIP e TIP cria um ciclo virtuoso: a RIP entrega um animal biologicamente eficiente e economicamente competitivo para a TIP, que, por sua vez, agrega o acabamento e a qualidade de carcaça que maximizam o retorno financeiro, consolidando a pecuária de ciclo curto como o modelo mais racional e sustentável para o Brasil.

4.4 Bem-Estar Animal em Sistemas Intensivos a Pasto

O manejo intensivo do pastejo impõe ao sistema a responsabilidade de garantir condições adequadas de bem-estar aos animais — aspecto frequentemente negligenciado na literatura técnica, mas crescentemente exigido por mercados importadores e protocolos de certificação internacionais. Em sistemas de alta taxa de lotação, a competição por forragem e por pontos de suplementação pode resultar em hierarquia social pronunciada, com animais subordinados apresentando consumo irregular e desempenho inferior à média do lote (Paranhos da Costa *et al.*, 2012). Mellor *et al.* (2020) propõem os Cinco Domínios do Bem-Estar Animal como estrutura avaliativa aplicável a sistemas pastoris: **(1) Nutrição** — ausência de subnutrição em mais de 5% do lote, verificada por escore de condição corporal (ECC) mensal; **(2) Ambiente físico** — oferta de sombra, água em qualidade e quantidade mínima de 50 L/animal/dia e ausência de lama excessiva nas áreas de suplementação; **(3) Saúde** — protocolo integrado de vacinação, controle de endoparasitas (OPG sazonal) e ectoparasitas abaixo do limiar econômico; **(4) Comportamento** — liberdade de expressão do pastejo natural (mínimo de 8 horas/dia em atividade de pastejo); e **(5) Estado mental** — ausência de medo crônico, avaliado por escore de agitação no tronco e velocidade de fuga. A integração sistemática destes indicadores ao monitoramento zootécnico não implica custo adicional relevante, mas

constitui pré-requisito para acesso a selos como o GR SB (Global Roundtable for Sustainable Beef) e para atendimento às exigências do Regulamento Europeu 2023/1115 (Regulation on Deforestation Free Products – EUDR), que visa eliminar o desmatamento e a degradação florestal nas cadeias de suprimento de produtos agrícolas importados pela União Europeia (UE), sobre as exportações brasileiras de soja e carne bovina, agregando desta forma valor competitivo ao produto final.

5. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O futuro da recria e terminação intensivas está ancorado na integração sinérgica de tecnologias de ponta e na otimização sistêmica dos recursos produtivos, transcendendo a abordagem setorial.

- **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF):** Esta é a grande âncora tecnológica para a intensificação sustentável. A ILPF não se resume a uma simples justaposição de atividades, mas sim a um sistema sinérgico que promove a reciclagem de nutrientes, a melhoria das propriedades físicas do solo e o conforto térmico animal (Escribano *et al.*, 2021). Escribano *et al.* (2021) destacam que sistemas ILPF no Cerrado brasileiro podem sequestrar entre 2,0 e 3,6 toneladas de CO₂ equivalente por hectare/ano, posicionando a pecuária como atividade de baixo carbono. Do ponto de vista econômico, a integração com a agricultura permite a reforma e renovação de pastagens com custo compartilhado, enquanto a componente florestal agrega renda e diversifica a receita da propriedade (Carvalho *et al.*, 2018). A dimensão das emissões de gases de efeito estufa (GEE) merece tratamento quantitativo específico, especialmente, diante da crescente pressão regulatória internacional sobre a pecuária bovina. O metano entérico (CH₄) representa a principal fonte de GEE na bovinocultura, respondendo por 60% a 70% das emissões totais do sistema de produção (Berndt *et al.*, 2013). Crucialmente, a intensidade de emissão medida em kg de CH₄ por kg de ganho de peso vivo ou por kg de carcaça produzida é dramaticamente influenciada pela eficiência do sistema. Berndt *et al.* (2013) demonstraram que bovinos Nelore em pastagens intensivamente manejadas emitem entre 120 e 180 g de CH₄ por kg de ganho de peso vivo, enquanto sistemas extensivos degradados podem superar 400 g de CH₄/kg GPV em função do maior tempo necessário para atingir o peso de abate e da menor qualidade da forragem disponível. Este contraste

