

RESSALVA

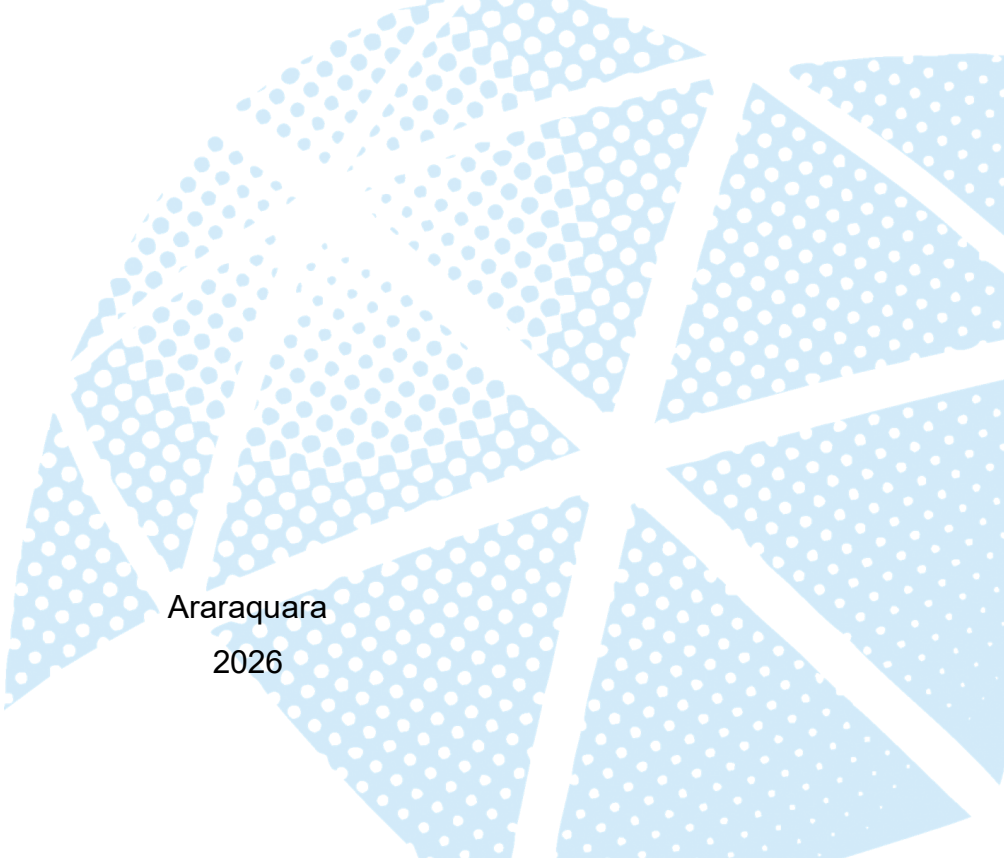
Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 05/08/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Campus de Araraquara

SUELEN CRISTINA DOS SANTOS CARVALHO

**QUALIDADE DA CARÇAÇA E DA CARNE DE BOVINOS CRIADOS EM
PASTAGEM CONSORCIADA COM FEIJÃO-GUANDU NO CONTEXTO DA
MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Araraquara
2026



SUELEN CRISTINA DOS SANTOS CARVALHO

**QUALIDADE DA CARÇA E DA CARNE DE BOVINOS CRIADOS EM
PASTAGEM CONSORCIADA COM FEIJÃO-GUANDU NO CONTEXTO DA
MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, para obtenção do título de Doutora em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Alimentos e Nutrição

Orientadora: Prof.^a Dra. Renata Tieko Nassu

Araraquara

2026

C331q	Carvalho, Suelen Cristina dos Santos Qualidade da carcaça e da carne de bovinos criados em pastagem consorciada com feijão-guandu no contexto da mitigação de gases de efeito estufa / Suelen Cristina dos Santos Carvalho. -- Araraquara, 2026 156 p. : il., tabs., fotos Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara Orientadora: Renata Tieko Nassu 1. Qualidade da carne. 2. Carne bovina. 3. Sensorial. 4. Compostos voláteis. 5. Metabolômica. I. Título.
-------	--

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa contribui para o avanço científico e tecnológico da pecuária de corte ao ampliar o conhecimento sobre os efeitos do consórcio de feijão-guandu com gramíneas tropicais na qualidade da carcaça e da carne bovina. Os resultados demonstram que a utilização desse sistema constitui uma alternativa viável para a produção de bovinos a pasto, sem comprometer os atributos de qualidade e a aceitação da carne pelos consumidores, fortalecendo sua aplicação em sistemas de produção mais sustentáveis. O estudo também agrega conhecimento sobre características sensoriais, compostos voláteis e perfil metabolômico da carne, contribuindo para a inovação e formação científica na área. Inserida em uma temática de relevância nacional e internacional, a pesquisa pode subsidiar produtores, pesquisadores e demais setores da cadeia produtiva na adoção e no desenvolvimento de estratégias que conciliem eficiência produtiva, qualidade da carne e sustentabilidade da pecuária brasileira.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to the scientific and technological advancement of beef cattle production by expanding knowledge of the effects of intercropping pigeon pea with tropical grasses on carcass and beef quality. The results demonstrate that the use of this system constitutes a viable alternative for pasture-based cattle production without compromising meat quality attributes or consumer acceptance, strengthening its application in more sustainable production systems. The study also provides knowledge on sensory characteristics, volatile compounds, and the metabolomic profile of beef, contributing to innovation and scientific training in the field. Addressing a topic of national and international relevance, this research may support producers, researchers, and other sectors of the beef production chain in the adoption and development of strategies that combine production efficiency, meat quality, and sustainability in Brazilian beef cattle production.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DA CARÇAÇA E DA CARNE DE BOVINOS CRIADOS EM PASTAGEM CONSORCIADA COM FEIJÃO-GUANDU NO CONTEXTO DA MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

AUTORA: SUELEN CRISTINA DOS SANTOS CARVALHO

ORIENTADORA: RENATA TIEKO NASSU

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, área: Alimentos e Nutrição pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. RENATA TIEKO NASSU (Participação Virtual)

Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos - UNESP

Prof. Dr. SÉRGIO BERTELLI PFLANZER JÚNIOR (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos / Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade de Campinas (Unicamp)

Prof. Dr. PAULO HENRIQUE MAZZA RODRIGUES (Participação Virtual)

Departamento de Nutrição e Produção Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (USP)

Profa. Assoc. CRISTIANA ANDRIGHETTO (Participação Virtual)

PPG Ciência e Tecnologia Animal - UNESP

Araraquara, 05 de agosto de 2026.

Dedico este trabalho à minha filha Marina
Carvalho Bueno.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À FAPESP, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2017/20084-5, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) e ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos - Interunidades Araraquara/São José do Rio Preto, SP.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Pecuária Sudeste e Embrapa Instrumentação) de São Carlos, SP.

Ao Laboratório de Análise de Carnes da Embrapa Pecuária Sudeste.

À Universidade de São Paulo (USP) de Pirassununga, SP.

Ao Laboratório Multiusuário de Análise Sensorial de Alimentos e Laboratório de Metabolômica Aplicada a Produção Animal da USP de Pirassununga, SP.

Aos Doutores Paulo Henrique Mazza Rodrigues, Vanessa Cristina Francisco, Patrícia Perondi Anchão Oliveira e Nara Regina Brandão Cônsolo.

À minha orientadora Pesquisadora Doutora Renata Tieko Nassu pela excelência, dedicação, apoio, constância, ensinamentos e oportunidades.

A todos professores, pesquisadores, colaboradores e parcerias realizadas que de forma direta e indireta deram suporte para a execução e conclusão deste trabalho.

Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS PESSOAIS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora Aparecida, pelo amor infinito que me sustenta mesmo quando não há mérito. Por uma presença que não falha e que renova minhas forças nos momentos mais desafiadores da vida.

Aos meus pais, Leni Maria dos Santos Carvalho e Adalberto Florentino de Carvalho. Deles herdei mais do que o sobrenome. Herdei a fé, a coragem e a humildade. Mãe e pai: tudo o que eu vencer, tem um pedaço de vocês.

Em especial à minha filha Marina Carvalho Bueno. No início deste doutorado, tornei-me mãe solo, e, em meio às exigências, incertezas e desafios que marcaram este percurso, ela esteve ao meu lado em todos os momentos. Foi e é minha parceira de vida, meu apoio diário e a razão que me impulsionou a seguir quando tudo parecia difícil demais. Em sua simplicidade, leveza, verdade e alegria de criança, encontrei sentido e coragem para continuar. Houve dias de cansaço, dúvidas e sobrecarga, mas ainda assim ela permaneceu e por isso, eu também permaneci. Este trabalho carrega em cada etapa a marca da nossa caminhada juntas. E neste dia de reconhecimento levo comigo a convicção de que, quando uma mãe vence, seus filhos também vencem. Marina, minha filha, saiba que meu melhor título é ser sua mãe. De todas as bênçãos, essa é sem dúvida, a maior.

A todos os amigos que fiz ao longo deste processo. Não ousaria citar nomes, todos foram igualmente importantes em diferentes momentos da minha vida aqui. Em cada amizade da qual encontrei apoio e um lugar à mesa, deixo um pouco de mim e levo comigo um pouco de vocês.

Por fim, como expressa a canção A Resposta (Thalles Roberto), *“a resposta é que eu vivo de milagres, dessa vez, vai ser mais um milagre. Eu não como Deus irá fazer. Mas eu sei, vai ser perfeito. Como tudo o que Ele faz!”*

Muito obrigada!

“Não só isso, mas nos gloriamos até das tribulações. Pois sabemos que a tribulação produz a paciência, a paciência prova a fidelidade e a fidelidade, comprovada, produz a esperança .”

(Bíblia, Romanos 5:3-4).

Os resultados deste estudo fazem parte do projeto temático **“Práticas estratégicas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa em sistemas de pastagens do Sudeste do Brasil”** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP 2017/20084-5) com coordenação do Professor Doutor Paulo Henrique Mazza Rodrigues da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), uma parceria entre a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP) de Pirassununga/SP; o Instituto de Zootecnia (IZ) de Nova Odessa/SP e a Embrapa Pecuária Sudeste de São Carlos/SP.

