



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
MESTRADO EM CIÊNCIA ANIMAL

CAROLINE EMANUELLE DO AMARAL SANTA ROSA DE OLIVEIRA

**SILAGEM AMAZÔNICA: POTENCIAL DA SILAGEM DE CASCA DE
MANDIOCA COM OU SEM TORTA DE DENDÊ COMO FONTES NÃO
CONVENCIONAIS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES**

BELÉM

2025

CAROLINE EMANUELLE DO AMARAL SANTA ROSA DE OLIVEIRA

**SILAGEM AMAZÔNICA: POTENCIAL DA SILAGEM DE CASCA DE
MANDIOCA COM OU SEM TORTA DE DENDÊ COMO FONTES NÃO
CONVENCIONAIS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Pará (PPGCAN-UFGPA), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento sustentável de sistemas de produção animal

Orientador: Prof. Dr. Cristian Faturi

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Carvalho da Silva

BELÉM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O48s Oliveira, Caroline Emanuelle do Amaral Santa Rosa de.
Silagem amazônica: Potencial da silagem de casca de mandioca
com ou sem torta de dendê como fontes não convencionais na
alimentação de ruminantes / Caroline Emanuelle do Amaral Santa
Rosa de Oliveira. — 2025.
81 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Cristian Faturi
Coorientador(a): Prof. Dr. Thiago Carvalho da Silva
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Castanhal, Programa de Pós-Graduação
em Ciência Animal, Castanhal, 2025.

1. Análise econômica. 2. Elaeis guineenses. 3. Manihot
esculenta. 4. Nutrição. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 636.085

CAROLINE EMANUELLE DO AMARAL SANTA ROSA DE OLIVEIRA


SILAGEM AMAZÔNICA: POTENCIAL DA SILAGEM DE CASCA DE MANDIOCA
COM OU SEM TORTA DE DENDÊ COMO FONTES NÃO CONVENCIONAIS NA
ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Pará (PPGCAN-UFPA), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.


Orientador: Prof. Dr. Cristian Faturi

Data de aprovação: 29/08/2025
Conceito: A


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **CRISTIAN FATURI**
Data: 02/09/2025 16:21:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Presidente: Prof. Dr. Cristian Faturi – Orientador
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Documento assinado digitalmente
 **JOAO PAULO PACHECO RODRIGUES**
Data: 02/09/2025 18:37:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular: Prof. Dr. João Paulo Pacheco Rodrigues
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Documento assinado digitalmente
 **PEDRO DEL BIANCO BENEDETI**
Data: 02/09/2025 16:49:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular: Prof. Dr. Pedro Del Bianco Benedeti
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Documento assinado digitalmente
 **THOMAZ CYRO GUIMARAES DE CARVALHO ROD**
Data: 02/09/2025 17:10:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Titular: Prof. Dr. Thomaz Cyro Guimarães de Carvalho Rodrigues
Núcleo Territorial de Educação (NTE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me capacitar e permitir que eu pudesse seguir pelo caminho da pesquisa. Nem todos os dias foram fáceis, mas todos os dias Ele me deu forças para continuar. Escrevo esse texto 1 mês antes da defesa, com fé de que todo o esforço valeu a pena, me fez crescer, aprender e evoluir.

Agradeço ao meu marido, que é meu suporte. Ele sempre disse que iria comigo para qualquer lugar do mundo, no mestrado ele só precisou atravessar o país. Alu está comigo desde a graduação e foi meu maior incentivador para entrar no mestrado e quando eu não acreditei em mim, ele acreditou. Então dedico a ele essa e todas as outras conquistas que possuiremos juntos. Amo você, por todo tempo, sempre. Agradeço aos meus pais, irmãos, avó, sogros, que sempre me apoiaram e incentivaram meus estudos, tudo é para vocês.

Ao meu querido e amado GERFAM, meu grupo de estudo desde a graduação. Como vocês me fizeram crescer e querer ser uma profissional melhor, a todos os estagiários o meu “muito obrigada!” Cada treinamento foi pensado com muito carinho. Agradeço em especial aos meus companheiros de pós: Alu, Isa, Ju e Francy, o caminho foi difícil, mas a gente (como sempre) dá um jeito. Estamos juntos nessa!

Agradeço à UPEC-Udesc, grupo de estudos que me acolheu em Chapecó, obrigada por me ensinarem e me acompanharem durante as análises, vocês foram muito importantes nesse ciclo (Ana, Joana, Melânia, Poliana, prof. Dr. Pedro Benedeti), foi uma honra conhecê-los!

Aos meus orientadores, prof. Dr. Cristian Faturi, obrigada por mesmo de longe me direcionar, pelo ensino e por todos os “Calma, Carol”, por todos esses anos de orientação e por fazer parte da minha caminhada. Ao prof. Dr. Thiago Carvalho, que pensou com carinho nesse projeto e que confiou no meu trabalho para executá-lo. Obrigada por todas as horas de conversas e ajustes na dissertação e por acreditar que eu conseguiria, construímos isso juntos, sou muito grata pela oportunidade, parceria e pela amizade. Estou orgulhosa do nosso trabalho. Admiro muito vocês!

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCAN), professores, coordenador e secretário, sou imensamente grata por todo o aprendizado compartilhado e pelo apoio dedicado em cada etapa, à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e a todos que contribuíram para realização desta pesquisa, meu muito obrigada!

Por fim, deixo registrado que ainda não cheguei ao topo, mas a vista de onde eu estou no momento já é ótima. Esse é o recado que deixo a quem lê estes agradecimentos: A beleza da vida acadêmica está justamente na jornada.

RESUMO

O milho é amplamente utilizado como componente energético em dietas para ruminantes. No entanto, o elevado custo e a competição com a alimentação humana, impulsionam a busca por ingredientes alternativos, como a casca de mandioca e torta de dendê, derivados agroindustriais. Esta dissertação é composta por dois capítulos com abordagens complementares e independentes: o primeiro avaliou por meio de ensaios *in vitro*, a cinética e fermentação ruminal de dietas contendo esses derivados; o segundo analisou a viabilidade econômica dos derivados em substituição ao milho em diferentes cenários de custo. No primeiro capítulo, utilizou-se amostras de silagem de capim mombaça (SM), silagem de casca de mandioca (SCM), torta de dendê (TD), farelo de soja (FS), milho grão moído (MGM), além da produção de silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD). Após a caracterização química dos ingredientes, formulou-se três dietas para bovinos de corte com ganho estimado de 1,4 kg/dia, alterando-se o componente energético: dieta 1 (MGM), dieta 2 (SCM) e dieta 3 (SCM+TD substituindo parcialmente o MGM). Os ensaios *in vitro* foram conduzidos para avaliar a produção total de gases e a cinética de fermentação ruminal. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) e as incubações o fator de blocagem. As garrafas em cada incubação foram consideradas unidades experimentais. O MGM e a SCM apresentaram volumes semelhantes de gás em 48 horas (146 e 155 mL/g MS) e digestibilidade da matéria orgânica (626 e 638 g kg⁻¹ MS), enquanto a SCM+TD teve desempenho inferior (95 mL/g MS e 560 g kg⁻¹ MS). As dietas 1, 2 e 3 não diferiram na produção de gás em 48 horas (123, 129 e 122 mL/g MS, respectivamente) e na digestibilidade da matéria orgânica (604, 613 e 604 g kg⁻¹ MS, respectivamente), indicando que a substituição total do MGM por SCM, ou parcial por SCM+TD, é viável do ponto de vista fermentativo *in vitro*. No segundo capítulo, realizou-se a análise econômica comparando os custos unitários e das dietas substituindo o MGM pela SCM ou SCM+TD. Foram considerados oito cenários, nos quais se variou o custo de aquisição dos ingredientes, simulando condições de mercado favoráveis e desfavoráveis. Adicionalmente, quatro cenários contemplaram as três dietas formuladas (D1, D2 e D3), avaliando o impacto da substituição total ou parcial do MGM em diferentes contextos de preços. Em geral, nas simulações de aquisição dos ingredientes a SCM e a SCM+TD apresentaram menores custos por kg de matéria seca em 65% e 73% das combinações, respectivamente) e custos por kg de nutrientes digestíveis totais (65% e 59% das combinações, respectivamente). Em relação à comparação das dietas, a SCM destacou-se como a alternativa mais econômica em três dos quatro cenários apresentados. A silagem de casca de mandioca com ou sem adição de torta de dendê, pode apresentar viabilidade nutricional e econômica para substituir parcial ou totalmente o milho em dietas para ruminantes, configurando-se como estratégia sustentável no âmbito da nutrição animal.

Palavras-chave: Análise econômica, Dieta, *Elaeis guineenses*, Fermentação, *Manihot esculenta*, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Corn is widely used as an energy component in ruminant diets. However, its high cost and competition with human consumption drive the search for alternative ingredients, such as cassava peel and palm kernel cake, which are agro-industrial by-products. This dissertation is structured into two complementary yet independent chapters: the first evaluated, through *in vitro* assays, the kinetics and ruminal fermentation of diets containing these by-products; the second analyzed their economic feasibility as substitutes for corn under different cost scenarios. In the first chapter, samples of *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça silage (MS), cassava peel silage (CPS), palm kernel cake (PKC), soybean meal (SM), ground corn grain (GCG), and cassava peel silage combined with palm kernel cake (CPS+PKC) were used. After chemical characterization of the ingredients, three diets were formulated for beef cattle with an estimated daily gain of 1.4 kg, differing only in the energy component: diet 1 (GCG), diet 2 (CPS), and diet 3 (CPS+PKC, partially replacing GCG). *In vitro* assays were conducted to evaluate cumulative gas production and ruminal fermentation kinetics. The experimental design was a randomized block design, with incubations as the blocking factor. Bottles within each incubation were considered experimental units. GCG and CPS showed similar gas volumes at 48 h (146 and 155 mL/g DM, respectively) and organic matter digestibility (626 and 638 g kg⁻¹ DM, respectively), whereas CPS+PKC showed lower performance (95 mL/g DM and 560 g kg⁻¹ DM). Diets 1, 2, and 3 did not differ in gas production at 48 h (123, 129, and 122 mL/g DM, respectively) or in organic matter digestibility (604, 613, and 604 g kg⁻¹ DM, respectively), indicating that the total replacement of GCG by CPS, or partial replacement by CPS+PKC, is feasible from the perspective of *in vitro* ruminal fermentation. In the second chapter, an economic analysis was carried out by comparing the unit costs and diet costs when replacing GCG with CPS or CPS+PKC. Eight scenarios were considered, varying ingredient acquisition costs to simulate favorable and unfavorable market conditions. In addition, four scenarios included the three formulated diets (D1, D2, and D3), assessing the impact of total or partial replacement of GCG under different price contexts. Overall, in the simulations of ingredient acquisition, CPS and CPS+PKC presented lower costs per kg of dry matter (65% and 73% of combinations, respectively) and lower costs per kg of total digestible nutrients (65% and 59% of combinations, respectively). Regarding the comparison of diets, CPS stood out as the most economical alternative in three of the four scenarios. Cassava peel silage, with or without the addition of palm kernel cake, demonstrates nutritional and economic feasibility as a partial or total substitute for corn in ruminant diets, representing a sustainable strategy within animal nutrition.