evidência que a intensificação sustentável a pasto, ao reduzir a idade de abate de 48 para menos de 24 meses, diminui pela metade o tempo de emissão por animal e produz, portanto, carne com pegada de carbono substancialmente menor por unidade de produto. Boddey *et al.* (2010) reforçam que a intensificação da pecuária brasileira representa uma das estratégias mais eficazes de mitigação de GEE no setor agropecuário, por meio do conceito de land-sparing: produzir mais proteína animal por hectare, liberando áreas para conservação ou restauração de vegetação nativa. Em um cenário de crescente exigência de rastreabilidade ambiental pelos mercados importadores, incluindo o Regulamento Europeu 2023/1115 (Regulation on Deforestation Free Products – EUDR), a capacidade de demonstrar métricas de emissão por kg de carne produzida torna-se um diferencial competitivo de primeira ordem para a pecuária nacional.

- **Agricultura e Pecuária de Precisão:** A zootecnia de precisão revoluciona o manejo intensivo. Sensores de ultrassom para mensuração da massa de forragem, cochos inteligentes que monitoram o consumo individual de suplemento, balanças eletrônicas interligadas a brincos com RFID e GPS permitem uma gestão baseada em dados massivos e em tempo real (Ali *et al.* 2025). Esta abordagem, conforme demonstrado por Tilkens *et al.* (2025), possibilita ajustes dinâmicos na lotação e na suplementação, elevando a eficiência de uso de insumos em mais de 20% e mitigando impactos ambientais.

- **Suplementação de Precisão e Aditivos Moduladores:** A formulação de dietas com base na análise da composição nutricional das pastagens e o uso de aditivos como ionóforos, probióticos de última geração e óleos essenciais para modular a fermentação ruminal representam a fronteira da nutrição animal (Naves *et al.*, 2024; Defalque *et al.*, 2024). Meta-análise conduzida por Benchaar & Greathhead (2011) confirmou que a suplementação com óleos essenciais específicos pode melhorar a eficiência alimentar em bovinos de corte, por meio da modulação seletiva da microbiota ruminal.

- **Genômica e Melhoramento Genético de Precisão:** A seleção genômica acelera exponencialmente o ganho genético. A identificação de animais com valores genômicos superiores para características complexas como consumo alimentar residual (CAR), termotolerância e qualidade de carcaça está produzindo bovinos “sob medida” para sistemas intensivos. A seleção genômica para CAR pode reduzir o custo de produção significativamente ao longo de uma década, por meio da criação de animais que convertem o

alimento de forma mais eficiente, independentemente do seu peso ou taxa de crescimento (Herd & Arthur, 2009; Silva-Vignato *et al.*, 2019, Duarte *et al.*, 2019).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da recria e terminação a pasto consolida-se como o caminho mais racional e estratégico para a pecuária de corte brasileira ampliar sua competitividade global. Trata-se de uma jornada complexa e multifacetada, que demanda a integração harmoniosa de ciência, tecnologia e gestão de alto nível. O sucesso não reside na adoção isolada de uma tecnologia específica, mas na orquestração sinérgica entre o manejo fisiológico do pasto, a suplementação nutricional de precisão, a utilização de genética superior e o rígido controle sanitário.

Os desafios inerentes à capacitação técnica, ao acesso a linhas de crédito adequadas e à profissionalização da gestão das propriedades permanecem. No entanto, o arcabouço técnico-científico para superá-los está não apenas disponível, mas em constante e acelerada evolução. A adoção destes sistemas deixa de ser uma questão de “se” para se tornar uma decisão de “quando” e “como”. A pecuária do futuro é, inexoravelmente, intensiva em conhecimento, inteligente em sua aplicação e sustentável em sua essência. E o seu alicerce mais robusto e distintivo continuará a ser o pasto, manejado com a maestria que a ciência moderna nos permite.