RESUMO

O consórcio de feijão-guandu (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin) com gramíneas é uma estratégia para mitigar emissões de gases de efeito estufa (GEE) e melhorar a produtividade animal. O objetivo deste estudo foi avaliar as características de carcaça e a qualidade da carne bovina maturada produzida em diferentes sistemas de pastagem. Vinte e sete novilhos Nelore aos 15-16 meses de idade e com 221 kg de peso foram distribuídos em: (1) pastagem degradada (*Urochloa* spp.) (DEG), (2) pastagem recuperada (*Urochloa* spp. adubada com 200 kg de N/ha⁻¹) (REC) e, (3) pastagem consorciada com feijão-guandu (MIX). Após dois anos em campo experimental, os animais (546 kg; 36 meses) foram abatidos em frigorífico comercial. As carcaças foram analisadas quanto ao rendimento (RC), espessura de gordura subcutânea (EGS) e área de olho de lombo (AOL). Amostras do músculo *Longissimus thoracis* da meia carcaça esquerda de cada animal foram coletadas após 24 horas de resfriamento. Bifes de 2,5 cm de espessura foram maturados por 0, 7 e 14 dias a 0 - 2 °C e analisados para pH, cor instrumental (L*, a*, b*), capacidade de retenção de água (CRA), perda por cocção e força de cisalhamento. Bifes maturados por 7 dias foram submetidos à análise sensorial de aceitação global, de sabor e textura, bem como avaliados pelo método *Check-All-That-Apply* (CATA) por meio de 21 atributos descritores relacionados a aroma, sabor e textura. Adicionalmente foram realizadas análise de perfil qualitativo de compostos voláteis (GC-MS) e perfil metabolômico (RMN ¹H). Não foram observadas diferenças significativas (P>0,05) nos parâmetros de carcaça, nem nos parâmetros de qualidade da carne entre os tratamentos estudados. O tempo de maturação exerceu efeito significativo (P<0,01) sobre os parâmetros analisados, com exceção do parâmetro a*, que permaneceu com média de 13,71 nos diferentes tempos de maturação. Observou-se interação significativa (P<0,05) entre o sistema de pastagem e o tempo de maturação para os parâmetros L* e CRA. A carne bovina produzida nos diferentes sistemas foi igualmente aceita pelos consumidores (P>0,05). Na análise pelo método CATA, foi observada diferença significativa para os atributos descritores de sabor e aroma da carne (P<0,10), sendo a carne do sistema DEG associada ao sabor suave, REC ao sabor intenso e aroma grelhado e MIX ao aroma suave. Dos 119 consumidores, 81% demonstraram preocupação com GEE com 92% dispostos a pagar mais por produtos sustentáveis. O perfil qualitativo identificou 102 compostos voláteis na carne bovina estudada. Os

compostos tetra-hidrofurano-2-metil e ácido butanoico éster metílico (aromas intensos e frutados) foram identificados no sistema DEG, enquanto a 2,3-octanediona (forragem verde) foi exclusiva no sistema REC. A carne do sistema MIX foi caracterizada pela presença de 2,3-butanodiona, ácido butanoico, os terpenos α -pineno e d-limoneno (notas herbáceas, cítricas), além da dihidro-5-hexil-furanona (caramelizado). A carne bovina obtida em MIX apresentou perfil metabolômico distinto por meio de metabólitos-chaves β -alanina, succinato, isoleucina e ATP, além de biomarcadores envolvendo os metabolismos lipídico, energético e de aminoácidos. A carne proveniente do sistema REC apresentou perfil metabolômico intermediário, com concentração de creatina enquanto a carne obtida do sistema de DEG foi metabolicamente mais limitada. A inclusão do feijão-guandu em sistemas consorciados apresenta-se como uma alternativa viável para a produção animal, visto que não compromete os atributos de qualidade da carne bovina produzida.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*; sistemas de produção; Nelore; qualidade da carne; sensorial; compostos voláteis; metabolômica; biomarcadores; sustentabilidade.

ABSTRACT

Intercropping pigeon pea (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin) with grasses is a strategy to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions and improve animal productivity. The objective of this study was to evaluate carcass characteristics and the meat quality of aged beef produced in different pasture systems. Twenty-seven Nellore steers at 15–16 months of age and with 221 kg of body weight were distributed into: (1) degraded pasture (*Urochloa* spp.) (DEG); (2) recovered pasture (*Urochloa* spp. fertilized with 200 kg N ha⁻¹) (REC); and (3) intercropped pasture with pigeon pea (MIX). After two years in the experimental field, the animals (546 kg; 36 months old) were slaughtered at a commercial facility. Carcasses were analyzed for dressing percentage (DP), backfat thickness (BFT), and ribeye area (REA). Samples of the *Longissimus thoracis* muscle from the left half-carcass of each animal were collected after 24 hours of chilling. Steaks (2.5 cm thick) were aged for 0, 7, and 14 days at 0–2 °C and analyzed for pH, instrumental color (L*, a*, b*), water holding capacity (WHC), cooking loss, and shear force. Steaks aged for 7 days were subjected to sensory analysis for overall acceptance, flavor, and texture, and evaluated using the Check-All-That-Apply (CATA) method with 21 descriptive attributes related to aroma, flavor, and texture. Additionally, qualitative profiling of volatile compounds (GC-MS) and metabolomic profiling (¹H NMR) were performed. No significant differences ($P > 0.05$) were observed in carcass traits or meat quality parameters among the studied treatments. Pasture systems did not influence meat quality parameters ($P > 0.05$). Aging time had a significant effect ($P < 0.01$) on the analyzed parameters, except for a*, which remained stable across different aging times (mean 13.72). A significant interaction ($P < 0.05$) was observed between pasture system and aging time for L* and WHC. Beef produced in the different systems was equally accepted by consumers ($P > 0.05$). In the CATA analysis, a significant difference was observed for meat flavor and aroma descriptive attributes ($P < 0.10$), with meat from the DEG system being associated with a mild flavor, REC with an intense flavor and grilled aroma, and MIX with a mild aroma. Of the 119 consumers, 81% showed concern regarding GHG, with 92% willing to pay more for sustainable products. Qualitative profiling identified 102 volatile compounds in beef from the pasture systems. The compounds tetrahydrofuran-2-methyl and butanoic acid methyl ester (intense and fruity aromas) were identified in the DEG system, while 2,3-octanedione (green forage notes) was exclusive to the REC system. Beef from the MIX

system was characterized by the presence of 2,3-butanedione, butanoic acid, the terpenes α -pinene and d-limonene (herbaceous and citrus notes), and dihydro-5-hexyl-furanone (caramelized). Beef obtained from the MIX system presented a distinct metabolomic profile through key metabolites β -alanine, succinate, isoleucine, and ATP, as well as biomarkers involving lipid, energy, and amino acid metabolisms. Meat from the REC system showed an intermediate metabolomic profile with creatine concentration, while meat from the DEG system was metabolically more limited. The integration of pigeon pea into intercropping systems stands as a viable alternative for livestock production, as it preserves the quality attributes of the resulting beef.

Keywords: *Cajanus cajan*; production systems; *Nellore*; meat quality; sensory; volatile compounds; metabolomics; biomarkers; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil (em megatoneladas) por setor entre 1990 e 2022.	30
Figura 2 – Planta de feijão-guandu (<i>Cajanus cajan</i> L. Millsp. cv. BRS Mandarin).	39
Figura 3 – Delineamento experimental e distribuição dos tratamentos.	53
Figura 4 – Carcaças dos bovinos experimentais após abate em frigorífico comercial.	55
Figura 5 – (A) Músculo bovino <i>Longissimus thoracis</i> . (B) Amostras de bifes de 2,5 cm de espessura identificados para embalagem a vácuo conforme tratamentos e tempos de maturação.	56
Figura 6 – Apresentação da amostra de carne bovina para avaliação sensorial.	62
Figura 7 – Sistema de extração de compostos voláteis da carne por microextração em fase sólida (SPME) com fibra CAR/PDMS.	64
Figura 8 – Sistema de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM, Shimadzu® QP-2010, Kyoto, Japão) utilizado para a análise qualitativa do perfil de compostos voláteis da carne bovina.	65
Figura 9 – Etapa de remoção da proteína precipitada após centrifugação durante o preparo do extrato metabolômico da carne bovina.	67
Figura 10 – Espectrômetro Bruker Avance 14,1 T (Bruker Corporation, Karlsruhe, Baden-Württemberg, Alemanha) utilizado para aquisição dos espectros de ¹ H-RMN a 600,13 MHz, equipado com sonda BBO de 5 mm, operando a 300 K durante as análises metabolômicas.	67
Figura 11 – Efeito da interação entre tratamentos e tempos de maturação para luminosidade (L*) da carne bovina produzida.	78
Figura 12 – Efeito da interação entre os tratamentos e tempos de maturação para capacidade de retenção de água (CRA) da carne bovina produzida. Letras minúsculas diferem entre tratamentos (P≤0,05). Letras maiúsculas diferem (P≤0,05) entre tempos de maturação.	79
Figura 13 – Histograma de frequência das notas atribuídas ao sabor da carne bovina maturada obtida nos diferentes sistemas de pastagem.	83
Figura 14 – Histograma de frequência das notas atribuídas a textura da carne bovina maturada obtida nos diferentes sistemas de pastagem.	84

Figura 15 – Histograma de frequência das notas atribuídas a aceitação global da carne bovina maturada obtida nos diferentes sistemas de pastagem.	85
Figura 16 – Índice de aceitabilidade (%) dos atributos sabor, textura e aceitação global da carne bovina obtida nos diferentes sistemas de pastagem.	86
Figura 17 – Descritores das características sensoriais da carne bovina produzida em três sistemas de pastagem determinados pelo método CATA.	90
Figura 18 – Análise de Coordenadas Principais (ACP) dos atributos sensoriais e aceitação da carne bovina produzida em três sistemas de pastagem determinados pelo método CATA.	92
Figura 19 – Distribuição das atitudes dos consumidores em relação à emissão de gases de efeito estufa (GEE) pela pecuária de corte e disposição a pagar mais por produtos advindos de práticas agropecuárias mais sustentáveis.	93
Figura 20 – Análise de Coordenadas Principais (ACP) dos compostos voláteis identificados na carne bovina maturada obtida dos sistemas de produção degradado, recuperado e consorciado com feijão-guandu.	108
Figura 21 – Gráfico de pontuação da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) obtida empregando a concentração metabólica de todos os metabólitos detectados no tecido muscular de bovinos alimentados nos sistemas de pastagem degradada, consorciada com feijão-guandu e recuperada.	111
Figura 22 – Importância das variáveis nas análises de escores de projeção (VIP) obtidos a partir do emprego de dados da carne de bovinos alimentados nos sistemas de pastagem degradada, recuperada e consorciada com feijão-guandu.	112
Figura 23 – Mapa de calor de correlação de Pearson (r) entre os metabólitos identificados na carne do sistema degradado (DEG). As cores indicam a intensidade e direção das correlações, variando de -1(azul; correlação negativa) a +1 (vermelho; correlação positiva). O agrupamento hierárquico (<i>clustering</i>) nas margens indica a similaridade entre as variáveis com base na distância euclidiana.	115
Figura 24 – Mapa de calor de correlação de Pearson (r) entre os metabólitos identificados na carne do sistema consorciado com feijão-guandu (MIX). As cores indicam a intensidade e direção das correlações, variando de -1(azul; correlação negativa) a +1 (vermelho; correlação positiva). O agrupamento hierárquico (<i>clustering</i>) nas margens indica a similaridade entre as variáveis com base na distância euclidiana.	117