Keywords: Diet, Economic analysis, *Elaeis guineenses*, Fermentation, *Manihot esculenta*, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Partição de energia do alimento	15
Figura 2 – Maiores produtores mundiais de milho (milhões de t) em 2023.....	16
Figura 3 – Produção nacional de milho (t) no ano de 2023.....	17
Figura 4 – Principais culturas produzidas (t) no estado do Pará em 2023.....	20
Figura 5 – Maiores produtores mundiais de mandioca (milhões de t) no ano de 2023.....	21
Figura 6 – Produção de mandioca (t) nas regiões brasileiras entre os anos de 2000-2023	22
Figura 7 – Histórico dos cinco maiores estados produtores de mandioca (t) de 2000 a 2023 ..	22
Figura 8 – Derivados da mandioca utilizados na alimentação animal	23
Figura 9 – Morfologia da raiz e casca de mandioca	25
Figura 10 – Processamento mecanizado da raiz da mandioca para obtenção de casca de mandioca.....	26
Figura 11 – Distribuição mundial dos maiores produtores de dendê (milhões de t) em 2023 ..	28
Figura 12 – Obtenção industrial da torta de dendê	29
Figura 13 – Torta de dendê.....	29
Figura 14 – Funcionamento dos módulos utilizados na produção de gases in vitro	32

CAPÍTULO II

Figura 1 – Cinética de degradação in vitro do milho grão moído (MGM), silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD)	50
Figura 2 – Cinética de degradação in vitro de dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3).....	52

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Composição química do milho (grão)	18
Tabela 2 – Composição química da casca de mandioca.....	26
Tabela 3 – Composição química da torta de dendê	30

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Composição química dos alimentos (g kg^{-1})	46
Tabela 2 – Proporção dos ingredientes e composição química das dietas experimentais	46
Tabela 3 – Características de fermentação ruminal in vitro do milho grão moído (MGM), Silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD)	51
Tabela 4 – Características de fermentação ruminal in vitro de dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3).....	53

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Composição química dos alimentos (g kg^{-1})	66
Tabela 2 – Custos por quilograma de matéria natural ($\text{R\$/kg MN}$) e matéria seca ($\text{R\$/kg MS}$) dos ingredientes	68
Tabela 3 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e da silagem de casca de mandioca (SCM) com base na matéria seca ($\text{R\$/kg MS}$).....	69
Tabela 4 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca (SCM), com base nos nutrientes digestíveis totais ($\text{R\$/kg NDT}$)	70
Tabela 5 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD), com base na matéria seca ($\text{R\$/kg MS}$) ..	71
Tabela 6 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD), com base nos nutrientes digestíveis totais ($\text{R\$/kg NDT}$)	72
Tabela 7 – Proporção dos ingredientes, composição química e cenários econômicos das dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3).	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGCC – Ácidos graxos de cadeia curta

CH₄ – Metano

CNF – Carboidratos Não Fibrosos

CO₂ – Dióxido de Carbono

DIVMO – Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica

EB - Energia Bruta

ED – Energia Digestível

EM – Energia metabolizável

EL – Energia líquida

EE – Extrato etéreo

FDA – Fibra Insolúvel em Detergente Ácido

FDN – Fibra Insolúvel em Detergente Neutro

FS – Farelo de Soja

ha – Hectare

HCN – Ácido Cianídrico

K1 – Taxa de degradação da fração rápida

K2 – Taxa de degradação da fração lenta

L – Período de latência

LIG – Lignina

MJ – Megajoule

MGM – Milho grão Moído

MM – Matéria Mineral

MN – Matéria Natural

MO – Matéria Orgânica

MS – Matéria Seca

NDT – Nutrientes Digestíveis Totais

N-NH₃ – Nitrogênio Amoniacal

PB – Proteína Bruta

PG – Produção de gás

PV – Peso vivo

SCM – Silagem de Casca de Mandioca

SCM+TD – Silagem de casca de mandioca com torta de dendê

SM – Silagem de Mombaça

t – Tonelada

TD – Torta de Dendê

V1 – Volume de Gases Produzidos pela fração rápida

V2 – Volume de Gases Produzidos pela fração lenta

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2. CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. PARTIÇÃO ENERGÉTICA E METABOLISMO DE CARBOIDRATOS	14
2.2. MILHO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL	16
2.3. DERIVADOS DA AGROINDÚSTRIA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES	19
2.3.1. Mandioca na alimentação animal	21
2.3.2. Dendê na alimentação animal	27
2.4. PRODUÇÃO DE GASES <i>IN VITRO</i>	31
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
3. CAPÍTULO 2 – CINÉTICA RUMINAL E PARÂMETROS FERMENTATIVOS <i>IN VITRO</i> DA SILAGEM DE CASCA DE MANDIOCA COM E SEM INCLUSÃO DE TORTA DE DENDÊ	42
RESUMO	42
ABSTRACT	43
3.1. INTRODUÇÃO	44
3.2. MATERIAL E METODOS	45
3.2.1. Aquisição dos alimentos	45
3.2.2. Composição química e formulação das dietas	45
3.2.3. Delineamento experimental das análises <i>in vitro</i>	47
3.2.4. Produção de gases <i>in vitro</i>	47
3.2.5. Determinação de pH e Nitrogênio amoniacal	49
3.2.6. Análise Estatística	49
3.3. RESULTADOS	49
3.4. DISCUSSÃO	53
3.5. CONCLUSÃO	57
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
4. CAPÍTULO 3 – TOMADA DE DECISÃO SOBRE O USO DE SILAGENS DE CASCA DE MANDIOCA COM OU SEM TORTA DE DENDÊ NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES	62
RESUMO	62
ABSTRACT	63
4.1. INTRODUÇÃO	64
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	65
4.2.1. Aquisição dos alimentos	65
4.2.2. Composição química e formulação das dietas	65
4.2.3. Análise econômica	66
4.3. RESULTADOS	68
4.4. DISCUSSÃO	74

4.5. CONCLUSÃO	78
4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O milho é o principal ingrediente energético na alimentação animal, entretanto, o custo de aquisição e a concorrência com a alimentação humana, provoca oscilações de mercado e eleva o custo das dietas. Nesse contexto, torna-se essencial buscar alternativas, como o uso de ingredientes não convencionais, com o objetivo de melhorar a relação custo-benefício nos sistemas de produção (Vieira *et al.*, 2017).

Tais alimentos, considerados passivos ambientais, podem ser utilizados na alimentação animal, pois agregam valor e promovem a renda local, além de diminuir o impacto ambiental (Fiorda *et al.*, 2013). Os derivados agroindustriais utilizados na alimentação animal podem ser provenientes de culturas como laranja, mandioca, soja, milho, cana-de-açúcar, entre outras, destacando a ampla variedade disponível conforme a região e a sazonalidade da produção agrícola (Bizzuti, 2019).

Dentre os alimentos utilizados como alternativa aos convencionais, destaca-se a mandioca e o dendê. A mandioca é utilizada principalmente na produção de farinha e fécula em diversos países do mundo, inclusive o Brasil (Ribeiro; Baptista; Novais, 2024). O estado do Pará é o maior produtor nacional de mandioca, o que indica sua importância e disponibilidade desse alimento na região para a alimentação humana e a partir do processamento da raiz, diversos derivados são produzidos, como a casca da mandioca que pode ser utilizada na alimentação animal (Dourado *et al.*, 2020; IBGE, 2024). No processo manual de produção de farinha, em média, 220 kg de casca são obtidos a partir de uma tonelada de raízes (Ikujenlola & Opawale, 2007).

A casca da mandioca *in natura* possui cerca de 34% de matéria seca (MS) na sua composição e apresenta mais de 50% de amido na MS (Faria *et al.*, 2011; Prado *et al.*, 2000; Santos, 2011). Esse alimento pode ser incluído na dieta como fonte de carboidratos altamente degradável no rúmen, o que eleva a concentração de energia (Niayale *et al.*, 2019). Seus teores de proteína bruta (PB) são baixos, pois oscila entre 2 a 5% (Guimarães *et al.*, 2016; Gunun *et al.*, 2023).

Por ser um alimento úmido, a casca de mandioca quando armazenada inadequadamente, é susceptível à deterioração (Pitirini, 2023). Entretanto, sua conservação pode ser realizada por desidratação ou fermentação na forma de silagem (Faria *et al.*, 2011). Segundo pesquisas e observações a campo, a ensilagem apresenta produção de efluentes, provavelmente devido ao seu teor de MS e à baixa concentração de fibra, que contribui para menor retenção da umidade (Célino *et al.*, 2014). Os efluentes da silagem são constituídos por componentes orgânicos

(açúcares, ácidos orgânicos, proteínas) e uma alternativa para minimizar essas perdas seria a utilização de aditivos absorventes de umidade. Geralmente, esses aditivos apresentam elevado teor de MS, aceitabilidade e fornecimento de substratos para fermentação (Zanine *et al.*, 2010).