Contudo, é imperativo que as considerações finais deste capítulo não negligenciem os gargalos práticos que ainda limitam a adoção em escala destes sistemas, especialmente, entre pequenos e médios produtores. Três aspectos merecem atenção crítica. O primeiro é a dependência de assistência técnica qualificada e contínua: o manejo do pastejo por taxa de lotação variável, a suplementação estratégica de precisão e o monitoramento de indicadores zootécnicos exigem um nível de capacitação que ainda é escasso e geograficamente concentrado no Brasil, sendo a extensão rural pública insuficiente para suprir esta demanda (Dias-Filho, 2014). O segundo gargalo é a volatilidade de preços de insumos críticos como fertilizantes, farelo de soja e milho, cujas oscilações, frequentemente atreladas ao mercado internacional de commodities, podem comprometer a viabilidade econômica de sistemas que dependem de suplementação intensiva, tornando a análise de custo-benefício sensível ao cenário conjuntural no momento da tomada de decisão (Martha Júnior *et al.*, 2012). O terceiro aspecto é a estacionalidade climática regional: sistemas RIP e TIP são calibrados predominantemente para as condições do Cerrado e Centro-Sul do

Brasil, e sua transposição para regiões com déficits hídricos mais severos como o Semiárido nordestino ou com períodos de seca mais prolongados exige adaptações substanciais no planejamento forrageiro e na estratégia de suplementação, sob pena de resultados zootécnicos e econômicos muito abaixo do esperado. A transparência sobre estas limitações não diminui o valor das tecnologias apresentadas; ao contrário, qualifica o leitor para uma adoção mais segura, contextualizada e bem-sucedida.

7. REFERÊNCIAS

ABIEC. **Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2025. Disponível em: www.abiec.com.br. Acesso em: 05 de out 2025.

ALI, A.; KAUL, H. Monitoring yield and quality of forages and grass land in the view of precision agriculture applications — A review. **Remote Sensing**, v. 17, n. 2, p. 279, 2025.

ANUALPEC. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: Informa Economics FNP, 2025. Acesso em: 05 de out 2025.

ARCURI, P. B.; LOPES, F. C. F.; CARNEIRO, J. Microbiologia do rúmen. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de (org.). **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011. p. 115-148.

BENCHAAAR, C.; GREATHEAD, H. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p. 338-355, 2011.

BERNDT, A.; TOMKINS, N. W. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal**, v. 7, p. 363-372, 2013.

BODDEY, R. M. *et al.* Carbon accumulation at depth in Ferralsol under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.

CARVALHO, V. V. *et al.* Effects of supplements containing different additives on nutritional and productive performance of beef cattle grazing tropical grass. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 5, p. 983-988, 2017.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 8, p. 3.513-3.525, 2018.

CARVALHO, V. V. *et al.* A meta-analysis of the effects of creep-feeding supplementation on performance and nutritional characteristics by beef calves grazing on tropical pastures. **Livestock Science**, v. 227, p. 175-182, 2019.

DAYANI, O.; DADVAR, P.; AFSHARMANESH, M. Effect of dietary whole cotton seed and crude protein level on blood parameters and performance of fattening lambs. **Small Ruminant Research**, v. 97, n. 1-3, p. 48-54, 2011.

DALEY, C. A. *et al.* A review of fatty acids profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 10, p. 1-12, 2010.

DA SILVA, S. C. *et al.* Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 598-625, 2015.

DE ALMEIDA RUFINO, L. M. *et al.* Effects of amount and frequency of nitrogen supplementation on nutritional performance and metabolism in cattlefed medium-quality tropical forage. **Discover Animals**, v. 2, n. 1, p. 39, 2025.