- Figura 25 – Mapa de calor de correlação de Pearson (r) entre os metabólitos identificados na carne do sistema recuperado (REC). As cores indicam a intensidade e direção das correlações, variando de -1 (azul; correlação negativa) a +1 (vermelho; correlação positiva). O agrupamento hierárquico (*clustering*) nas margens indica a similaridade entre as variáveis com base na distância euclidiana. 120
- Figura 26 – Análise de enriquecimento das principais vias metabólicas associadas aos metabólitos identificados nos sistemas MIX e REC. 121
- Figura 27 – Distribuição da abundância relativa de glutatona ($p=0,0362$) e ácido glutâmico ($p=0,04$) da via do ácido araquidônico nos sistemas MIX (representado em vermelho) e REC (representado em azul). 122
- Figura 28 – Distribuição da abundância relativa de ácido glutâmico ($p=0,04$) na via da lisina dos sistemas MIX (representado em vermelho) e REC (representado em azul). 125
- Figura 29 – Distribuição da abundância relativa de glutatona ($p=0,0362$) e ácido pirúvico ($p=0,581$) na via da degradação do piruvato dos sistemas MIX (representado em vermelho) e REC (representado em azul). 127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos para características de carcaça produzida nos sistemas de pastagem degradado, recuperado e consorciado com feijão-guandu.	70
Tabela 2 – Valores obtidos para os parâmetros de qualidade da carne bovina maturada obtida nos sistemas de pastagem degradado, recuperado e consorciado com feijão-guandu.	74
Tabela 3 – Médias de sabor, textura e aceitação global da carne bovina maturada obtida de sistemas de pastagem degradada, recuperada e consorciada com feijão-guandu.	81
Tabela 4 – Valores de P (teste Cochran Q) para avaliação de diferenças significativas dos atributos descritores das características sensoriais da carne bovina produzida em três sistemas de pastagem determinados pelo método CATA.	88
Tabela 5 – Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de diferença crítica (Sheskin) e valores de contingência dos atributos descritores das características sensoriais da carne bovina produzida em três sistemas de pastagem.	89
Tabela 6 – Área dos compostos voláteis identificados em amostras de carne bovina maturada obtida nos sistemas degradado, recuperado e consorciado com feijão-guandu.	97
Tabela 7 – Análise descritiva das concentrações de metabólitos (média de mg/g de carne fresca).	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGO – Aroma gordura
AGR – Aroma grelhado
AICB – Aroma intenso de carne bovina
AOL – Área de olho de lombo
AR6 – *Sixth Assessment Report*
ARA – Aroma ranço
ASA – Aroma sangue
ASCB – Aroma suave de carne bovina
CATA – *Check-All-That-Apply*
CG-EM – Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas
CH₄ – Metano entérico
CO₂ – Dióxido de carbono
COP26 – *Conference of the Parties 26*
COP28 – *Conference of the Parties 28*
CRA – Capacidade de retenção de água
DEG – Pastagem degradada
ESG – Espessura de gordura subcutânea
FBN – Fixação biológica de nitrogênio
GEE – Gases de efeito estufa
ILPF – Integração lavoura-pecuária-floresta
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
LTPRI – *Linear temperature programmed retention index*
MIX – Pastagem consorciada com feijão-guandu
MtCO₂e – Toneladas de metano equivalente
N – Nitrogênio
N₂O – Óxido nitroso
PB – Proteína bruta
PPC – Perda de peso por cocção
REC – Pastagem recuperada
RC – Rendimento de carcaça
RMN – Ressonância magnética nuclear
SAM – Sabor amargo

SDO – Sabor doce

SFI – Sabor fígado

SGO – Sabor gordura

SGR – Sabor grelhado

SICB – Sabor intenso de carne bovina

SME – Sabor metálico

SRA – Sabor ranço

SSCB – Sabor suave de carne bovina

TDU – Textura dura

TEC – Toneladas equivalente carcaça

TFI – Textura fibrosa

TFI – Textura fígado

TMA – Textura macia

TSE – Textura seca

TSU – Textura succulenta

WBSF – Força de cisalhamento por *Warner Bratzler Shear Force*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1 Hipótese.....	25
1.2 Objetivo geral	25
1.3 Objetivos específicos	25
2. REVISÃO DA LITERATURA	26
2.1 Produção de carne bovina no Brasil	26
2.2 Pecuária de corte e sistemas de produção.....	28
2.3 Emissões de GEE pela pecuária de corte	29
2.4 Uso de leguminosas em pastagem consorciada: feijão-guandu (<i>Cajanus-cajan</i>)	31
2.5 Qualidade da carcaça e da carne bovina: efeitos de sistema de produção	40
3. MATERIAL E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	53
3.1 Local, animais, tratamentos e delineamento experimental.....	53
3.2 Abate	54
3.3 Preparo das amostras	55
4. METODOLOGIAS	57
4.1 Avaliação das características de carcaça.....	57
4.1.1 Peso e rendimento de carcaça (RC)	57
4.1.2 Espessura de gordura subcutânea (EGS).....	57
4.1.3 Área de olho de lombo (AOL).....	57
4.2. Análises de qualidade físico-química da carne	58
4.2.1 Ph	58
4.2.2 Cor instrumental	58
4.2.3 Capacidade de retenção de água (CRA).....	58
4.2.4 Perda de peso por cocção (PPC).....	59
4.2.5 Força de cisalhamento (WBSF)	59
4.2.6 Análise de dados.....	60
4.3. Análise sensorial da carne	61
4.3.1 Sabor, textura, aceitação global e método Check-All-That-Apply (CATA)	61
4.3.2 Análise de dados.....	62
4.4 Perfil qualitativo de compostos voláteis da carne	63
4.4.1 Extração de compostos voláteis	63
4.4.2 Análise de compostos voláteis por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM)	64
4.4.3 Análise de dados.....	65

4.5 Perfil metabolômico da carne por ressonância magnética nuclear (RMN) ..	66
4.5.1 Extração de metabólitos polares da carne	66
4.5.2 Espectroscopia de RMN e processamento espectral	67
4.5.3 Identificação e quantificação de metabólitos	68
4.5.4 Análise de dados	68
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 Características de carcaça	70
5.2 Qualidade físico-química da carne bovina	74
5.3 Análise sensorial da carne	81
5.3.1 Perfil dos consumidores	81
5.3.2 Aceitação global	81
5.3.3 Teste CATA	87
5.3.4 Atitude dos consumidores sobre GEE e sustentabilidade na pecuária de corte	92
5.4 Perfil qualitativo de compostos voláteis da carne por CG-EM	96
5.5 Perfil metabolômico da carne por RMN	109
6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS	129
REFERÊNCIAS	130
ANEXO A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	154
ANEXO B - FICHA DE AVALIAÇÃO DO PERFIL DO CONSUMIDOR	155
ANEXO C - FICHA DE AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO DO CONSUMIDOR E ATRIBUTOS CATA	156

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de carne bovina do mundo. Esta posição se deve a diversos fatores que vão desde as extensas áreas de pastagem até as técnicas de criação e produção de bovino de corte. Em 2022, o país possuía 234,4 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2023) e produziu 8,91 milhões de toneladas de carne bovina em 2023 (CEPEA ESALQ, 2024).

No primeiro trimestre de 2024, foram abatidas 9,30 milhões de cabeças de gado, o maior número registrado desde 1997, representando um aumento de 24,6% em relação a 2023 (IBGE, 2024). Janeiro de 2024 destacou-se como o mês mais ativo do trimestre, com um total de 3,15 milhões de cabeças abatidas, uma variação positiva de 23,7% em comparação com o mesmo mês do ano anterior. O abate de bovinos registrou alta de 15,2% em 2024 e chegou a totalizar 238,2 milhões de cabeças, com cerca de 10,7 milhões concentradas na região Sudeste (IBGE, 2025).

O Relatório Mundial de Estimativas de Oferta e Demanda Agrícola (WASDE, 2025) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), publicado em dezembro de 2025, divulgou que o Brasil superou, pela primeira vez na história, os Estados Unidos e se tornou o maior produtor mundial de carne bovina em 2025, com 12,35 milhões de toneladas, frente a 11,81 milhões produzidas pelos norte-americanos.

A produção de carne brasileira em 2025 trouxe um novo recorde para as exportações com 3,50 milhões de toneladas, o que representa uma alta de 20,9% frente a 2024. Em termos financeiros, o crescimento foi ainda mais expressivo com faturamento de US\$ 18,03 bilhões. Os dados são do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), compilados pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2025).

A excelência na produção e nas exportações brasileiras de carne bovina é resultado da combinação de fatores geográficos, tecnológicos e econômicos. Alguns dos principais elementos que contribuem para essa posição de liderança, além da grande extensão territorial do país, incluem as condições edafoclimáticas favoráveis que permitem que a bovinocultura em sistema de pastagem seja explorada de forma eficiente. Assim, 84,38% da produção de bovinos no Brasil é realizada a pasto (ABIEC, 2021).

Os 177 milhões de hectares de pastagens no Brasil (UFG, 2023) representam um importante ativo econômico e ambiental, entretanto, a degradação dessas áreas compromete a produtividade e a biodiversidade, exigindo ações para sua recuperação. As práticas convencionais de recuperação, baseadas no restabelecimento da produção de forragem com as mesmas espécies (Macedo *et al.*, 2000), têm se mostrado limitadas para reverter esse quadro.

Paralelamente, o setor agropecuário brasileiro tem experimentado um crescimento expressivo, com um aumento de 50% da área ocupada entre 1985 e 2022, avançando sobre 95,1 milhões de hectares, extensão superior ao terceiro maior estado brasileiro, Mato Grosso, e o equivalente a apenas 10,6% de todo o território nacional (Mapbiomas, 2023).

Embora o país tenha potencial para aumentar a produção de bovinos e atender a demanda de consumo de carne bovina, é preciso considerar os efeitos da pecuária nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Entre eles estão o dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4), sendo este último o principal gás emitido (Cardoso *et al.*, 2016).

O metano entérico (CH_4) proveniente de bovinos de corte, que tem como principal fonte o rebanho comercial, mantido em sistemas de pastejo (Malafaia; Canella Filho, 2019), representa 80% das emissões associadas à fermentação entérica (Outahar *et al.*, 2021).

Em 2020, o rebanho bovino brasileiro foi responsável por aproximadamente 5,5% da produção global de CH_4 , enquanto a participação do país nas emissões gerais de GEE foi de 3,3% (SEEG, 2022). No mesmo ano, o setor agropecuário brasileiro contribuiu com 28,5% das emissões de GEE, das quais 57% foram originadas da fermentação entérica.

Neste cenário, as emissões de CH_4 resultantes da fermentação entérica do gado bovino destacaram-se como as mais relevantes, representando 96,8% do total, sendo 88,4% provenientes de bovinos de corte (Brasil, 2020).

Na 26ª Conferência das Partes (COP-26) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o governo brasileiro assumiu voluntariamente reduzir 50% das emissões de GEE até 2030, baseando-se no ano de 2005, além de aderir ao Compromisso Global do Metano, que busca redução de 30% das emissões de CH_4 até 2030, comparado com os níveis de 2020 (Pinto *et al.*, 2022).

A produção de metano entérico é um processo natural que ocorre dentro do rúmen do bovino, por meio da fermentação do alimento ingerido pelo animal a partir da ação de bactérias metanogênicas presentes na microbiota do rúmen, dependente da dieta e do manejo de pastagem (Oliveira *et al.*, 2017).

Estratégias para mitigar as emissões de metano entérico nos sistemas de produção são essenciais para reduzir seu impacto no aquecimento global. Uma delas é consórcio de gramíneas e leguminosas, uma prática sustentável que melhora a fertilidade do solo e possibilita a recuperação de áreas degradadas (Hassen *et al.*, 2017).

O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) leguminosa cultivada especialmente em áreas tropicais e subtropicais (Jadav *et al.*, 2020), apresenta alto valor nutritivo com proteína bruta variando de 16 a 20% (PALUDO *et al.*, 2012) e destaca-se pela forma específica de fixação de nitrogênio, que libera substâncias químicas auxiliando no crescimento da biomassa radicular. Como resultado, reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados para plantas e suplementos proteicos e minerais para animais, especialmente durante o período seco, devido a sua resistência.

O consórcio de guandu com demais forrageiras auxilia na utilização eficiente dos recursos disponíveis resultando em maior produtividade e lucro (Oliveira *et al.*, 2017; Castro-Montoya; Dickhoefer 2020). A leguminosa atua como aporte de proteína, provendo dieta de alta qualidade durante a estação seca do ano e, como adubo verde onde a leguminosa remanescente no pasto é cortada no final da estação seca e deixada para decomposição sobre a superfície do solo (Oliveira *et al.*, 2017).