Dentre os aditivos absorventes de umidade, a torta de dendê tem sido utilizada na ensilagem de gramíneas e outros alimentos, como a casca de mandioca (Alvarenga, 2015; Pitirini 2023). Cerca de 97% da produção nacional de dendê foi concentra-se no estado do Pará e dentre os derivados oriundos da prensagem da amêndoa do dendê (palmiste) para extração do óleo, obtêm-se a torta de dendê, que pode ser usada como ingrediente na dieta de ruminantes (IBGE, 2024; Morais *et al.*, 2013). Dentre as características nutricionais, a torta de dendê apresenta teor de MS entre 88% e 94% e fibra em detergente neutro (FDN) acima de 50% e pode chegar até 81% (Carvalho, 2004; Visoná-Oliveira *et al.*, 2015). O teor de PB varia entre 10 e 16% (Santa Rosa, 2022; Visoná-Oliveira *et al.*, 2015) e extrato etéreo (EE) entre 6 a 22%, dependendo do seu processamento (Andrade Sobrinho, 2010; Santa Rosa, 2022).

Contudo, apesar das características nutricionais que envolve a composição química de ambos os alimentos, estudos que demonstram como a microbiota ruminal é modulada com dietas envolvendo esses derivados da agroindústria e os custos de produção são limitados. É necessário avaliar a viabilidade nutricional e econômica da substituição parcial ou total do milho por esses alimentos como componentes energéticos na dieta de ruminantes. Além disso, o aproveitamento desses alimentos contribui para a sustentabilidade do setor, pois gera destino e valor econômico a resíduos que seriam descartados, fortalece a economia circular e reduz a competição por grãos entre a alimentação animal e humana.

A dissertação está organizada em capítulos, sendo o primeiro uma revisão de literatura, o segundo um artigo científico intitulado “**Cinética ruminal e parâmetros fermentativos *in vitro* da silagem de casca de mandioca com e sem inclusão de torta de dendê**” e o terceiro capítulo intitulado “**Tomada de decisão sobre o uso de silagens de casca de mandioca com ou sem torta de dendê na alimentação de ruminantes**”.

2. CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

A busca por sistemas de produção mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis tem incentivado a substituição parcial ou total de ingredientes convencionais, como o milho, por alternativas oriundas da agroindústria. Nesse cenário, a mandioca e seus derivados surgem como alternativa promissora pela elevada disponibilidade e composição energética. Da mesma forma, derivados do processamento de oleaginosas, como o dendê, têm sido estudados

como potenciais fontes de energia na nutrição de ruminantes, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais, sendo necessário a compreensão de como essa energia será disponibilizada para os ruminantes.

2.1. PARTIÇÃO ENERGÉTICA E METABOLISMO DE CARBOIDRATOS

A composição da dieta tem grande influência no desempenho animal, sendo capaz de atender as exigências de manutenção, produção e permitir que o animal expresse todo potencial produtivo. Para tal, é necessário conhecer os alimentos que serão utilizados na dieta e sua composição química, pois influenciam diretamente na ingestão, digestão, taxa de passagem e consequentemente no aproveitamento dos nutrientes (Berchielli; Pires; Oliveira, 2006).

Neste contexto, os ingredientes são classificados de acordo com a composição, sendo os concentrados energéticos aqueles que possuem menos de 20% de proteína bruta em sua composição. Em compensação, possuem diferentes concentrações de carboidratos, que compõem cerca de 70% a 80% dos ingredientes da dieta (Buccioni; Capucci; Mele, 2015). Os carboidratos são as principais fontes de energia para os animais e podem ser classificados como fibrosos, como a celulose e a hemicelulose, ou não fibrosos, como amido, pectina e açúcares solúveis (Kozloski, 2017).

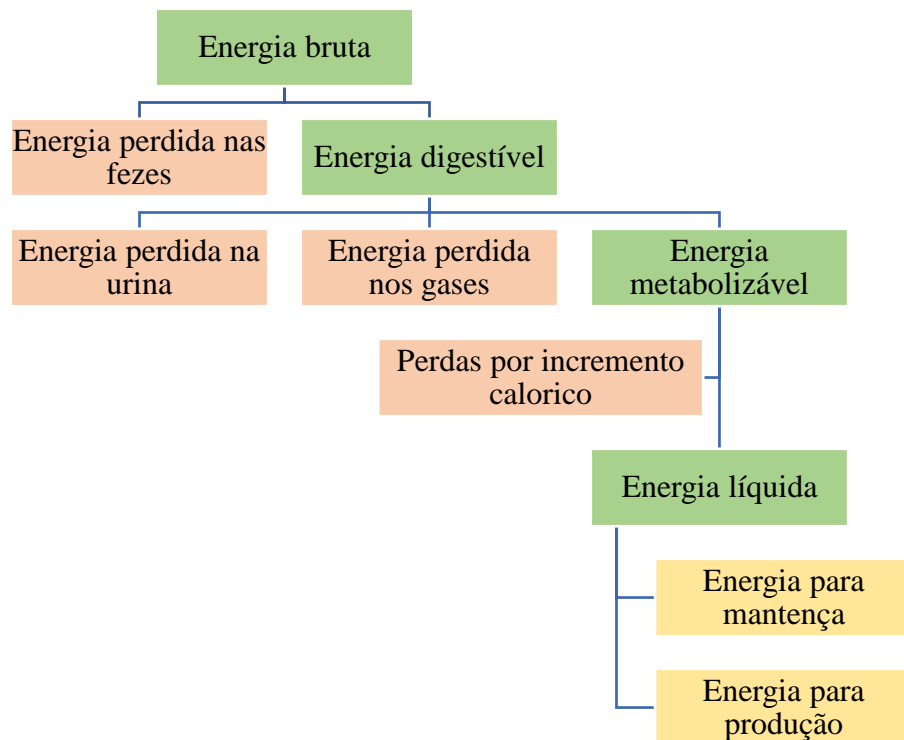
O amido, principal carboidrato de reserva dos vegetais, possui taxa de degradação no rúmen variável de acordo com o grau de cristalização e processamento, possuindo como característica a alta taxa de fermentação, com produção de ácido láctico e consequente redução do pH ruminal. Além disso, ajuda no crescimento de bactérias ruminais e reduz o tempo de colonização nos alimentos (Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015).

Por outro lado, a degradabilidade dos carboidratos fibrosos como celulose e hemicelulose varia (25-90%, 45-90%, respectivamente) pela associação a compostos que não são degradados, como a lignina. Normalmente os carboidratos fibrosos possuem menor digestibilidade que os carboidratos não fibrosos, portanto, fornecem menor quantidade de energia. O teor de lignina do alimento também deve ser considerado, pois interfere na quantidade de energia disponível para o ruminante (Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015).

A energia corresponde ao potencial que determinado alimento possui para gerar trabalho. O total de energia que o alimento contém até ser metabolizado a dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) é chamado de energia bruta (EB), no entanto, a partir dessa energia não é possível saber quanto o animal irá aproveitar, pois ocorrem perdas durante o processo de digestão e metabolização. Parte da energia é perdida nas fezes e a porção absorvida pelo

organismo é chamada de energia digestível (ED). No metabolismo da ED ocorrem perdas pela urina e gases e a porção descontando essas perdas se chama energia metabolizável (EM), que está disponível para as células do animal. No entanto, ocorre as perdas pelo incremento calórico (calor referente a metabolização dos alimentos). A energia resultante após descontar o incremento calórico é chamada de energia líquida (EL), que será a porção energética disponível para o animal destinar para manutenção e produção (Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015) (Figura 1).

Figura 1 – Partição de energia do alimento



Fonte: Adaptado de Medeiros; Gomes; Bungenstab (2015)

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) são a estimativa do valor energético dos alimentos utilizados na alimentação de ruminantes, representando a fração efetivamente digestível e aproveitada pelo animal. Esse parâmetro inclui a soma dos nutrientes digestíveis presentes no alimento. O NDT é expresso como porcentagem da matéria seca e pode ser obtido por ensaios de digestibilidade ou equações de predição baseadas na composição química do alimento (Cappelle *et al.*, 2001; Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015).

Grande parte desse valor energético é obtido através dos carboidratos da dieta, fundamentais no metabolismo ruminal. No rúmen, os carboidratos (polissacarídeos) são degradados extracelularmente à monossacarídeos (glicose) e, uma vez dentro da célula microbiana, metabolizados a piruvato e produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC),

usados como precursores de gordura e geradores de energia (ácido acético (C2) e butírico (C4)) ou glicose (propiónico (C3)) (Medeiros; Gomes; Bungenstab, 2015; Kozloski, 2017). A principal fonte de energia para os ruminantes é a produção de AGCC (75%) e o que não foi utilizado foi aproveitado pelos microrganismos para sua multiplicação ou perdido em forma de hidrogênio ou metano (Pupa & Rennó, 2023).

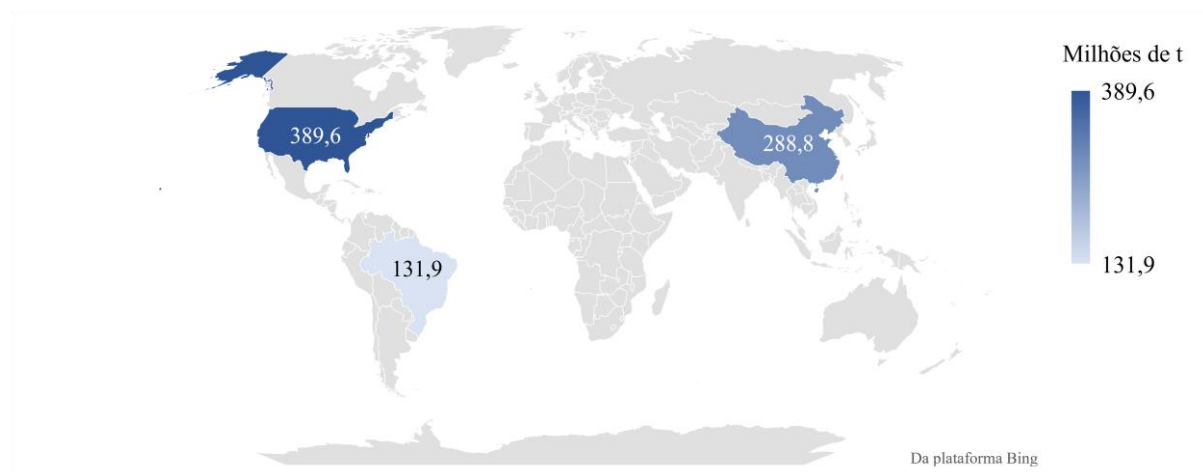
Dado o papel central dos AGCC na produção de energia para os ruminantes, a escolha dos ingredientes da dieta torna-se estratégica. Entre as diversas opções disponíveis, o milho destaca-se como o cereal energético mais utilizado na alimentação animal, devido à concentração de amido e excelentes características fermentativas no rúmen.