DEFALQUE, G. *et al.* A review on beef cattle supplementation technologies. **Information Processing in Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 559-572, 2024.

DETMANN, E. *et al.* Anevaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical Grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153, 2014.

DETMANN, E.; GIONBELLI, M. P.; HUHTANEN, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattlefed tropical forage-based diets. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 10, p. 4.632-4.641, 2014.

DIAS, A. V. L. *et al.* Efficiency of amino acidutilization in nellore cattle-grazing low-quality forage supplemented with different sources of nitrogen. **Life**, v. 13, n. 8, p. 1622, 2023.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402).

DOS SANTOS, C. A. *et al.* Productivity of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with and without nitrogen fertilizer application or mixed pastures with the legume *Desmodium ovalifolium*. **Grass and Forage Science**, v. 78, n. 1, p. 147-160, 2023.

DUARTE, D. A. S. *et al.* Genome wide association studies pathway based meta analysis for residual feed intake in beef cattle. **Animal genetics**, v. 50, n. 2, p. 150-153, 2019.

EGAN, J. K.; DOYLE, P. T. Effect of intra ruminal in fusion of urea on the response in voluntary food intake by sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 36, n. 3, p. 483-495, 1985.

ESCRIBANO, A. J. *et al.* **Instant Insights**: Integrated crop-livestock systems. Burleigh Dodds Science Publishing, 2021.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Steer performance on *Panicum maximum* (cv. Mombaça) pastures under two grazing intensities. **Animal Production Science**, v. 56, n. 11, p. 1.849-1.856, 2016.

GADBERRY, S. *et al.* Meta-analysis of the effects of monensin on growth and bloat of cattle on pasture. **Translational Animal Science**, v. 6, n. 2, p. txac031, 2022.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 14 Suppl, p. E64-71, 2009.

HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. **Rumen microbial ecosystem**. 2. ed. London: Blackie Academic & Professional, 2012.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. v. 49, 2023. Acesso em: 06 de out 2025.

KLOPATEK, S. C. *et al.* Grass-fed vs. grain-fed beef systems: performance, economic, and environmental trade-offs. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 2, p. skab374, 2022.

LÖEST, Clint A. *et al.* Post-ruminal branched-chain amino acid supplementation and intravenous lipopolysaccharide infusion alter blood metabolites, rumen fermentation, and nitrogen balance of beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 7, p. 2886-2906, 2018.

LU, Z. *et al.* Dietary energy level promotes rumen microbial protein synthesis by improving the energy productivity of the ruminal microbiome. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 847, 2019.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012.

MELLOR, D. J. *et al.* The 2020 Five Domains Model: Including Human-Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. **Animals**, v. 10, n. 10, p. 1870, 2020.

MORA, M. L. *et al.* Effects of lime and gypsum on pasture growth and composition on an acid Andisol in Chile, South America. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 13-14, p. 2069-2081, 2002.

MOTA, L. M. S. *et al.* Grazing management of *Panicum maximum* cvv. Mombaça and Tanzania pastures for beef cattle: a meta-analytic study. **Crop & Pasture Science**, v. 75, n. 9, p. CP24001, 2024.

NANTES, N. N. *et al.* Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 114-121, 2013.

NAVES, Karine R. S., *et al.* Additives in Supplements for Grazing Beef Cattle. **Animals**, v. 14, n. 24, p. 3.688, 2024.

PARANHOS DA COSTA, M. J. R. *et al.* Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on product quality. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 221-226, 2012.

REGAN, M. *et al.* Finishing late-maturing suckler steers and bulls from pasture: effect of concentrate supplementation. **Grassland Science in Europe**, v. 23, p. 485-487, 2018.

RESENDE, F. D.; SIQUEIRA, G. R.; OLIVEIRA, I. M. Entendendo o conceito BOI777. **Produção Independente**, 2018.