A cultivar acrescenta nitrogênio (N) nas áreas de pastagens promovendo melhoria da fertilidade do solo, além disso contribui para descompactação do solo devido ao sistema radicular profundo. Essas características ajudam a formar um sistema mais eficiente e sustentável (Oliveira *et al.*, 2017).

A introdução do guandu em sistemas consorciados de pastagem tropical mostrou-se uma alternativa promissora para a alimentação de bovinos Nelore. Estudos conduzidos por Furtado *et al.* (2023) evidenciaram benefícios como a redução do consumo de suplementos minerais, o aumento do ganho médio diário e a menor intensidade de emissões de CH₄ entérico durante a estação seca do ano, quando comparado aos sistemas de pastagens degradado e recuperado.

Vale ressaltar que sistemas mistos não apenas aumentam a eficiência produtiva, mas também podem exercer um papel crucial nas características de

carcaça produzida, uma vez que, pastagens consorciadas com leguminosas e gramíneas fornecem valores nutricionais melhorados quando comparadas às pastagens de monocultivo (Fruet *et al.*, 2019, Xu *et al.* 2023).

Assim, a composição da dieta pode influenciar diretamente na qualidade da carne bovina impactando o sabor, aroma e a maciez, atributos cada vez mais valorizados pelos consumidores (Santos *et al.*, 2021).

A eficiência do consórcio de guandu com gramíneas em pastagem tropical para bovinos Nelore e a redução da emissão de CH₄ entérico foram comprovadas (Oliveira *et al.*, 2017; Furtado *et al.*, 2023). No entanto, a literatura científica é limitada quanto a inclusão do feijão-guandu na dieta de bovinos e seus efeitos diretos nas características de carcaça dos animais e qualidade da carne bovina obtida, visto que, a maioria das pesquisas concentra-se em leguminosas como trevo-branco, alfafa, trevo-vermelho, leucena-branca, feijão-de-coroa, fava, soja, feijão-caupi, acácia-negra, tremoço, amendoim forrageiro e sanfeno na dieta de diferentes espécies animais (Turner *et al.*, 2014; Gusha *et al.*, 2015; Przywitowski *et al.*, 2016; Fruet *et al.*, 2016; Santana *et al.* 2017; Fruet *et al.*, 2018; Fruet *et al.*, 2019; Burggraaf *et al.*, 2020; Andrade *et al.*, 2021; Jacondino *et al.*, 2022; Lim; Choi, 2023; Homem *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024).

Nesse sentido, há uma lacuna de conhecimento sobre a influência do sistema de produção consorciado com feijão-guandu e gramíneas tropicais nas características de carcaça bem como seu efeito na qualidade da carne bovina obtida.

Diante deste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos do consórcio de feijão-guandu com gramíneas tropicais (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin e *Urochloa spp.*) sobre as características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore produzidos neste sistema de produção.

Os resultados desta pesquisa poderão contribuir para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis e eficientes, que atendam às demandas do mercado por carne bovina produzida com qualidade e minimizem os impactos ambientais causados pela bovinocultura de corte na emissão de gases de efeito estufa.

1.1 Hipótese

A hipótese do estudo é que a inclusão de uma leguminosa tropical semiperene em sistema consorciado afeta as características de carcaça e a qualidade da carne obtida de bovinos Nelore terminados, exclusivamente a pasto, em comparação com sistemas de produção degradado e recuperado.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os efeitos do sistema de produção consorciado com feijão-guandu e gramíneas tropicais (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin e *Urochloa* spp.), sobre as características de carcaça e a qualidade da carne de bovinos Nelore.

1.3 Objetivos específicos

- a) Avaliar as características de carcaça de bovinos Nelore alimentados em sistemas de pastagem degradada, recuperada e consorciada com feijão-guandu e gramíneas tropicais: rendimento de carcaça (RC), espessura de gordura subcutânea (ESG) e área de olho de lombo (AOL);
- b) Avaliar a qualidade físico-química da carne bovina obtida a partir de três sistemas de pastagem: pH, cor instrumental, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cocção (PPC) e força de cisalhamento (WBSF);
- c) Avaliar a aceitação sensorial e atributos descritivos pelo método CATA (*Check-All-That-Apply*) da carne bovina obtida nos três sistemas de pastagem;
- d) Determinar os compostos voláteis presentes na carne bovina produzida em cada sistema;
- e) Avaliar o perfil metabolômico da carne bovina produzida nos diferentes sistemas de pastagem, bem como identificar possíveis biomarcadores associados a esses sistemas.

6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sistema de produção consorciado com feijão-guandu e gramíneas tropicais, em comparação ao sistema degradado, demonstrou efeitos positivos sobre a composição da carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore. Animais mantidos nesse sistema apresentaram maior peso vivo e maior peso de carcaça, sem comprometer parâmetros de qualidade, como rendimento, espessura de gordura subcutânea e área de olho de lombo. Embora o sistema consorciado com feijão-guandu tenha impactado aspectos específicos, como a luminosidade da carne e sua capacidade de retenção de água em diferentes tempos de maturação, a qualidade geral da carne bovina obtida foi mantida.

O sistema consorciado com guandu produziu carne igualmente aceita quando comparado aos sistemas degradado e recuperado e com um aroma mais suave na percepção dos consumidores, que demonstraram preocupação com as emissões de GEE e disposição a pagar mais por um produto advindo de práticas agropecuárias mais sustentáveis.

A presença de compostos voláteis responsáveis por notas herbáceas, cítricas e caramelizadas, confirmaram que a inclusão de feijão-guandu em sistema consorciado proporcionou maior complexidade aromática na carne bovina quando comparado a carne dos sistemas degradado e recuperado.

Além disso, a carne obtida do sistema de pastagem consorciado apresentou um perfil metabolômico distinto em comparação à carne proveniente do sistema de pastagem recuperada por meio de concentrações mais elevadas de metabólitos-chaves, além biomarcadores associados a características específicas da carne envolvendo o metabolismo lipídico, metabolismo de aminoácidos e metabolismo energético. O sistema recuperado por sua vez, apresentou uma carne com perfil metabolômico intermediário, com menor intensidade de metabólitos-chaves mas ainda distinto do perfil da carne do sistema de pastagem degradado, metabolômicamente mais limitado.

A inclusão do feijão-guandu em sistemas consorciados apresenta-se como uma alternativa viável para a produção animal, visto que não compromete os atributos de qualidade da carne bovina produzida.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. Abate de bovinos atinge recorde em 2024. 18 mar. 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/42899-abate-de-bovinos-atinge-recorde-em-2024>. Acesso em: 6 out. 2025.
- AL-DALALI, S. *et al.* Insight into the effect of frozen storage on the changes in volatile aldehydes and alcohols of marinated roasted beef meat: Potential mechanisms of their formation. **Food Chemistry**, v. 385, p. 132629, 2022.
- ALFIERI, R. R. *et al.* Creatine as a compatible osmolyte in muscle cells exposed to hypertonic stress. **The Journal of physiology**, v. 576, n. 2, p. 391-401, 2006.
- ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V. **Diretrizes Técnicas para Produção de Carne com Baixa Emissão de Carbono Certificada em Pastagens Tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC)**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Documento 280, 36 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120985/diretrizes-tecnicas-para-producao-de-carne-com-baixa-emissao-de-carbono-certificada-em-pastagens-tropicais-carne-baixo-carbono-cbc>. Acesso em: 06 out. 2025.
- AMAYA-FARFAN, J.; PACHECO, MT B. Amino acids: properties and occurrence. **Encyclopedia of food sciences and nutrition**, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00038-9>. Acesso em: 5 mar. 2026.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA). **Meat color measurement guidelines**. Champaign: American Meat Science Association, 2012.
- ANDRADE, E. A. *et al.* Herbage intake, methane emissions and animal performance of steers grazing dwarf elephant grass v. dwarf elephant grass and peanut pastures. **Animal**, v. 10, n. 10, p. 1684-1688, 2016.
- ANDRADE, E. A. *et al.* Incorporation of untreated or white-rot fungi treated cowpea stover on performance, digestibility, health and meat quality of growing rabbits. **Animal Feed Science and Technology**, v. 281, p. 115100, 2021.
- ANTONELO, D. S. *et al.* Metabolite profile and consumer sensory acceptability of meat from lean Nellore and Angus× Nellore crossbreed cattle fed soybean oil. **Food Research International**, v. 132, p. 109056, 2020.
- AROEIRA, C. N. *et al.* Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. **Meat Science**, v. 125, p. 16-21, 2017.
- AROEIRA, C. N. *et al.* Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Meat Science**, v. 116, p. 118-125, 2016.
- ARUNA, T.; DEVINDRA, S. Nutritional and anti-nutritional characteristics of two varieties of red gram (*Cajanus cajan*, L) seeds. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 6, n. 9, p. 89-95, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef Report 2021: perfil da pecuária no Brasil**. 2021. Disponível em: [ABIEC – Beef Report 2021](#). Acesso em: 12 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef Report 2023: perfil da pecuária no Brasil**. 2023. Disponível em: [ABIEC – Beef Report 2023](#). Acesso em: 12 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil**. 2024. Disponível em: [ABIEC – Beef Report 2024](#). Acesso em: 12 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef Report 2025: perfil da pecuária no Brasil**. 2025. Disponível em: [ABIEC – Beef Report 2025](#). Acesso em: 6 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Brasil bate recorde nas exportações de carne bovina em 2025**. 2026. Disponível em: [ABIEC – Brasil bate recorde nas exportações de carne bovina em 2025](#). Acesso em: 24 mar. 2026.

BARROS, J. S. *et al.* Valor nutritivo do capim-xaraés em três intensidades luminosas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, p. 1703-1711, 2019.

BASSAM, S, M. *et al.* Dissecting grilled red and white meat flavor: Its characteristics, production mechanisms, influencing factors and chemical hazards. **Food Chemistry**, v. 371, p. 131139, 2022.

BECKONERT, O. *et al.* Metabolic profiling, metabolomic and metabonomic procedures for NMR spectroscopy of urine, plasma, serum and tissue extracts. **Nature protocols**, v. 2, n. 11, p. 2692, 2007.

BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: Lessons learned and future challenges for mitigation. **Animal** 14: S2–S16, 2020.

BELITZ, H.; GROSCH, W. Aroma substances. **Food chemistry**, p. 319-377, 1999.

BERTON, M. *et al.* Sources of variation of the environmental impact of cereal-based intensive beef finishing herds. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 3, p. 767-776, 2018.

BODDEY, R. M. *et al.* Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 357-371, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gfs.12498>. Acesso em: 5 ago. 2024.

BONFIM-SILVA, E. M. *et al.* Adubação fosfatada no desenvolvimento e produção de feijão guandu em latossolo vermelho do cerrado em primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 1380-1388, 2014.

BOONE, D. R.; WHITMAN, W. B.; ROUVIÈRE, P. **Diversity and taxonomy of methanogens**. In: **Methanogenesis: ecology, physiology, biochemistry & genetics**. Boston, MA: Springer US, 1993. p. 35-80.

BORK, L, V. *et al.* Formation of melanoidins—Aldol reactions of heterocyclic and short-chain Maillard intermediates. **Food Chemistry**, v. 380, p. 131852, 2022.