2.2. MILHO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

O milho é uma gramínea pertencente à família Poaceae, de gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L., cuja utilização possui mais de 10.000 anos, tanto na alimentação humana quanto animal. Ao longo dos anos, os humanos selecionaram características da planta que atendiam aos seus interesses, tornando-a mais produtiva e exigente no preparo de solo, adubação e boas práticas de manejo para maior produtividade, tornando-a mais exigente e dependente do manejo humano (Galvão; Borém; Pimentel, 2017).

O Brasil é o 3º maior produtor mundial de milho, atrás dos Estados Unidos (389.694.460 t) e China (288.842.300 t) (Figura 2) e está entre os maiores exportadores, sendo o maior na safra de 2023 exportando 55.898.041 toneladas de grãos, aproximadamente 40% da sua produção total (FAO, 2023).

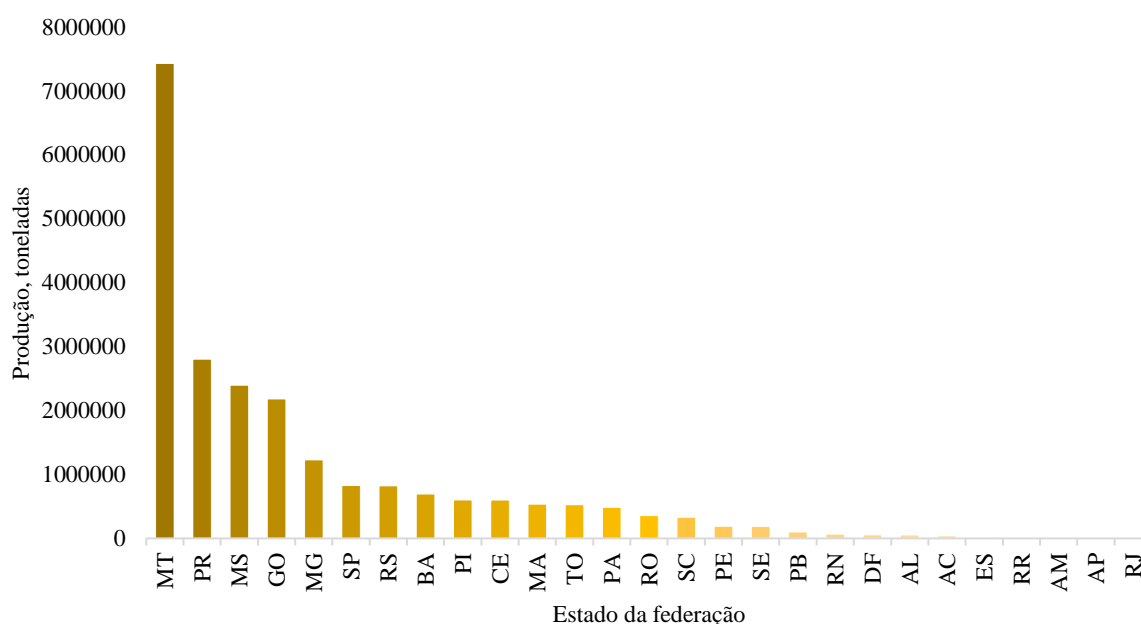
Figura 2 – Maiores produtores mundiais de milho (milhões de t) em 2023



Fonte: Adaptado de FAO (2023)

No Brasil, o milho é a segunda maior cultura produzida, atrás da soja (IBGE, 2023). Em 2023, a área plantada superou 22 milhões de hectares de milho, produzindo 131 milhões de toneladas de grãos. A produção concentra-se principalmente nas regiões centro-oeste e sudeste (Figura 3) e o maior estado produtor é o Mato Grosso com 7.429.526 t de grãos produzidas. O estado do Pará é responsável por apenas 1,31% da produção nacional (1.739.135 t), sendo o 13º maior produtor à nível nacional (IBGE, 2023).

Figura 3 – Produção nacional de milho (t) no ano de 2023



Fonte: Adaptado de IBGE (2023)

Apesar da vasta produção nacional, o estado do Pará não se destaca nacionalmente pela produção de milho, o que influencia nos custos de aquisição deste cereal para a alimentação de ruminantes. O preparo do solo, sementes, fertilizantes, uso de defensivos agrícolas, maquinário, processamento, dentre outros, eleva os custos de produção e comercialização (Artuzo *et al.*, 2018). Além disso, os custos com o frete principalmente na região norte são maiores se comparados com as demais regiões do país (Silva; Silva; Bispo, 2023).

Em termos nutricionais, o grão de milho é classificado como concentrado energético, com média de 9% de PB e alta concentração de carboidratos de reserva, como amido (61%), glúten (19%), gérmen (4%) e água (16%), sendo o alimento energético mais utilizado na alimentação animal (Goes; Silva; Souza, 2013).

O amido é o principal carboidrato do milho, compõe cerca de 72% do peso total do grão (Hamaker; Tuncil; Shen, 2019). É composto principalmente por amilose e amilopectina, cujas

proporções variam de acordo com as variedades de milho, mas com média 72 a 78% de amilopectina e 22 a 28% de amilose (Gobetti *et al.*, 2013). Através da distribuição dos grânulos de amido e matriz proteica, o endosperma pode se classificado como vítreo ou farináceo. Os híbridos de milho brasileiros possuem predominantemente endosperma vítreo (mais duro), que dificulta a digestibilidade do amido pelos microrganismos ruminais, mas o processamento de grãos é capaz de aumentar a digestibilidade do amido (Bernardes *et al.*, 2018).

A taxa de digestão do grão de milho varia conforme sua estrutura física, sendo de 62,6% para o grão inteiro, 65% para o grão quebrado, 76,4% para o moído e 86% para o grão úmido (Pereira *et al.*, 2017). A menor digestibilidade do grão inteiro está relacionada à presença do pericarpo, que atua como barreira física ao acesso dos microrganismos ao amido (McAllister & Cheng, 1996). Com o processamento físico, como a trituração, moagem ou laminação ocorre a ruptura dessa camada externa, expondo os grânulos de amido e aumenta a disponibilidade para digestão (Batalha, 2015). Já o processo de floculação promove a gelatinização do amido e a ruptura da matriz proteica que envolve o endosperma, favorecendo ainda mais a digestibilidade (Passini *et al.*, 2004). De forma semelhante, na silagem de grão úmido ou reidratado, o processo degrada as proteínas zeínas (proteólise) e torna o amido mais disponível para os microrganismos ruminais (Carvalho *et al.*, 2017; Hoffman *et al.*, 2011).

O milho (grão) é amplamente utilizado na alimentação animal devido à sua qualidade nutricional (Tabela 1), sendo a principal fonte de energia nas dietas de ruminantes, especialmente categorias com alta demanda energética.

Tabela 1 – Composição química do milho (grão)

Referencial teórico	MS	MO	PB	FDN	FDA	EE	CNF	AMIDO
Marques <i>et al.</i> (2000)	88,7	98,7	10,8	12,1	4,10	-	-	71,0
Zambom <i>et al.</i> (2001)	88,6	98,8	8,87	9,99	5,44	4,14	-	-
Passini <i>et al.</i> (2004)	88,9	98,5	9,46	11,4	5,87	4,63	-	65,1
Véras <i>et al.</i> (2005)	86,0	97,1	8,50	15,2	3,60	3,54	-	-
Lima <i>et al.</i> (2012)	89,3	98,6	7,67	16,0	10,0	3,19	71,7	-
Santos <i>et al.</i> (2015)	89,9	97,7	10,5	11,6	4,14	4,00	71,5	69,3
Ferreira <i>et al.</i> (2017)	88,1	98,4	7,10	10,7	1,30	5,15	-	-
Vasconcelos <i>et al.</i> (2019)	88,7	98,4	7,63	16,7	-	4,61	69,7	63,4
Soares <i>et al.</i> (2024)	91,0	98,4	9,80	15,2	14,9	-	69,3	-

MN: matéria natural; MS: Matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos.

A composição química do milho é caracterizada por elevada concentração de MS (acima de 85%) e alto teor de amido, que representa entre 60 e 70% da MS. Além disso, apresenta baixos teores de FDN (inferiores a 18%), PB (em torno de 9%) e EE entre 3% e 5%, resultando em NDT aproximado de 80% (Goes; Silva; Souza, 2013). No entanto, o custo do milho tem apresentado variações nos últimos anos.

Essa oscilação impacta diretamente os custos de produção, especialmente na alimentação, que representa uma das maiores despesas nos sistemas intensivos. Assim, o uso de derivados agroindustriais é uma opção recorrente, contribuindo para a redução de custos sem comprometer o desempenho produtivo dos animais (Nogueira *et al.*, 2021). Entretanto, algumas particularidades em relação a fatores nutricionais e econômicos precisam ser levadas em consideração para a utilização eficaz desses alimentos.

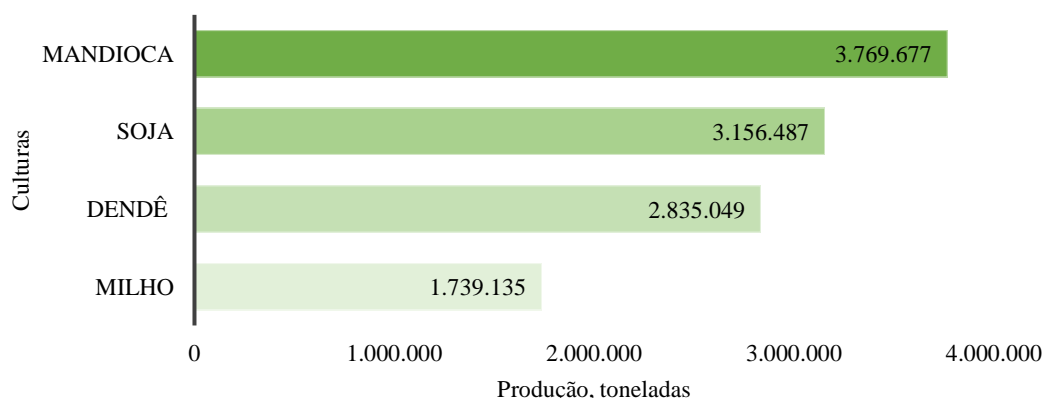
2.3. DERIVADOS DA AGROINDÚSTRIA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

A nutrição é responsável por até 80% dos custos totais na pecuária, sendo crucial na garantia do sucesso produtivo (Nogueira *et al.*, 2021). Em sistemas intensivos que utilizam suplementos proteicos ou energéticos na alimentação, as fontes mais utilizadas são à base de soja ou milho, que equivalem a cerca de 70% da composição da dieta e que sofrem mudanças de preço, interferindo diretamente na margem de lucro do produtor (Silva *et al.*, 2024).