RIBEIRO, R. V. *et al.* A meta-analysis of the effects of monensin supplementation on beef cattle performance, digestion and ruminal parameters in three feeding systems. **Animal Feed Science and Technology**, v. 324, p. 116.301, 2025.

SHABI, Z. *et al.* Effect of the synchronization of the degradation of dietary crude protein and organic matter and feeding frequency on ruminal fermentation and flow of digesta in the abomasum of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 7, p. 1.991-2.000, 1998.

SILVA, R. R. *et al.* Fatty acid profile and chemical composition of meat from Nellore steers finished on pasture with different amounts of supplementation. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 101, n. 3, p. 558-566, 2021.

SILVA-VIGNATO, Bárbara *et al.* Gene co-expression networks associated with carcass traits reveal new pathways for muscle and fat deposition in Nelore cattle. **BMC genomics**, v. 20, n. 1, p. 32, 2019.

SIMIONI, T. A. *et al.* Influence of growing-phase supplementation stra-

tegies on intake and performance of different beef cattle genotypes in finishing phase on pasture or feed lot. **Livestock Science**, v. 251, p. 104.653, 2021.

TAMBARA, A. A. C. *et al.* Effects of supplementation on production of beef cattle grazing tropical pastures in Brazil during the wet and dry seasons: a meta-analysis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20210020, 2021.

TILKENS, N. **Enhancing insights into the behaviour of grazing cattle through Precision Livestock Farming tools**. 2025. Tese de Doutorado. Universite de Liege (Belgium).

TORRECILHAS, J. A. *et al.* Effect of Early Weaning Strategies Combined with Supplementation on Performance and Meat Quality of Pasture-Finished Nellore Cattle. **Meat and Muscle Biology**, v. 10, n. 1, 2026.

VALADARES FILHO, S. C., *et al* (2016). **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzado - BR-Corte** (Vol.1). Universidade Federal de Viçosa.

VALE, P., *et al.* The expansion of intensive beef farming to the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 57, p. 101.922, 2019.



Sandra Cristina de Ávila

Possui graduação em Zootecnia pela Faculdade de Zootecnia e Agronomia de Uberaba (1984), mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Minas Gerais (1989), doutorado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará (2003) e pós - doutorado no CIRAD - Montpellier, França (2014). É professora e pesquisadora na área de Nutrição animal na Faculdade de Medicina Veterinária e coordenadora do Laboratório de Nutrição e Bromatologia no Instituto de Medicina Veterinária, ambos na UFPA.



Thiago Carvalho da Silva

Professor Titular-Livre da Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Zootecnista, doutor em Zootecnia, atua há mais de dez anos na Amazônia desenvolvendo atividades de ensino, pesquisa, extensão, inovação e transferência de tecnologia voltadas à produção animal sustentável. Sua atuação concentra-se nas áreas de manejo de pastagens, nutrição e produção de ruminantes, conservação de forragens, qualidade de alimentos para animais, intensificação sustentável dos sistemas de produção e integração entre produtividade, bem-estar animal e conservação ambiental.

O livro *Pecuária Sustentável na Amazônia* reúne conhecimentos científicos e experiências voltadas aos desafios e às oportunidades da produção animal na região amazônica. Ao longo de seus capítulos, são abordados temas fundamentais como bem-estar animal, sustentabilidade e serviços ecossistêmicos, qualidade dos produtos de origem animal e, intensificação da produção animal, com destaque para a realidade do estado do Pará e da Ilha do Marajó.

Com uma abordagem atual, interdisciplinar e aplicada, esta obra apresenta estratégias que conciliam produtividade, responsabilidade socioambiental e inovação tecnológica, contribuindo para o fortalecimento de uma pecuária mais eficiente e sustentável. Destina-se a estudantes, pesquisadores, profissionais e produtores que buscam compreender e promover o desenvolvimento da pecuária amazônica em harmonia com as particularidades e riquezas da região.

Os autores dos capítulos são professores e/ou pesquisadores que se formaram e trabalham na região amazônica.