BRANDÃO, R. KC *et al.* Correlation between production performance and feeding behavior of steers on pasture during the rainy-dry transition period. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, p. 105-111, 2018.

BRASIL. Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952. Aprova o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 mar. 1952. Seção 1.

BRASIL. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 mar. 2017. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 9, de 4 de maio de 2004. Aprova o Sistema Brasileiro de Classificação de Carcaças de Bovinos (SBCCB). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ano 141, n. 85, p. 3, 4 maio 2004.

BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**. Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2020.

BRIDI, A. M.; CONSTANTINO, C.; TARSITANO, M. A. Qualidade da carne de bovinos produzidos em pasto. **Simpósio de produção animal a pasto**, v. 1, p. 311-332, 2011.

BURGGRAAF, V.T. *et al.* Effect of rearing diet and early post-weaning pasture quality on the life-time growth, meat quality, carcass traits and environmental impact of dairy-beef cattle. **Livestock Science**, v. 239, p. 104031, 2020.

BURLINGAME, B.; DERNINI, S. **Sustainable diets and biodiversity**. 2010.

BURNIER, P. C.; SPERS, E. E.; DE BARCELLOS, M. D. Role of sustainability attributes and occasion matters in determining consumers' beef choice. **Food Quality and Preference**, v. 88, p. 104075, 2021.

CALKINS, C. R.; HODGEN, J. M. A fresh look at meat flavor. **Meat science**, v. 77, n. 1, p. 63-80, 2007.

CAMPOS, F. S. *et al.* Influence of diets with silage from forage plants adapted to the semi-arid conditions on lamb quality and sensory attributes. **Meat Science**, v. 124, p. 61-68, 2017.

CARDOSO, A. S. *et al.* Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96, 2016.

CARPINO, S. *et al.* Contribution of native pasture to the sensory properties of Ragusano cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 2, p. 308-315, 2004.

CARRIER III, J. K. *et al.* Effects of dietary arachidonic acid on larval performance, fatty acid profiles, stress resistance, and expression of Na⁺/K⁺ ATPase mRNA in black sea bass *Centropomus striatus*. **Aquaculture**, v. 319, n. 1-2, p. 111-121, 2011.

CASTRO-MONTOYA, J. M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: a systematic review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114641, 2020.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) – ESALQ/USP. **Pecuária Cepea: produção brasileira de carne bovina bate recorde em 2023**. 2024. Disponível em: [CEPEA – Produção brasileira de carne bovina bate recorde em 2023](#). Acesso em: 12 jun. 2024.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) – ESALQ/USP. **Pecuária Cepea: abates aumentam, exportação é recorde, e consumo interno segue firme**. 2024. Disponível em: [CEPEA – Abates aumentam, exportação é recorde, e consumo interno segue firme](#). Acesso em: 16 nov. 2024.

CERNY, C.; GROSCHE, W. Evaluation of potent odorants in roasted beef by aroma extract dilution analysis. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung**, v. 194, n. 4, p. 322-325, 1992.

CERNY, C.; NOLLET, L. M. L. Sensory evaluation of beef flavor. **Handbook of meat, poultry, & seafood quality**, p. 311-326, 2007.

CHAI, W. *et al.* Pollution characteristics, sources, and photochemical roles of ambient carbonyl compounds in summer of Beijing, China. **Environmental Pollution**, v. 336, p. 122403, 2023.

CHAIL, A. *et al.* Legume finishing provides beef with positive human dietary fatty acid ratios and consumer preference comparable with grain-finished beef. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 5, p. 2184-2197, 2016.

CHAKRABORTY, S.; KARMAKAR, K.; CHAKRAVORTTY, D. Cells producing their own nemesis: understanding methylglyoxal metabolism. **IUBMB life**, v. 66, n. 10, p. 667-678, 2014.

CHEN, K. *et al.* Effects of dietary methionine and taurine interaction on growth performance, the profiles of amino acids, and protein metabolism of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. **Aquaculture Reports**, v. 36, p. 102052, 2024.

COLLE, M. J. *et al.* Strategies to improve beef tenderness by activating calpain-2 earlier postmortem. **Meat Science**, v. 135, p. 36-41, 2018.

CONRAD, K. A. *et al.* The sequestration and turnover of soil organic carbon in subtropical leucaena-grass pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 248, p. 38-47, 2017.

CÔNSOLO, N. R. B. *et al.* Selection for growth and precocity alters muscle metabolism in Nellore cattle. **Metabolites**, v. 10, n. 2, p. 58, 2020.

CÔNSOLO, N. R. B. *et al.* Using TD-NMR relaxometry and 1D ¹H NMR spectroscopy to evaluate aging of Nellore beef. **Meat Science**, v. 181, p. 108606, 2021.

CONTRERAS-CASTILLO, C. J. *et al.* The effect of electrical stimulation on post mortem myofibrillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. **Meat Science**, v. 113, p. 65-72, 2016.

COOKE, R. F. *et al.* Cattle adapted to tropical and subtropical environments: social, nutritional, and carcass quality considerations. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 2, p. skaa014, 2020.

Coordenação-Geral de Estatísticas de Comércio Exterior da Secretaria de Comércio Exterior (CGET/SECEX). **Nota informativa semanal de comércio exterior**. Brasília: Secretaria de Comércio Exterior, 2024. Disponível em: <https://balanca.economia.gov.br/balanca/semanal/Nota.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2024.

CROSBY, P. B. **Quality is free: The art of making quality certain**. New York: New American Library, 1979.

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

DA SILVA GUIMARÃES, F. *et al.* Consórcio guandu-milho-braquiária para integração lavoura-pecuária. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 22-27, 2017.

DESCALZO, A. M. *et al.* Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. **Meat science**, v. 70, n. 1, p. 35-44, 2005.

DE ARAUJO LOPES, C. M.; DE ANDRADE, J. C.; DELIZA, R. Does information matter? The effect of sustainability-related information on consumers' intentions to purchase beef. **Meat Science**, p. 109924, 2025.

DE MARIA, C. A. B. *et al.* Componentes voláteis do café torrado. Parte I: compostos heterocíclicos. **Química nova**, v. 22, p. 209-217, 1999.

DE SOUZA, H. R. S. *et al.* Elaboração e avaliação da qualidade de geleia de Umbu (*Spondias tuberosa* Arr. C.) e Mangaba (*Hancornia speciosa* G.) com alegação funcional. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 25, n. 3, p. 104-113, 2018.

DE SOUSA FERREIRA, J. M. *et al.* Parâmetros de qualidade avaliados em carne bovina: uma revisão. **Revista Brasileira de Pesquisa Animal e Ambiental**, v. 6, n. 2, pág. 1319-1332, 2023.

DEELY, J. *et al.* Are consumers willing to pay for beef that has been produced without the use of uncontrolled burning methods? A contingent valuation study in North-West Spain. **Economic Analysis and Policy**, v. 75, p. 577-590, 2022.

DEMING, W. E. **Principles for transformation**. In: **Out of the Crisis**, v. 18, p. 96, 1986.

DINEEN, M. *et al.* Meta-analysis of the effect of white clover inclusion in perennial ryegrass swards on milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 2, p. 1804-1816, 2018.

DIRECTORATE-GENERAL FOR AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT. **EU agricultural outlook 2021-31: consumer behaviour to influence meat and dairy markets**. 2021. Disponível em: https://agriculture.ec.europa.eu/news/eu-agricultural-outlook-2021-31-consumer-behaviour-influence-meat-and-dairy-markets-2021-12-09_en. Acesso em: 15 abr. 2024.

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. **Meat science**, v. 97, n. 2, p. 223-230, 2014.

DORNELLES, A. S.; RODRIGUES, S.; GARRUTI, D. dos S. Aceitação e perfil sensorial das cachaças produzidas com Kefir e *Saccharomyces cerevisiae*. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 518-522, 2009.

DUCKETT, S. K. *et al.* Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 3, p. 1454-1467, 2013.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 5. ed., rev. Curitiba: PUCPRESS, 2019. 540 p.

ELMORE, J. S. *et al.* A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. **Meat Science**, v. 68, n. 1, p. 27-33, 2004.

ELMORE, J. S. *et al.* Effect of lipid composition on meat-like model systems containing cysteine, ribose, and polyunsaturated fatty acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 5, p. 1126-1132, 2002.

ELMORE, J. S. *et al.* The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. **Meat Science**, v. 55, n. 2, p. 149-159, 2000.

ENRIQUEZ-HIDALGO, D. *et al.* Milk production and enteric methane emissions by dairy cows grazing fertilized perennial ryegrass pasture with or without inclusion of white clover. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1400-1412, 2014.

FATOKIMI, E. O.; TANIMONURE, V. A. Analysis of the current situation and future outlooks for pigeon pea (*Cajanus cajan*) production in Oyo State, Nigeria: a Markov Chain model approach. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 6, p. 100218, 2021.

FENG, J. *et al.* Leucine and glutamic acid attenuate the dextran sulfate sodium-induced colitis in mice by modulating the inflammatory response and energy metabolism processes. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, p. 110016, 2025.

FERGUSON, D. M. *et al.* Factors affecting beef palatability—farmgate to chilled carcass. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 7, p. 879-891, 2001.

FEUZ, R. *et al.* Cattle are what they eat: A consumer analysis of beef produced from barley fodder-fed cattle compared with a conventional mixed ration. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 56, n. 1, p. 86-100, 2024.

FITTON, N. *et al.* Modelling biological N fixation and grass-legume dynamics with process-based biogeochemical models of varying complexity. **European Journal of Agronomy**, v. 106, p. 58-66, 2019.

FLORES, M. Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. **Meat Science**, v. 144, p. 53-61, 2018.

FONTANESI, L. Metabolomics and livestock genomics: Insights into a phenotyping frontier and its applications in animal breeding. **Animal Frontiers**, v. 6, n. 1, p. 73-79, 2016.

FONT-I-FURNOLS, M.; GUERRERO, L. Understanding the future meat consumers. **Meat Science**, v. 193, p. 108941, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestock solutions for climate change**. Rome: FAO, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **GLEAM v3 Dashboard**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS/report>. Acesso em: 14 mai. 2023.

FRUET, A. P. B. *et al.* Whole grains in the finishing of culled ewes in pasture or feedlot: performance, carcass characteristics and meat quality. **Meat Science**, v. 113, p. 97-103, 2016.

FRUET, A. P. B. *et al.* Effects of feeding legume-grass pasture and different concentrate levels on fatty acid profile, volatile compounds, and off-flavor of the M. longissimus thoracis. **Meat Science**, v. 140, p. 112-118, 2018.

FRUET, A. P. B. *et al.* Growth performance and carcass traits of steers finished on three different systems including legume–grass pasture and grain diets. **Animal**, v. 13, n. 7, p. 1552-1562, 2019.

FU, H.*et al.* Sensory properties and main differential metabolites influencing the taste quality of dry-cured beef during processing. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 531, 2022.

FURTADO, A. J. *et al.* Pigeon pea intercropped with tropical pasture as a mitigation strategy for enteric methane emissions of Nellore steers. **Animals**, v. 13, n. 8, p. 1323, 2023.

FURTADO, A. J. *et al.* Intake, digestibility and rumen fermentation in Nellore bulls grazing degraded or recovered pastures of Urochloa ssp. or the grass intercropped with pigeon pea. **Animal Feed Science and Technology**, p. 116659, 2026.

GAGAOUA, M. *et al.* Sensory quality of meat from eight different types of cattle in relation with their biochemical characteristics. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 7, p. 1550-1563, 2016.