A agropecuária contribuiu com 23,5% do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 2024, e considerando o desempenho econômico brasileiro até o momento pode representar 29,4% do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 2025 (CEPEA, 2025). No primeiro trimestre de 2025 a agroindústria cresceu 3,18% e a partir do processamento de produtos agrícolas como grãos, frutas e outros, diversos resíduos são produzidos como polpas, cascas, sementes e bagaço (CEPEA, 2025; Ricardino; Souza; Silva Neto, 2020).

O Brasil produz cerca de 664,68 milhões de toneladas de resíduos somente das principais culturas processadas, e dentre elas, 41,67 milhões de toneladas da mandioca, que reforça a importância de possibilitar destino e valor agregado (Woiciechowski *et al.*, 2013). Dentre as principais culturas do estado do Pará (Figura 4), destaca-se a mandioca, que possui grande relevância no cenário nacional, sendo o estado o maior produtor (IBGE, 2023).

Figura 4 – Principais culturas produzidas (t) no estado do Pará em 2023



Fonte: Adaptado de IBGE (2023)

Dentre as principais culturas produzidas, a soja, é o principal produto agropecuário exportado do Pará (COMEXTAT, 2025). A produção brasileira de dendê concentra cerca de 98% de sua produção no estado (IBGE, 2024). Seu principal produto é o óleo de palma, extraído da polpa dos frutos, e o óleo de palmiste, extraído da amêndoa. Ambos os óleos são amplamente utilizados nas indústrias alimentícia (margarinas, biscoitos, chocolates), cosmética (sabonetes, cremes, xampus), química (lubrificantes, detergentes) e na produção de biocombustíveis (Santana *et al.*, 2013). A inclusão de torta de dendê em até 10% da dieta é mais viável financeiramente, pois foi adquirida por R\$0,50/kg da matéria natural, e apesar de o lucro sem a inclusão ser ligeiramente maior (R\$0,08/animal), a produção de leite aumentou linearmente conforme foi adicionando a torta de dendê até o nível de 100g/kg de MS (Pimentel *et al.*, 2016).

Já o cenário da mandioca é constituído por uma grande quantidade de produtores com pequena escala de produção, ou seja, há uma grande produção estadual dividida em pequenas propriedades. Além disso, a dificuldade na organização da produção de raízes é um dos principais entraves na produção em escala e implantação de agroindústrias de maior porte (Alves; Alves; Modesto Junior, 2011). Apesar das dificuldades, é inegável que a mandioca possui grande importância para a agricultura familiar, pois traz benefícios econômicos para a população e para o estado através da geração de renda e empregos, além de ser uma fonte segurança alimentar, atuando no desenvolvimento socioeconômico (Aracaty *et al.*, 2023).

Substituindo o milho por derivados da mandioca, Prado *et al.* (2006) concluem que apesar da redução no consumo alimentar, não alterou o ganho de peso, conversão alimentar e rendimento de carcaça. A dieta contendo milho como fonte energética custou R\$1,20 (animal/dia) e a dieta substituindo parcialmente a casca de mandioca custou R\$0,90 (animal/dia). Ao avaliarem o lucro líquido, em um cenário onde o preço inicial da arroba

calculado em R\$29,00 e o preço final em R\$31,00, a dieta contendo casca de mandioca obteve maior lucro líquido (R\$58,01) em comparação com o milho (R\$42,27).

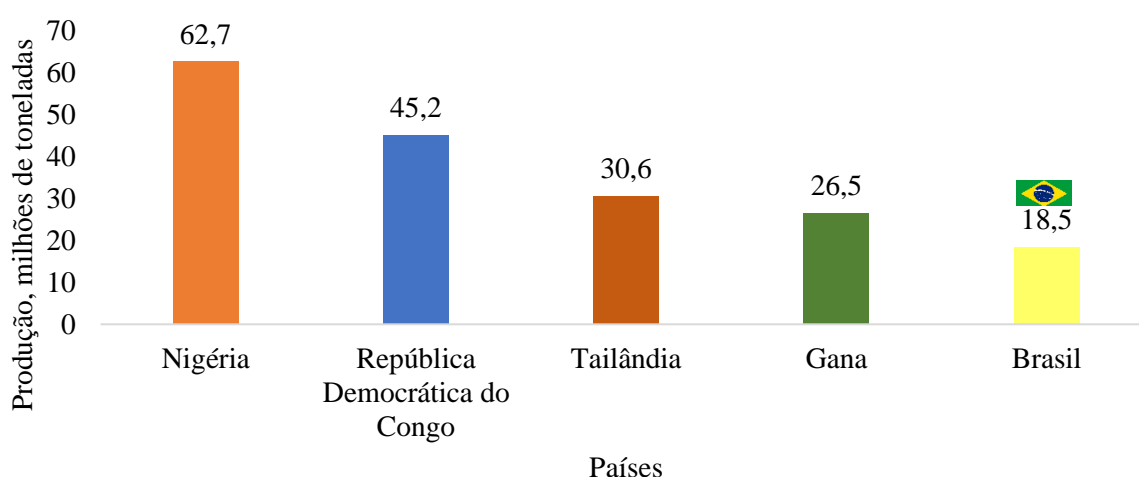
Como uma alternativa na alimentação animal, a mandioca tem se destacado devido à ampla disponibilidade, elevado teor energético e versatilidade de uso. Os derivados da raiz podem ser aproveitados como fontes de energia nas dietas de ruminantes e contribui na redução dos custos de produção e promovendo o aproveitamento de resíduos agroindustriais.

2.3.1. Mandioca na alimentação animal

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta perene, da família Euphorbiaceae, amplamente difundida no Brasil e no mundo. Destaca-se por sua rusticidade, valor nutricional e boa produtividade, sendo considerada cultura versátil. Suas raízes são ricas em amido, conferindo caráter energético e a parte aérea apresenta alto teor proteico, características que a tornam alternativa comprovada e recomendada para a alimentação animal (Silva *et al.*, 2010).

Originada na América do Sul, foi propagada para os demais continentes, principalmente o africano e asiático, o que justifica países como Nigéria, Tailândia, dentre outros serem os maiores produtores mundiais (Modesto Junior & Alves, 2016). O Brasil é o 5º maior produtor mundial (Figura 5), atrás da Nigéria (62.690.091 t), República democrática do Congo (45.173.584 t), Tailândia (30.616.586 t) e Gana (26.520.780) (FAO, 2023).

Figura 5 – Maiores produtores mundiais de mandioca (milhões de t) no ano de 2023

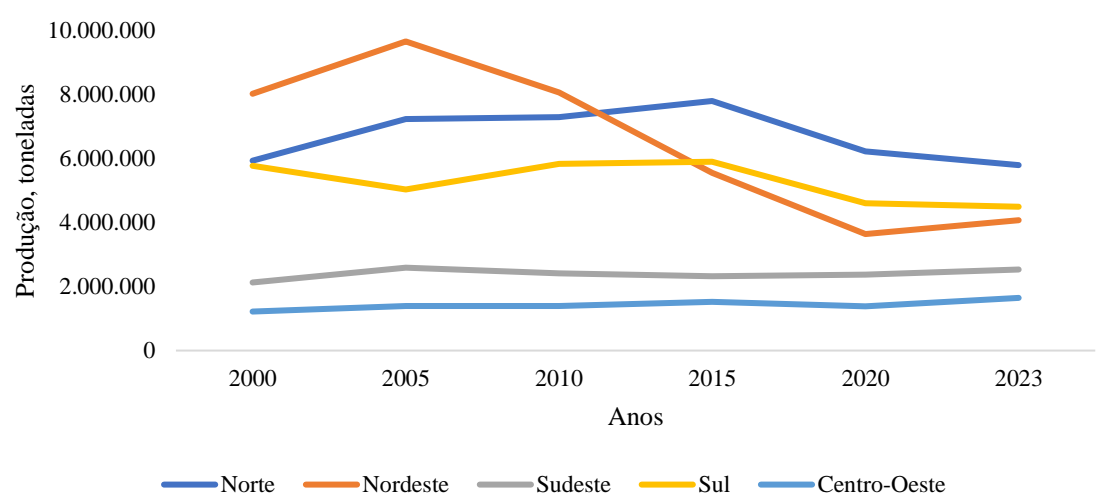


Fonte: Adaptado de FAO (2023)

O Brasil produziu mais de 18 milhões de toneladas de mandioca em 2023, distribuídas em todas as regiões do país, especialmente a norte, nordeste e sul. Por décadas, e até o ano de

2011 a região brasileira que mais produzia mandioca era o Nordeste, no entanto, a partir de 2012, a região norte assumiu a primeira posição (Figura 6).

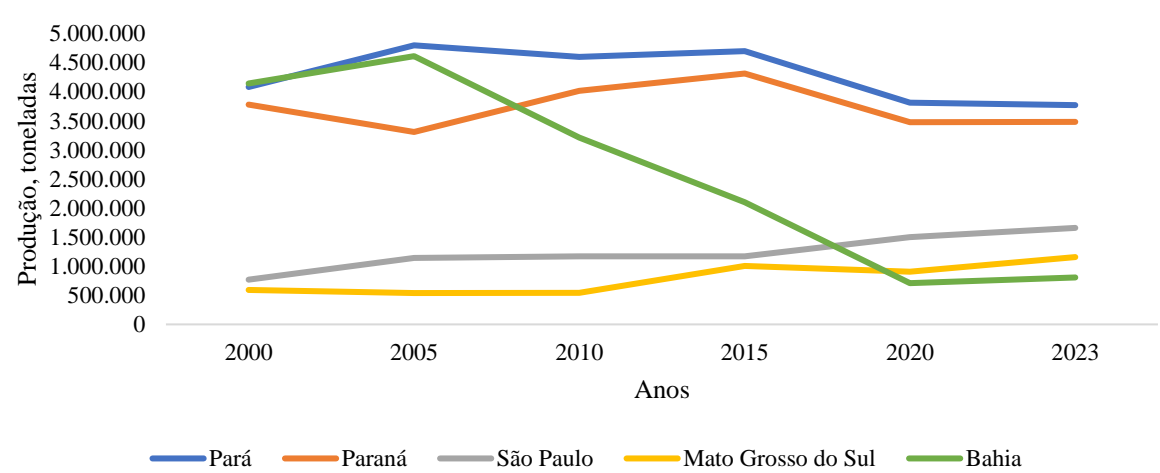
Figura 6 – Produção de mandioca (t) nas regiões brasileiras entre os anos de 2000-2023



Fonte: Adaptado de IBGE (2024)

Desde 2001, a Região Norte destaca-se como principal polo produtor de mandioca do país, tendo o estado do Pará como seu maior representante (Figura 7), com 3.769.677 toneladas de raiz produzidas em 2023. Em segundo lugar o estado do Paraná com 3.479.343 toneladas produzidas (IBGE, 2024).

Figura 7 – Histórico dos cinco maiores estados produtores de mandioca (t) de 2000 a 2023

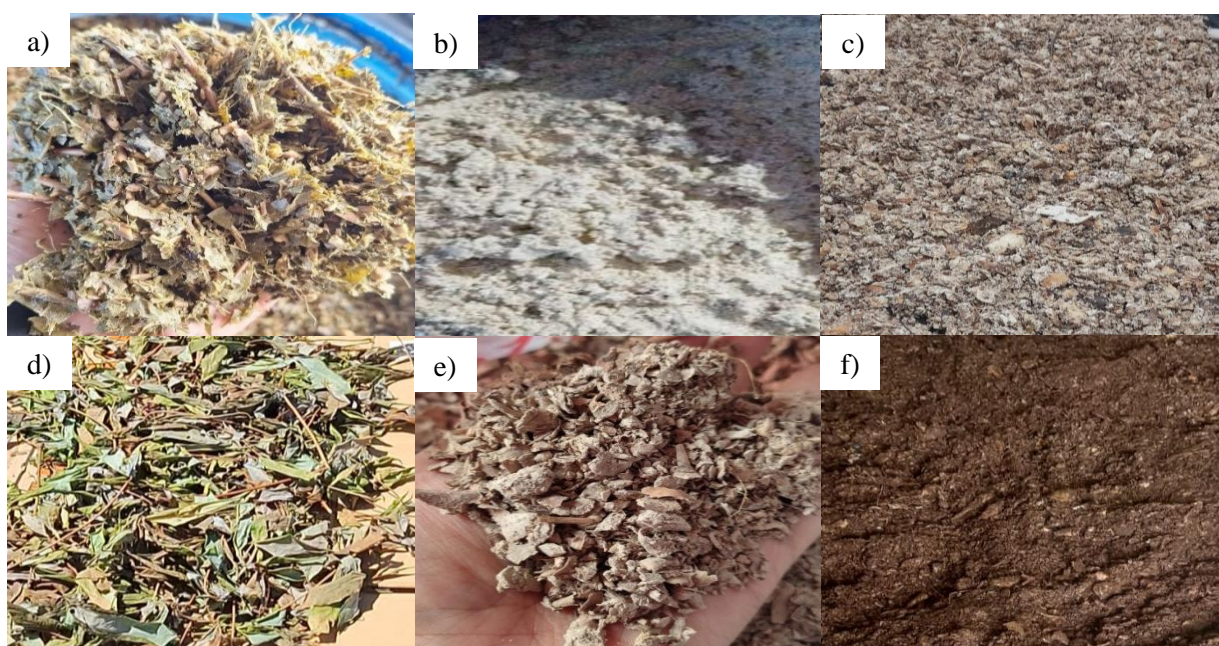


Fonte: Adaptado de IBGE (2024)

A produtividade (t/ha) da mandioca é baixa no estado do Pará se comparado a outros estados brasileiros. O Paraná possui produtividade de 25,40 t/ha enquanto o Pará possui 15,05 t/ha produzidas, o que demonstra que há potencial para intensificação dessa cultura no estado (IBGE, 2024). A baixa produtividade pode estar relacionada a diversos fatores como o método tradicional de derruba e queima, o uso de cultivares que não toleram certas condições ou de baixo potencial produtivo, falta de controle de plantas daninhas, manejo inadequado do solo e falta de seleção de manivas-semente. No entanto, alguns produtores já adotam tecnologias como preparo e correção do solo, adubação e mecanização, que elevam a produtividade (Alves & Modesto Junior, 2022). O cultivo da mandioca na região norte corresponde em sua maioria à agricultura familiar, contribuindo para a segurança alimentar de famílias da zona rural. Pode ser consumida *in natura*, como farinha ou derivados além de gerar renda através da venda de seus produtos e derivados (Vita *et al.*, 2021).

Da mandioca todas as partes são aproveitadas (Figura 8): as folhas podem ser usadas na alimentação humana ou animal, a parte aérea pode ser utilizada como fonte de energia e proteína na alimentação de ruminantes e o caule como maniva semente para novos plantios. A raiz é o principal produto e é utilizada na indústria alimentícia, têxtil, cosmética, dentre outros, além de se produzir a farinha, manipueira e, a partir dela, a produção do tucupi, molho parcialmente fermentado e condimentado utilizado em comidas típicas (Chisté & Cohen, 2011). Além disso, as cascas da raiz podem ser utilizadas na alimentação animal (Alves & Modesto Júnior, 2022).

Figura 8 – Derivados da mandioca utilizados na alimentação animal



Fonte: Arquivo pessoal

a) Silagem de parte aérea de mandioca; b) silagem de raiz de mandioca; c) silagem de casca de mandioca; d) folha de mandioca desidratada; e) casca de mandioca desidratada; f) silagem de casca de mandioca com torta de dendê

A mandioca possui dois glicosídeos cianogênicos (linamarina e lotaustralina), que em caso de ruptura nos tecidos da planta produzem ácido cianídrico (HCN) por hidrólise a partir da enzima linamarase através do processo de cianogênese e pode ser tóxico aos animais (Assis Linhares; Seixas; Maia, 2019). A mandioca possui três classificações levando em consideração a sua toxidez: 1 - Mandioca mansa, menor que 50 mg de HCN/kg de raiz, 2 - moderadamente venenosa, entre 50 e 100 mg HCN/kg; 3 - mandioca brava, com mais de 100 mg HCN/kg (Chisté & Cohen, 2008). A intoxicação ocorre pela ingestão de doses entre 2-4 mg de HCN/kg/PV/hora e os sintomas de intoxicação cianídrica aguda incluem dificuldades respiratórias, taquicardia, mucosas cianóticas, tremores musculares, falta de coordenação, podendo evoluir à morte (Amorim; Medeiros; Riet-Correa, 2006; Tokarnia; Dobereiner; Peixoto, 2000). A redução da toxidez pode ocorrer através do processo de desidratação ao ar (24 a 72 horas), fervura (5-15 minutos, reduz até 83% toxidez), ensilagem (redução de 70-80%) ou torrefação (redução de 100% da toxidez) (Goes; Silva; Souza, 2013).

A raiz é componente energético na alimentação humana, seja *in natura*, como farinha, tapioca, dentre outros e na alimentação animal. É composta por casca e entrecasca (15-20% do peso total da raiz) e polpa (80-85% do peso da raiz) (Rodrigues & Campos, 2001). No entanto, as raízes recém-colhidas são perecíveis, devido seu teor de umidade entre 62-68%, que varia de acordo com a idade da planta e condições ambientais (Rodrigues & Campos, 2001). Sua composição química contém PB entre 1,3% a 2,4% e CNF em média de 86% (Pitirini *et al.*, 2021). O teor de amido varia em torno de 86,1% (Oliveira *et al.*, 2007).

O amido é um carboidrato de reserva dos vegetais, sendo um homopolissacarídeo contendo cadeias de amilose (unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, formando uma cadeia linear) e amilopectina (unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura ramificada) (Denardin & Silva, 2009). O amido da mandioca possui em média 83% de amilopectina e 17% de amilose, sendo a amilose um pouco abaixo quando comparado aos cereais, que variam entre 20-30%, o milho, por exemplo, possui entre 25-28% de amilose (Weber; Collares-Queiroz; Chang, 2009).

Amidos com mais amilose apresentam menor digestibilidade, pois formam mais pontes de hidrogênio, que dificultam a hidrólise. O amido da mandioca, por conter menos amilose, menor formação de complexos lipídio-amilose, possui maior capacidade de expansão e maior digestibilidade em comparação ao amido de cereais como milho e sorgo (Rangel *et al.*, 2008).

A degradabilidade ruminal do amido presente nas raízes da mandioca é superior ao milho pela ausência do pericarpo, endosperma córneo e periférico e matriz proteica. Além disso, a menor proporção de amilose e lipídios nos grânulos de amido, reduz a quantidade de pontes

de hidrogênio na molécula de amido e eleva a sua capacidade de expansão em meio aquoso (Rangel *et al.*, 2008). A taxa de degradação ruminal do amido é: mandioca > trigo > cevada > aveia > milho e sorgo (Kozloski, 2017).

As indústrias de farinha utilizam acima de 80% da mandioca, tornando seus resíduos disponíveis em grandes quantidades. No entanto, se descartados de forma inadequada, geram contaminação ambiental, sendo necessário dar destino sustentável a esses resíduos para reduzir a poluição, produção de efluentes e proliferação de vetores (Souza *et al.*, 2015).

Souza *et al.* (2018) realizaram uma pesquisa com produtores de mandioca no nordeste paraense e, em relação às cascas e bagaços, 29% dos entrevistados utilizavam como adubo para frutas e hortaliças, 57% comercializavam os resíduos para a alimentação animal, 6% descartavam no meio ambiente e 8% utilizavam para suas próprias criações (suínos e aves). Desta forma, é possível aproveitar os resíduos, como a casca, na alimentação animal, sendo oportunidade de geração de renda aos pequenos produtores (Cordeiro *et al.*, 2020).