GEAY, Y. *et al.* Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. **INRAE Productions Animales**, v. 15, n. 1, p. 37-52, 2002.

GHANI, M. U. *et al.* Alfalfa-grass mixtures reduce greenhouse gas emissions and net global warming potential while maintaining yield advantages over monocultures. **Science of The Total Environment**, v. 849, p. 157765, 2022.

GLOBAL METHANE PLEDGE. **Global Methane Pledge**. 2021. Disponível em: <https://www.globalmethanepledge.org/>. Acesso em: 27 fev. 2024.

GOBESSO, A. A. de O. (Org.) *et al.* **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. Edição 2023. Pirassununga: 5D : VNPFMVZ/USP, 2023. 369 p.: il., color.

GOLL, D. E. *et al.* The calpain system. **Physiological reviews**, 2003.

GOMES, N. B. **Manual de avaliação de carcaças bovinas**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br>. Acesso em: 08 ago. 2024.

GÓMEZ, E. *et al.* Metabolomic profiling of Bos taurus beef, dairy, and crossbred cattle: a between-breeds meta-analysis. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 68, n. 32, p. 8732-8743, 2020.

GOMEZULU, A. D.; MONGI, R. J. Protein content and anti-nutritional factors in pigeon pea and effect of its protein isolate on physical properties and consumer preference of beef sausages. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100047, 2022.

GOMIDE, J. A.; QUEIROZ, D. S.; PEDREIRA, C.G. S. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2019.

GORRAIZ, C. *et al.* Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from Pirenaica and Friesian bulls and heifers. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 916-922, 2002.

GRABEŽ, V. *et al.* Replacing soybean meal with rapeseed meal and faba beans in a growing-finishing pig diet: effect on growth performance, meat quality and metabolite changes. **Meat Science**, v. 166, p. 108134, 2020.

GRAHAM, S. F. *et al.* Comparing GC–MS, HPLC and ¹H NMR analysis of beef longissimus dorsi tissue extracts to determine the effect of suspension technique and ageing. **Food chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1633-1639, 2012.

GRAHAM, S. F. *et al.* The application of NMR to study changes in polar metabolite concentrations in beef longissimus dorsi stored for different periods *post-mortem*. **Metabolomics**, v. 6, p. 395-404, 2010.

GREENWOOD, P. L. An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. **Animal**, v. 15, p. 100295, 2021.

GUIMARÃES, A. S. *et al.* Freezing/thawing as an accelerating process of wet-and dry-aged Nellore beef. **Meat Science**, v. 211, p. 109443, 2024.

GUO, L. *et al.* Exploring microbial dynamics associated with flavours production during highland barley wine fermentation. **Food Research International**, v. 130, p. 108971, 2020.

GÜROY, D. *et al.* Synergistic impacts of dietary supplementation of taurine, lysine and methionine in low fish meal diets on the growth performance, health status and liver histopathology of meagre (*Argyrosomus regius*). **Animal Feed Science and Technology**, p. 116527, 2025.

GUSHA, J. *et al.* The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. **Small Ruminant Research**, v. 125, p. 21-25, 2015.

HA, J. K.; LINDSAY, R. C. Volatile alkylphenols and thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. **Journal of food science**, v. 56, n. 5, p. 1197-1202, 1991.

HA, M. *et al.* Effects of different ageing methods on colour, yield, oxidation and sensory qualities of Australian beef loins consumed in Australia and Japan. **Food Research International**, v. 125, p. 108528, 2019.

HADDAD, G. de B. S. *et al.* Accelerating the dry aging of bone-in beef from Nellore cattle by the freeze/thaw process. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 7, p. e16573, 2022.

HAMM, R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurement. In: BECHTEL, P. J. (Ed.). **Muscle as food**. Orlando: Academic Press, 1986. p. 135-199.

HAMMOND, K. J. *et al.* The inclusion of forage mixtures in the diet of growing dairy heifers: Impacts on digestion, energy utilisation, and methane emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 197, p. 88-95, 2014.

HAMPEL, V. S. *et al.* Tropical grass and legume pastures may alter lamb meat physical and chemical characteristics. **Tropical animal health and production**, v. 53, n. 4, p. 427, 2021.

HAO, M. *et al.* Flavour characteristics of fermented meat products in China: a review. **Fermentation**, v. 9, n. 9, p. 830, 2023.

HAO, M. *et al.* Targeted metabolomics of muscle amino acid profiles and hepatic transcriptomics analyses in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed with broad beans. **Heliyon**, v. 10, n. 19, 2024.

HARRISON, M. T. *et al.* Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. **Agricultural Systems**, v. 136, p. 138-146, 2015.

HASSEN, A. *et al.* Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 6, p. 1713-1724, 2017.

HENCHION, M. M.; MCCARTHY, M.; RESCONI, V. C. Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. **Meat Science**, v. 128, p. 1-7, 2017.

HENRIOTT, M. L. *et al.* Impact of myoglobin oxygenation state prior to frozen storage on color stability of thawed beef steaks through retail display. **Meat Science**, v. 170, p. 108232, 2020.

HERRON, J. *et al.* The simulated environmental impact of incorporating white clover into pasture-based dairy production systems. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 7, p. 7902-7918, 2021.

HOCQUETTE, J. F. *et al.* Opportunities for predicting and manipulating beef quality. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 197-209, 2012.

HOFFMAN, J. R.; VARANOSKE, A.; STOUT, J. R. Effects of β -alanine supplementation on carnosine elevation and physiological performance. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 84, p. 183-206, 2018.

HOLMAN, B. WB; HOPKINS, D. L. Contrasting the quality traits of aged bolar blade, topside and striploin cuts sourced from dark cutting and control Australian beef carcasses. **Meat Science**, v. 149, p. 24-30, 2019.

HOMEM, B. G. C. *et al.* Forage peanut legume as a strategy for improving beef production without increasing livestock greenhouse gas emissions. **Animal**, v. 18, n. 5, p. 101158, 2024.

HURRELL, R. F. Maillard reaction in flavour. **Food flavours**, p. 399-437, 1982.

HUSSAIN *et al.* Clove: A review of a precious species with multiple uses. **Int. J. Chem. Biochem. Sci**, v. 11, p. 129-133, 2017.

IMAZ, J. A.; GARCÍA, S.; GONZÁLEZ, L. A. The metabolomics profile of growth rate in grazing beef cattle. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 2554, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>. Acesso em: 6 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/sp>. Acesso em: 6 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas de Produção Pecuária: primeiro trimestre de 2024**. Rio de Janeiro: 2024. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2024_1tri.pdf. Acesso em: 12 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal 2022. Rio de Janeiro: 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pecuaria>. Acesso em: 3 de mai de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pecuaria>. Acesso em: 3 mai. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. *In: Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2019. p. 225.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Working Group I Assessment Report - AR6**. 2023.

JACONDINO, L. R. *et al.* Acacia mearnsii tannin extract and α -tocopherol supplementation in lamb diet: effects on growth performance, serum lipid peroxidation and meat quality. **Animal Feed Science and Technology**, v. 294, p. 115483, 2022.

JADAV, M. L. *et al.* Effect on yield, water use efficiency and economics of pigeon pea of mulch and irrigation under vindhya n plateau of Madhya Pradesh. **Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci**, v. 9, n. 9, p. 3525-3533, 2020.

JANK, L.; BARRIOS, S. C.; VALLE, C. B.; SIMEAO, R. M.; ALVES, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132-1137, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/CP13319>. Acesso em: 6 ago. 2023.

JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; KREUZER, M. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 96, n. 3, p. 365-375, 2012.

JIANG, S. *et al.* Characterization of stewed beef by sensory evaluation and multiple intelligent sensory technologies combined with chemometrics methods. **Food Chemistry**, v. 408, p. 135193, 2023.

JONES, A. K.; JONES, D. L.; CROSS, P. Developing farm-specific marginal abatement cost curves: Cost-effective greenhouse gas mitigation opportunities in sheep farming systems. **Land Use Policy**, v. 49, p. 394-403, 2015.

JONES, R. J. Observations on the succession dynamics of lactic acid bacteria populations in chill-stored vacuum-packaged beef. **International Journal of Food Microbiology**, v. 90, n. 3, p. 273-282, 2004.

JURAN, Joseph M. **Juran on quality by design: the new steps for planning quality into goods and services**. New York: Simon and Schuster, 1992.

KAMRAN, M. *et al.* Legume-grass intercropping at low nitrogen input: Achieving the dual goals of lower greenhouse gas emissions and high quality forage productivity in the arid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 393, p. 109859, 2025.

KANNAN, G. *et al.* Influence of packaging method and storage time on shear value and mechanical strength of intramuscular connective tissue of chevon. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 9, p. 2383-2389, 2002.

KANOKRUANGRONG, S. *et al.* Metabolomic investigation of fresh beef, lamb and venison using nuclear magnetic resonance spectroscopy in relation to colour stability. **Food chemistry**, v. 463, p. 141447, 2025.

KEARNEY, M. *et al.* Mitigation of greenhouse gas emissions in pasture-based dairy-beef production systems. **Agricultural Systems**, v. 211, p. 103748, 2023.

KEARNEY, S. E. *et al.* Challenges and opportunities in characterisation of phytochemicals in pasture-fed meat produce. **Meat Science**, p. 109816, 2025.

KELLN, B. M. *et al.* Impact of condensed tannin-containing legumes on ruminal fermentation, nutrition, and performance in ruminants: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 101, n. 2, p. 210-223, 2020.

KEMP, C. M. *et al.* Tenderness—An enzymatic view. **Meat science**, v. 84, n. 2, p. 248-256, 2010.

KERTH, C. R. *et al.* A current review of US beef flavor I: Measuring beef flavor. **Meat Science**, p. 109437, 2024.

KERTH, C. R.; MILLER, R. K. Trained sensory descriptors and volatile aroma compounds of USDA Select steaks using five grill temperatures. **Meat Science**, v. 205, p. 109319, 2023.

KIM, S. *et al.* Storage stability of vacuum-packaged dry-aged beef during refrigeration at 4 C. **Food Science of Animal Resources**, v. 39, n. 2, p. 266, 2019.

KIM, Y. H. B.; HUNT, M. C. Advance technology to improve meat color. **Control of Meat Quality**, p. 31-60, 2011.

KIM, Y.H. B.; KEMP, R.; SAMUELSSON, L. M. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. **Meat Science**, v. 111, p. 168-176, 2016.

KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat science**, v. 74, n. 1, p. 34-43, 2006.

KOPEC, W. *et al.* Antioxidative characteristics of chicken breast meat and blood after diet supplementation with carnosine, L-histidine, and β -alanine. **Antioxidants**. 9 (11), 1093, 2020.

KOSOWSKA, M. *et al.* Volatile compounds in meat and meat products. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 1-7, 2017.

LAGRANGE, S. *et al.* Grazing diverse combinations of tanniferous and non-tanniferous legumes: Implications for beef cattle performance and environmental impact. **Science of The Total Environment**, v. 746, p. 140788, 2020.

LAMI, O. *et al.* Does carbon footprint play a relevant role in food consumer behaviour? A focus on Spanish beef. **Foods**, v. 11, n. 23, p. 3899, 2022.

LAZARI, T. A. *et al.* Emissão de metano na recria e terminação de bovinos sob diferentes níveis de tecnologias. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 3, p. 981-998, 2019.