A casca da mandioca é um dos principais derivados produzidos, obtida através do descascamento das raízes (Dourado *et al.*, 2020) e é constituída além da casca por entrecasca e pontas de raízes (Figura 9). Possui teor de matéria seca (*in natura*) em torno de 34%, que mesmo sendo adequado para a produção de silagem, apresenta baixo poder higroscópico, ou seja, possui dificuldade em reter água, sendo um alimento perecível, caso não seja conservada de forma adequada (Célino *et al.*, 2014; Faria *et al.*, 2011; Vilhalva *et al.*, 2012).

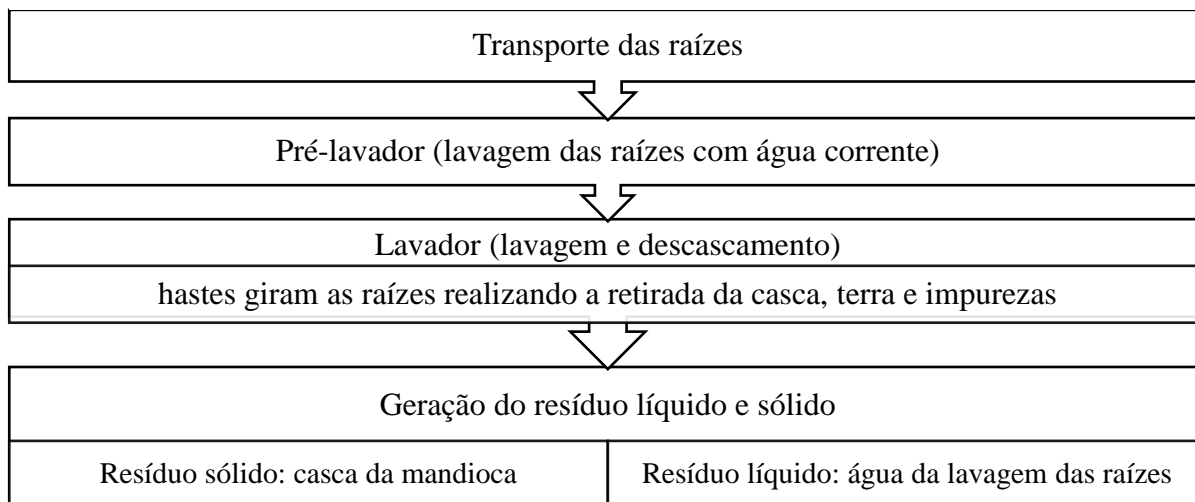
Figura 9 – Morfologia da raiz e casca de mandioca



Fonte: Arquivo Pessoal

O rendimento da casca de mandioca corresponde a 22% no processamento manual, chegando até 35% no processo mecanizado (Ikujenlola, & Opawale., 2007) (Figura 10).

Figura 10 – Processamento mecanizado da raiz da mandioca para obtenção de casca de mandioca



Fonte: Adaptado de Dourado *et al.*, (2020)

Dependendo do processamento, a casca de mandioca pode possuir compostos inorgânicos aderidos à casca, que consequentemente irão influenciar no teor de matéria orgânica (Santa Rosa, 2022), assim como ela pode ser processada na indústria de diferentes formas, influenciando no seu teor de matéria seca (Faria *et al.*, 2011). No entanto, deve-se considerar a falta de padronização da composição química desses derivados, pois variam de acordo com o processamento, condições climáticas e sazonais (Woiciechowski *et al.*, 2013), dados que podem ser observados na literatura no decorrer dos anos (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição química da casca de mandioca

Referencial teórico	MS	MO	PB	FDN	EE	CNF	AMIDO
Prado <i>et al.</i> (2000)	88,6	96,0	3,37	28,6	-	-	58,1
Ferreira <i>et al.</i> (2007)	32,4	92,0	4,25	20,5	1,29	66,2	-
Azevedo <i>et al.</i> (2011)	25,5	96,6	3,73	15,7	0,59	76,5	-
Santos (2011)	31,5	96,2	3,21	19,7	0,56	72,9	55,9
Gargantini <i>et al.</i> (2013)	25,6	96,3	4,51	28,8	0,70	-	-
Santos <i>et al.</i> (2015)	88,3	92,7	4,95	22,9	2,09	62,8	56,1
Guimarães <i>et al.</i> (2016)	90,6	98,0	5,55	22,6	0,67	-	-
Santa Rosa (2022)	37,5	83,0	3,82	27,2	1,24	50,7	-
Gunun <i>et al.</i> (2023)	29,6	83,2	2,10	52,1	-	-	-

MS: Matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos.

Como observado, os maiores teores de MS (acima de 88%) correspondem a estudos de casca de mandioca desidratada, pois *in natura* seu teor varia de 23,40% a 32,45%. A variação nos teores de amido de 27,5% até 58,10% está diretamente relacionada ao processamento da indústria, podendo indicar a presença de mais pontas de raízes que também pode influenciar nos teores de FDN, pois o processamento pode variar a composição química dos derivados, assim como a qualidade pode variar em função do local e época que foram adquiridos (Santos, 2014).

Mesmo com as variações na composição química, os estudos utilizando a casca de mandioca comprovam seu uso na alimentação animal como componente energético da dieta. Avaliando o desempenho de novilhas confinadas alimentadas com casca de mandioca em substituição ao milho, Prado *et al.* (2000) concluíram que a substituição não alterou o ganho médio diário, conversão alimentar e rendimento de carcaça, podendo ser utilizada como substituta. Faria *et al.* (2011) avaliaram diferentes processamentos da casca de mandioca (desidratada, ensilada ou hidrolisada) sob o desempenho de ovinos confinados e concluíram que não há alteração no desempenho, características de carcaça, rendimento de corte e morfologia ruminal. Guimarães *et al.* (2014) concluíram que a inclusão da casca da mandioca em até 30% na dieta não provoca alterações no consumo e desempenho de cordeiros confinados.

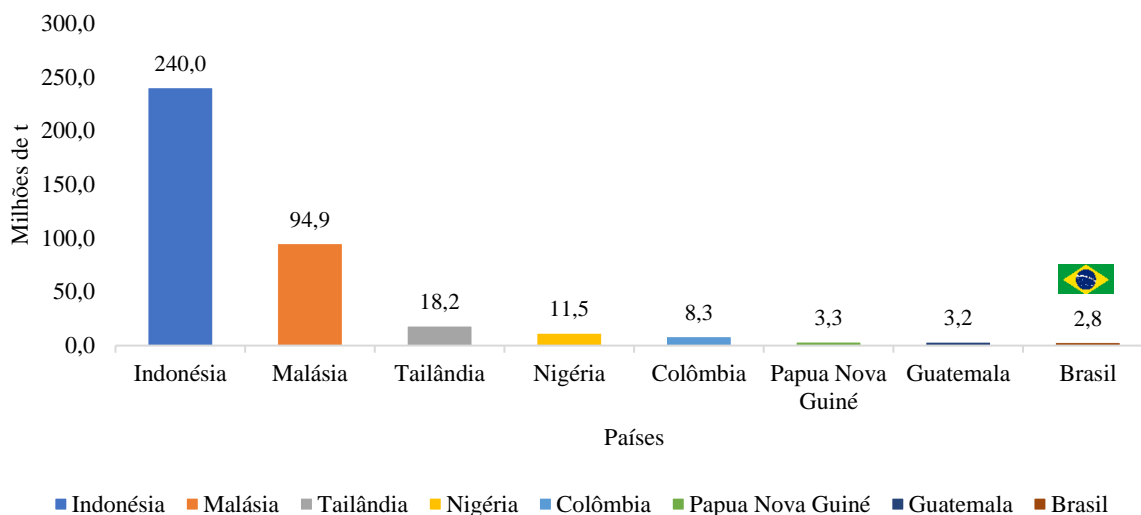
2.3.2. Dendê na alimentação animal

O Dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma oleaginosa de ciclo perene, pertencente à família *Arecaceae*, originário da África ocidental, região do Golfo de Guiné, trazida ao Brasil no século final do século XVI, sendo uma cultura que se adaptou à região e posteriormente foi levado à região amazônica, onde atualmente estão as maiores áreas de cultivo nacional (Venturieri *et al.*, 2009).

A produção mundial de dendê se concentra principalmente no continente asiático, com destaque para a Indonésia e Malásia. No entanto, a produção também está presente nos demais continentes, como a África e América Latina. No ranking mundial o Brasil é o 8º maior produtor (Figura 11), estando atrás da Indonésia (240.000.000 t), Malásia (94.952.547 t), Tailândia

(18.267.237 t), Nigéria (11.597.872 t), Colômbia (8.321.197 t), Papua Nova Guiné (3.359.197 t) e Guatemala (3.291.170 t) (FAO, 2023).