LEANDRO, J.; HOUTEN, S. M. The lysine degradation pathway: Subcellular compartmentalization and enzyme deficiencies. **Molecular Genetics and Metabolism**, v. 131, n. 1-2, p. 14-22, 2020.

LEE, D. *et al.* Effect of different aging methods on the formation of aroma volatiles in beef strip loins. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 146, 2021.

LEE, D. *et al.* The combined effect of vacuum-skin packaging and oxygen absorbers on the color stability and physicochemical properties of wet-aged Chikso beef. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 43, p. 101275, 2024.

LENG, R. A. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. **Nutrition research reviews**, v. 3, n. 1, p. 277-303, 1990.

LEOD, G. M.; AMES, J. M. Effect of water on the production of cooked beef aroma compounds. *Journal of Food Science*, v. 52, n. 1, p. 42-45, 1987.

LI, H. *et al.* Identification of characteristic volatiles and metabolomic pathway during pork storage using HS-SPME-GC/MS coupled with multivariate analysis. **Food Chemistry**, v. 373, p. 131431, 2022.

LI, Z. *et al.* Improved muscle fatty acid composition and oxidative stability in lambs grazing on sainfoin pasture. **Veterinary and Animal Science**, v. 23, p. 100337, 2024.

LIM, C. I. K.; CHOI, N. J. Effect of lupin (*Lupinus angustifolius*) as a soybean meal replacement on the performance, meat quality, and blood parameters of broilers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 103, n. 2, p. 167-173, 2023.

LIMA, M. M. *et al.* Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein hydrolysates: chemical composition, molecular mass distribution, antioxidant activity and amino acid profile. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 1, 2019.

LISTRAT, A. *et al.* How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. **The Scientific World Journal**, v. 2016, n. 1, p. 3182746, 2016.

LIU, J. *et al.* Contributions of tenderness, juiciness and flavor liking to overall liking of beef in Europe. **Meat Science**, v. 168, p. 108190, 2020.

LIU, J. *et al.* Moringa oleifera leaf flavonoids protect bovine mammary epithelial cells from hydrogen peroxide-induced oxidative stress in vitro. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 55, n. 6, p. 711-719, 2020.

LIU, Q. *et al.* Carbonyl compounds in the atmosphere: A review of abundance, source and their contributions to O₃ and SOA formation. **Atmospheric Research**, v. 274, p. 106184, 2022.

LIU, Q. *et al.* Changes in meat quality and volatile flavor compounds profile in beef loin during dry-aging. **LWT**, v. 205, p. 116500, 2024.

LIU, W. *et al.* Evaluation of the effect of dietary supplementation with *Allium mongolicum* regel bulb powder on the volatile compound and lipid profiles of the longissimus thoracis in Angus calves based on GC–IMS and lipidomic analysis. **Food Chemistry: X**, v. 24, p. 101820, 2024.

LOUDON, K. M. W. *et al.* On farm factors increasing dark cutting in pasture finished beef cattle. **Meat science**, v. 144, p. 110-117, 2018.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. São Paulo, 2000. 134 p.

LUOMALA, H. T. *et al.* Priming shoppers' well-being goal in grocery stores: Moving toward healthier food choices?. **Food Quality and Preference**, v. 108, p. 104882, 2023.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 62).

MACFIE, H. J.; BRATCHELL, N.; GREENHOFF, K.; VALLIS, L. V. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129-148, 1989.

MACHIELS, D. *et al.* Gas chromatography-olfactometry analysis of the volatile compounds of two commercial Irish beef meats. **Talanta**, v. 60, n. 4, p. 755-764, 2003.

MACIEL, I. C. F. *et al.* Effects of annual small grain–brassica forage mixtures during the last 70 days of the forage-finishing period on: I. Forage production, beef steer performance, and carcass characteristics. **Applied Animal Science**, v. 38, n. 3, p. 222-236, 2022.

MAGGIOLINO, A. *et al.* Foal meat volatile compounds: Effect of vacuum ageing on semimembranosus muscle. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 4, p. 1660-1667, 2019.

MAHMOOD, S. *et al.* Understanding the quality of typical and atypical dark cutting beef from heifers and steers. **Meat Science**, v. 133, p. 75-85, 2017.

MAHMOOD, S.; DIXON, W. T.; BRUCE, H. L. Cattle production practices and the incidence of dark cutting beef. **Meat Science**, v. 157, p. 107873, 2019.

MAHMOUDNIA, N.; MADANI, Y. **Effect of betaine on performance and carcass composition of broiler chicken in warm weather-a review**. 2012.

MALAFIA, P.; FILHO, C. F. C. C. Critical review of the articles nutrition of cattle and buffaloes finished in feedlots or at pastures, with or without protein. **Revista Universidade do Vale do Rio Verde**, p. 1-16, 2019.

MALTIN, C. *et al.* Determinants of meat quality: tenderness. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 2, p. 337-347, 2003.

MAPBIOMAS. **Área de agropecuária no Brasil cresceu 50% nos últimos 38 anos**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>. Acesso em: 12 jun 2024.

MAPHOSA, Y.; JIDEANI, V. A. **The role of legumes in human nutrition. Functional Food-Improve Health Through Adequate Food**, v. 1, p. 13, 2017.

MATARNEH, S. K.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. The conversion of muscle to meat. In: LAWRIE, R. A. (Ed.). **Lawrie's meat science**. Woodhead Publishing, 2023. p. 159-194.

MEILGAARD, M. C.; CARR, B.; CIVILLE, G. Pairwise ranking test: Friedman analysis-comparing several samples in all possible pairs. **Sens. Eval. Tech**, v. 109, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 17 fev. 2023.

MELIKOGLU, M. Instrumental-analytical integration in food sensory evaluation: Current trends and future horizons. **Microchemical Journal**, p. 116942, 2026.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2021.

MITACEK, R. M. *et al.* Mitochondrial degeneration, depletion of NADH, and oxidative stress decrease color stability of wet-aged beef longissimus steaks. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 1, p. 38-50, 2019.

MOMBACH, M. A. *et al.* Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer. In: **Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. 2016. p. 181-202.

MORAN, Dominic; BLAIR, K. J. Sustainable livestock systems: anticipating demand-side challenges. **Animal**, v. 15, p. 100288, 2021.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **Proceedings of the 6th International Grassland Congress**, Philadelphia, PA, USA, 17–23 August 1952, p. 1380–1395.

MOTTRAM, D. S. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food chemistry**, v. 62, n. 4, p. 415-424, 1998.

MWANGI, F. W. *et al.* Diet and genetics influence beef cattle performance and meat quality characteristics. **Foods**, 8 (12), 64, 2019.

NARAYANANKUTTY, A.; JOB, J. T.; NARAYANANKUTTY, V. Glutathione, an antioxidant tripeptide: dual roles in carcinogenesis and chemoprevention. **Current Protein and Peptide Science**, v. 20, n. 9, p. 907-917, 2019.

NASSU, R. T.; BORBA, H.; BERNARDI, M. R. V. Validation of a sensory protocol for beef evaluation. Brazilian Journal Food Technology. In: **6º SENSIBER**, 19-21 August 2010, p. 152-160.

NEETHLING, J.; HOFFMAN, L. C.; MULLER, M. J. M. S. Factors influencing the flavour of game meat: A review. **Meat science**, v. 113, p. 139-153, 2016.

NISHIMURA, T.; KATO, H. Taste of free amino acids and peptides. **Food reviews international**, v. 4, n. 2, p. 175-194, 1988.

NONGONIERMA, A. *et al.* Mechanisms of extraction of aroma compounds from foods, using adsorbents. Effect of various parameters. **Food reviews international**, v. 22, n. 1, p. 51-94, 2006.

OLAGUNJU, A. I. *et al.* Pigeon pea enzymatic protein hydrolysates and ultrafiltration peptide fractions as potential sources of antioxidant peptides: an in vitro study. **LWT**, v. 97, p. 269-278, 2018.

OLALEKAN, A. J.; BOSEDE, B. F. Comparative study on chemical composition and functional properties of three Nigerian legumes (jack beans, pigeon pea and cowpea). **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**, v. 1, n. 1, p. 89-95, 2010.

OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Greenhouse gas balance and mitigation of pasture-based dairy production systems in the Brazilian Atlantic Forest Biome. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 958751, 2022.

OLIVEIRA, P. P. A.; MATTA, F. P.; GODOY, R. **Consortiação com Guandu na recuperação de pastagens degradadas, uma tecnologia de duplo propósito: adubação verde e pastejo consorciado diferido**. Circular Técnica 75. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2017. p. 1–6.

OLIVEIRA, V. da S. *et al.* Estratégias para mitigar a produção de metano entérico. **Vet. Not.**, 2017, p. 39-70.

OUATAHAR, L. *et al.* Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. **Science of the Total Environment**, v. 776, p. 145932, 2021.

OZKARA, K. T. *et al.* GC-MS-Olfactometric differentiation of aroma-active compounds in turkish heat-treated sausages by application of aroma extract dilution analysis. **Food Analytical Methods**, v. 12, p. 729-741, 2019.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Sexto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudanças Climáticas 2021**. Genebra: IPCC, 2021.

PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, V. J.; PEDREIRA, B. C.; SOLLENBERGER, L. E. Herbage accumulation and organic reserves of palisade grass in response to grazing management based on canopy targets. **Crop Science**, v. 57, n. 4, p. 2283-2293, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.11.0957>. Acesso em: 29 ago 2024.

PEREIRA, J. **O feijão-guandu: uma opção para a agropecuária brasileira**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1985. (EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 20). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/549433/o-feijao-guandu-uma-opcao-para-a-agropecuaria-brasileira>. Acesso em: 02 ago. 2024.

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Intercropping of tropical grassland and pigeon pea: impact on microclimate, soil water, and forage production. **Rangeland Ecology & Management**, v. 95, p. 1-10, 2024.

PICARD, B.; GAGAOUA, M. Proteomic investigations of beef tenderness. **Proteomics in food science**, p. 177-197, 2017.

PINTO, T. P. *et al.* **Panorama das emissões de metano e implicações do uso de diferentes métricas**. Disponível em: <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>. Acesso em: 21 ago. 2024.

POLKINGHORNE, R. J.; THOMPSON, J. M. Meat standards and grading: A world view. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 227-235, 2010.

PONNAMPALAM, E. N. *et al.* Causes and contributing factors to “dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 3, p. 400-430, 2017.

PORDOMINGO, A. J. *et al.* Performance, carcass and meat traits of beef steers finished on small-grain winter annuals in winter or on alfalfa pasture in summer. **Livestock Science**, v. 254, p. 104759, 2021.

PORTUGAL, T. B. *et al.* Methane emissions and growth performance of beef cattle grazing multi-species swards in different pesticide-free integrated crop-livestock systems in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 414, p. 137536, 2023.

PRZYWITOWSKI, M. *et al.* The effect of dietary high-tannin and low-tannin faba bean (*Vicia faba* L.) on the growth performance, carcass traits and breast meat characteristics of finisher turkeys. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 124-136, 2016.

PURSLOW, P. P. *et al.* Variations in meat colour due to factors other than myoglobin chemistry: a synthesis of recent findings (invited review). **Meat Science**, v. 159, p. 107941, 2020.

- QI, H. *et al.* Effects of dietary arachidonic acid (ARA) on immunity, growth and fatty acids of *Apostichopus japonicus*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 127, p. 901-909, 2022.
- QIANG, Y. *et al.* Insights sobre a dotação de sabor de compostos aroma-ativos em cravos (*Syzygium aromaticum*) para carne bovina cozida. **Food Chemistry**, v. 462, p. 140704, 2025.
- RAHBANI, J. F. *et al.* Creatine kinase B controls futile creatine cycling in thermogenic fat. **Nature**, v. 590, n. 7846, p. 480-485, 2021.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. de M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007.
- RESCONI, V. C. *et al.* Ageing and retail display time in raw beef odour according to the degree of lipid oxidation. **Food chemistry**, v. 242, p. 288-300, 2018.
- REYES, T. M. *et al.* Vacuum packaging can extend fresh color characteristics of beef steaks during simulated display conditions. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 520, 2022.
- ROSS, C. F.; SMITH, D. M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 5, n. 1, p. 18-25, 2006.
- RYSCHAWY, J. *et al.* Designing crop–livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 5-20, 2017.
- SANTANA, A. *et al.* Combination of legume-based herbage and total mixed ration (TMR) maintains intake and nutrient utilization of TMR and improves nitrogen utilization of herbage in heifers. **Animal**, v. 11, n. 4, p. 616-624, 2017.
- SANTOS, C. O. dos. *et al.* Assessing the wall-to-wall spatial and qualitative dynamics of the Brazilian pasturelands 2010–2018, based on the analysis of the Landsat data archive. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 1024, 2022.
- SANTOS, D. *et al.* The most important attributes of beef sensory quality and production variables that can affect it: a review. **Livestock Science**, v. 250, p. 104573, 2021.
- SCHEEREN, F. B. *et al.* Energy supplementation of beef steers or inclusion of legumes in temperate pastures in crop-livestock integration area. **The Journal of Agricultural Science**, p. 1-26, 2024.
- SCHEFFLER, T. L. *et al.* Mitochondria influence postmortem metabolism and pH in an in vitro model. **Meat science**, v. 110, p. 118-125, 2015.
- SCHIEBERLE, P. Odour-active compounds in moderately roasted sesame. **Food Chemistry**, v. 55, n. 2, p. 145-152, 1996.

SCHMITZ, G. R. *et al.* Legume inclusion or nitrogen fertilization on Aruana grass overseeded with temperate grasses: Performance, carcass characteristics, and fatty acid profile of the meat of beef steers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, p. e20210051, 2023.

SETYABRATA, D. *et al.* Elucidating mechanisms involved in flavor generation of dry-aged beef loins using metabolomics approach. **Food Research International**, v. 139, p. 109969, 2021.

SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. Tenderness classification of beef: II. Design and analysis of a system to measure beef longissimus shear force under commercial processing conditions. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 6, p. 1474-1481, 1999.

SHEN, G. *et al.* Metabolic effect of dietary taurine supplementation on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) evaluated by NMR-based metabolomics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 1, p. 368-377, 2018.

SHIMADA, K. *et al.* Species and muscle differences in L-carnitine levels in skeletal muscles based on a new simple assay. **Meat Science**, v. 68, n. 3, p. 357-362, 2004.

SILVA, L. H. P. *et al.* Carcass and meat quality traits of Nellore young bulls and steers throughout fattening. **Livestock Science**, v. 229, p. 28-36, 2019.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil**. SEEG-METANO, 2022. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/03/SEEG-METANO.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2023.

SONG, S. *et al.* Evolution analysis of free fatty acids and aroma-active compounds during tallow oxidation. **Molecules**, v. 27, n. 2, p. 352, 2022.

SONG, Y. *et al.* Metabolomic signatures reveal mechanisms of rumen-protected glutathione in mitigating oxidative stress and regulating inflammatory networks in transition dairy cows. **Animal Nutrition**, 2025.

STATISTICS, F. A. O. Pigeon producing countries: production and area harvested. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, Rome, v. 1, 2017.

SUTHERLAND, M. M.; AMES, J. M. Free fatty acid composition of the adipose tissue of intact and castrated lambs slaughtered at 12 and 30 weeks of age. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 10, p. 3113-3116, 1996.

SUZUKI, J.; BAILEY, M. E. Direct sampling capillary GLC analysis of flavor volatiles from ovine fat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 33, n. 3, p. 343-347, 1985.

SUZUKI, J.; BAILEY, M. E. The effect of diet on meat flavor: A review. **Journal of Animal Science**, v. 60, n. 3, p. 605-610, 1985.

SWAIN, M. *et al.* Reducing the environmental impact of global diets. **Science of the Total Environment**, v. 610, p. 1207-1209, 2018.

TAIT, P. *et al.* Estimating wine consumer preferences for sustainability attributes: A discrete choice experiment of Californian Sauvignon blanc purchasers. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 412-420, 2019.

TALARI, A.; SHAKAPPA, D. Role of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) in human nutrition and health: A review. **Asian Journal of Dairy & Food Research**, v. 37, n. 3, 2018.

TAN, Y.; CHRYSOPOULOU, M.; RINSCHEN, M. M. Integrative physiology of lysine metabolites. **Physiological Genomics**, v. 55, n. 12, p. 579-586, 2023.

TANG, J. *et al.* Mitochondrial reduction of metmyoglobin: Dependence on the electron transport chain. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 13, p. 5449-5455, 2005.

TIAN, Y. *et al.* Correlation analysis of normal and moldy beef jerky microbiota with volatile compounds. **LWT**, v. 162, p. 113457, 2022.

TONTINI, J. F. *et al.* Nutritional values and chemical composition of tropical pastures as potential sources of α -tocopherol and condensed tannin. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 36, n. 4, p. 181-189, 2019.

TUPY, O. *et al.* Análise de risco do investimento em guandu como suplemento volumoso para bovinos de corte a pasto. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56468/1678-832X.eie0920.2023>. Acesso em: 17 fev. 2024.

TURNER, K. E. *et al.* Carcass merit and meat quality in Suffolk lambs, Katahdin lambs, and meat-goat finished on a grass–legume pasture with and without supplementation. **Meat Science**, v. 98, n. 2, p. 211-219, 2014b.

TURNER, K. E.; CASSIDA, K. A.; ZERBY, H. N. Meat goat kids finished on alfalfa, red clover or orchardgrass pastures: Carcass merit and meat quality. **Meat science**, v. 98, n. 4, p. 629-636, 2014a.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **Sustainable Development. Sustainable consumption and production**. 2023. Disponível em: <https://sdgs.un.org/topics/sustainable-consumption-and-production>. Acesso em: 08 nov. 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates** (WASDE-666), Dezembro 9, 2025. Washington, DC: USDA, Office of the Chief Economist, 2025. ISSN 1554-9089. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde1225.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG); LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO (LAPIG). **Atlas das Pastagens**. 2022. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>. Acesso em: 10 out. 2023.

VALDIVIELSO, I. *et al.* Changes in terpenoid composition of milk and cheese from commercial sheep flocks associated with seasonal feeding regimens throughout lactation. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 1, p. 96-105, 2017.

VAN BA, H. *et al.* Flavor characteristics of Hanwoo beef in comparison with other Korean foods. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 25, n. 3, p. 435, 2012.

VARELA, P.; ARES, G. (Ed.). **Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling**. Boca Raton: CRC Press, 2014.

VASTA, V.; PRIOLO, A. Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. **Meat Science**, v. 73, n. 2, p. 218-228, 2006.

WAN, J. *et al.* Characteristic flavor fingerprint disclosure of dzo beef in Tibet by applying SAFE-GC-O-MS and HS-GC-IMS technology. **Food Research International**, v. 166, p. 112581, 2023.

WANG AND LA GOONEWARDENE, Z. The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. **Canadian Journal of animal science**, v. 84, n. 1, p. 1-11, 2004.

WANG, H. *et al.* Characterization of key odor-active compounds in thermal reaction beef flavoring by SGC× GC-O-MS, AEDA, DHDA, OAV and quantitative measurements. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 114, p. 104805, 2022.

WANG, Lei *et al.* Methionine in fish health and nutrition: Potential mechanisms, affecting factors, and future perspectives. **Aquaculture**, v. 568, p. 739310, 2023.

WATANABE, A. *et al.* Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. **Meat science**, v. 107, p. 12-19, 2015.

WEN, R. *et al.* Fungal community succession and volatile compound dynamics in Harbin dry sausage during fermentation. **Food Microbiology**, v. 99, p. 103764, 2021.

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Standardizing collection and interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data. In: **Proceedings of the Reciprocal Meat Conference**, v. 50, p. 68-77, 1997.

WRIGHT, A. M. *et al.* Effect of forage type with or without corn supplementation on animal performance, beef fatty acid composition, and palatability. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 10, p. 5047-5058, 2015.

WU, S. *et al.* Understanding the development of color and color stability of dark cutting beef based on mitochondrial proteomics. **Meat Science**, v. 163, p. 108046, 2020.

WYSS, M.; KADDURAH-DAOUK, R. Creatine and creatinine metabolism. **Physiological reviews**, v. 80, n. 3, p. 1107-1213, 2000.

XU, R. *et al.* Grass-legume mixture and nitrogen application improve yield, quality, and water and nitrogen utilization efficiency of grazed pastures in the loess plateau. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1088849, 2023.

XU, T. *et al.* Mechanism of freshness-lock during the quality determination period of farmed turbot *Scophthalmus maximus* revealed by foodomics. **Aquaculture**, v. 572, p. 739513, 2023.

YOUNG, O. A. *et al.* Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. **Meat science**, v. 45, n. 2, p. 183-200, 1997.

YOUNG, O.A. *et al.* Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 2, p. 93-104, 2003.

YU, A.; TAN, Z.; WANG, F. Mechanism of formation of sulphur aroma compounds from L-ascorbic acid and L-cysteine during the Maillard reaction. **Food Chemistry**, v. 132, n. 3, p. 1316-1323, 2012.

YU, H. *et al.* Characterization of key aroma compounds in Chinese rice wine using gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. **Food Chemistry**, v. 293, p. 8-14, 2019.

YU, H. *et al.* Control strategies of pyrazines generation from Maillard reaction. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 795-807, 2021.

YUE, H. *et al.* Dietary arachidonic acid improves the growth performance, anti-oxidant capacity and ovary development of female rice field eel broodstocks (*Monopterus albus*). **Animal Nutrition**, 2025.

ZHANG, L. *et al.* Evaluation of the flavour properties of cooked chicken drumsticks as affected by sugar smoking times using an electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME/GC-MS. **LWT**, v. 140, p. 110764, 2021.

ZHANG, Wei *et al.* Introduction of soybean into maize field reduces N₂O emission intensity via optimizing nitrogen source utilization. **Journal of Cleaner Production**, v. 442, p. 141052, 2024.

ZHANG, Z.; PAWLISZYN, Ja. Headspace solid-phase microextraction. **Analytical chemistry**, v. 65, n. 14, p. 1843-1852, 1993.

ZHAO, J. *et al.* Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig. **Food Chemistry**, v. 226, p. 51-60, 2017.

ZHU, X. *et al.* Changes provoked by altitudes and cooking methods in physicochemical properties, volatile profile, and sensory characteristics of yak meat. **Food Chemistry: X**, v. 20, p. 101019, 2023.

ZIBLIM, Z. *et al.* The lysine degradation pathway analyzed with 1 H-NMR-targeted metabolomics of MG63 cells on poly (l-lactide)-based scaffolds. **RSC advances**, v. 15, n. 50, p. 42614-42629, 2025.

ZUBIETA, Á. S. *et al.* Does grazing management provide opportunities to mitigate methane emissions by ruminants in pastoral ecosystems? **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142029, 2021.