Figura 11 – Distribuição mundial dos maiores produtores de dendê (milhões de t) em 2023



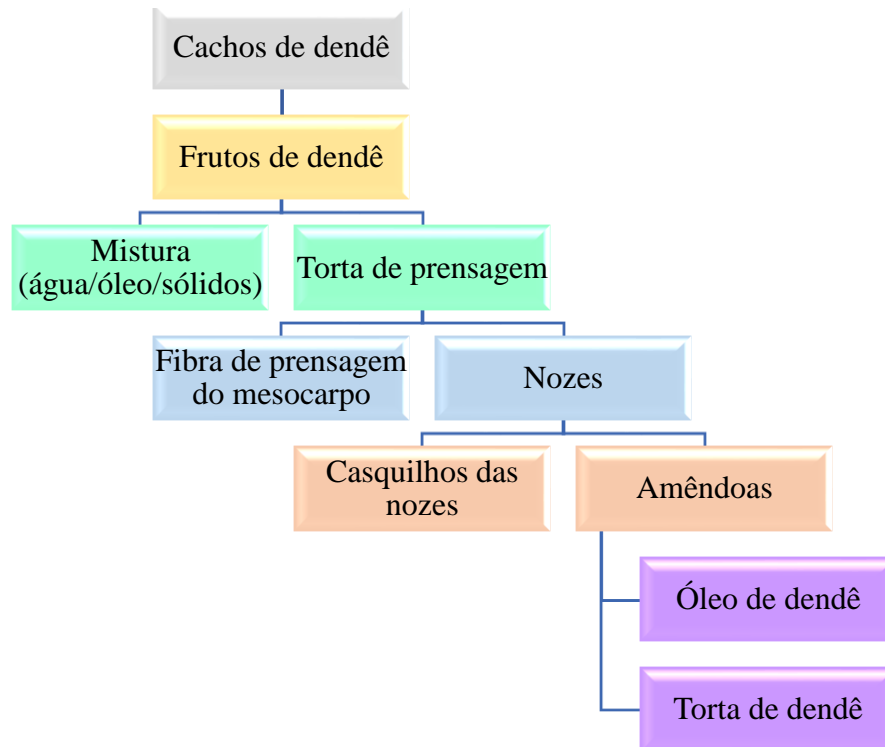
Fonte: Adaptado de FAO (2023)

A produção de dendê no Brasil em 2023 foi de 2.898.435 toneladas, com maior concentração na região norte, sendo o estado da Pará maior produtor (2.835.049 toneladas), com 97,81% da produção nacional (IBGE, 2024). Dentre as vantagens em produzir esta cultura destaca-se a disponibilidade de área, alta produtividade, mercado em expansão, utilização na indústria de biodiesel, baixo impacto ambiental e demanda de mão-de-obra (Costa *et al.*, 2011).

Com o passar dos anos a demanda do mercado por óleos vegetais cresceu, e o óleo do dendê é única oleaginosa que se extrai dois óleos: de palma, extraído da polpa do fruto e de palmiste (extraído da amêndoa) (Yokoyama, 2015). É a principal oleaginosa cultivada no mundo, destacando-se pelo alto sequestro de carbono na biomassa, baixa exigência de mecanização, produção perene e ampla diversificação de usos (como higiene, cosméticos, fármacos, biocombustíveis e alimentos). Sua produtividade é superior à da soja: enquanto 1 hectare de soja produz cerca de 600 kg de óleo, 1 hectare de palma pode produzir aproximadamente 6 toneladas de óleo (dez vezes mais) (Yokoyama, 2015; Antonini & Oliveira, 2021). Em média, para cada tonelada de cachos produzidos, são obtidos 22% de óleo, 12% de fibras, 5% de cascas e 3,5% de torta (Borges *et al.*, 2008).

A partir da extração do óleo da amêndoa (Figura 12) têm-se a torta de dendê (Figura 13), que possui entre 88-94% de matéria seca (Carvalho, 2006; Visoná-Oliveira *et al.*, 2015).

Figura 12 – Obtenção industrial da torta de dendê



Fonte: Adaptado de Moraes (2013)

Figura 13 – Torta de dendê



Fonte: Arquivo pessoal

A torta de dendê é um derivado com alto teor de fibra (acima de 50%) e lignina, que pode influenciar no consumo e digestibilidade da dieta (Cruz *et al.*, 2020). Parte da proteína é ligada à fibra o que a torna indisponível para os microrganismos ruminais e a quantidade de carboidratos não fibrosos é pequena, fração altamente degradável e fonte de energia. Entretanto, não é um alimento inadequado, pois pode ser utilizado como fonte energética

alternativa, desde que as características relacionadas a composição química deste alimento sejam levadas em consideração (Santos *et al.*, 2019) (Tabela 3).

Tabela 3 – Composição química da torta de dendê

Referencial teórico	MS	MO	PB	FDN	LIG	EE	CNF	NDT
Rodrigues Filho <i>et al.</i> (2001)	92,8	95,5	14,0	75,4	11,1	11,9	-	-
Carvalho <i>et al.</i> (2004)	88,3	95,5	14,5	81,8	-	7,19	1,53	-
Carvalho (2006)	88,1	96,7	14,2	71,2	9,27	13,5	7,68	60,0
Andrade Sobrinho (2010)	90,1	95,4	13,0	76,2	-	6,92	0,85	-
Maciel <i>et al.</i> (2012)	92,5	96,2	15,4	71,6	16,2	10,8	12,5	60,4
Visoná-Oliveira <i>et al.</i> (2015)	94,4	-	16,0	53,5	-	12,5	-	54,0
Rossa (2019)	87,8	96,6	15,6	67,7	18,8	8,46	4,82	-
Santa Rosa (2022)	89,0	97,1	10,0	59,8	-	24,0	3,19	-

MS: Matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; EE: extrato etéreo; CNF: carboidratos não fibrosos; NDT: nutrientes digestíveis totais.

A torta de dendê também possui como característica concentrações de óleo residual, podendo ser utilizada na alimentação animal como componente energético da dieta e possui potencial nutritivo para ser incluído na dieta de ruminantes por conta dos seus teores de fibra, óleo e proteína, é um derivado oriundo da extração do óleo, porém possui variação na sua composição química principalmente pois os processos de extração de óleo não são padronizados, sendo que o método de prensagem o que resulta em maiores concentrações de lipídios no alimento (Costa *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2019; Cruz, 2020).

A maior parte dos ácidos graxos dos óleos vegetais é insaturada. No óleo de dendê, cerca de 98% da composição lipídica corresponde a: ácidos graxos saturados: palmítico – C16 (32 a 45%) e esteárico – C18 (2 a 7%) e insaturados: oleico C – 18.1 (38% a 52%) e linoleico – C18.2 (5 a 11%) (Miranda & Moura, 2000). As bactérias ruminais não utilizam diretamente esses ácidos graxos como fonte de energia ou funções estruturais, contudo, os ácidos graxos insaturados podem adsorver-se às superfícies das partículas do alimento e às membranas celulares das bactérias, formando uma camada hidrofóbica que dificulta o contato entre os microrganismos e os substratos. Quando o teor de extrato etéreo da dieta ultrapassa 7% da MS, ocorre redução da degradação ruminal. Uma estratégia para minimizar esse impacto é a biohidrogenação, processo no qual as bactérias convertem ácidos graxos insaturados em

saturados. Durante essa conversão, formam-se intermediários como o ácido linoleico conjugado, benéfico à saúde e ao metabolismo dos ruminantes (Kozloski, 2017).

No entanto, além dos fatores nutricionais, a torta de dendê também pode ser utilizada como aditivo absorvente de umidade em silagens, pelo alto teor de MS (acima de 85%). Estes aditivos precisam, além do elevado teor de matéria seca, boa palatabilidade e suplementação de carboidratos para fermentação (Zanine *et al.*, 2010). Assim, sua aplicação não se restringe à composição das dietas, mas também pode contribuir para a melhoria do processo de conservação dos alimentos.

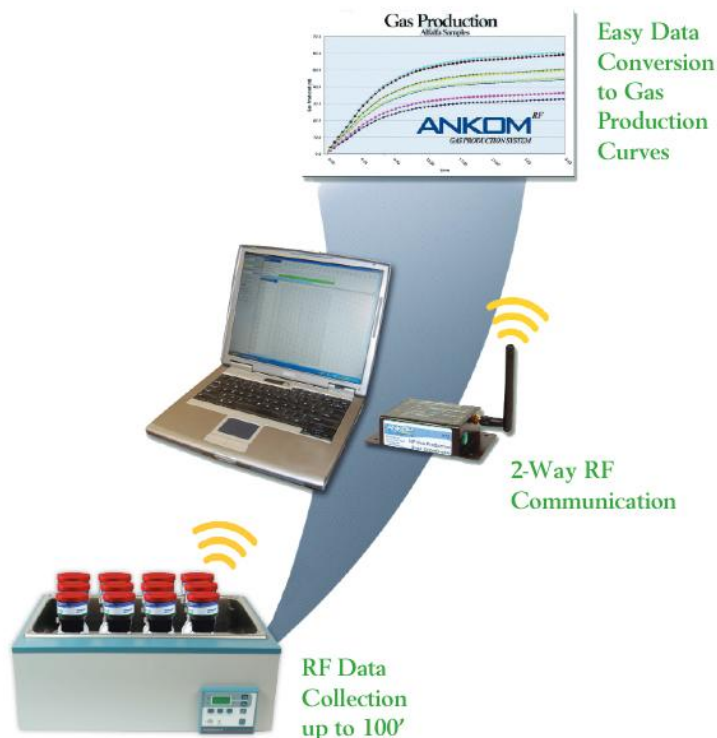
O aproveitamento de derivados agroindustriais, como a casca de mandioca e a torta de dendê, é alternativa viável para reduzir custos na alimentação animal e promover a sustentabilidade na região. Com bom potencial energético, podem substituir o milho em dietas para ruminantes. Contudo, suas características e valor nutritivo variam conforme o processamento, exigindo avaliação prévia. Nesse sentido, a técnica de produção de gases *in vitro* é uma ferramenta eficaz para estimar o valor nutritivo dos alimentos, fornecendo subsídios para sua adequada utilização na nutrição de ruminantes.

2.4. PRODUÇÃO DE GASES *IN VITRO*

A técnica de produção de gases *in vitro* permite a simulação do ambiente ruminal no laboratório, no entanto, diversos fatores podem interferir na mensuração da produção de gases, incluindo o preparo do inóculo, a composição das soluções tamponantes e tipo de substrato utilizado (Assis *et al.*, 2021). A técnica de produção de gases tem sido utilizada há décadas na avaliação da fermentação ruminal. Campos *et al.* (2000) relataram semelhança entre os resultados obtidos pelas técnicas *in vitro*, *in situ* e *in vivo* em silagens de milho. Maurício *et al.*, (2003) destacaram o potencial da técnica semiautomática *in vitro* para estimar a digestibilidade aparente *in vivo* e descrever a cinética de fermentação de silagens de sorgo.

A produção de gases é avaliada por meio da incubação de substratos em ambiente anaeróbico, simulando as condições ruminais, contendo microrganismos presentes no líquido ruminal e soluções tamponantes. A empresa ANKOM technology lançou um sistema onde as amostras são colocadas nos frascos e o módulo possui um sensor que é acoplado e colocado em uma incubadora. A pressão de cada frasco pode ser medida em intervalos de tempo selecionados pelo usuário. As medições de pressão são registradas em planilha padrão do Excel e as curvas de produção de gás são geradas (Figura 14).

Figura 14 – Funcionamento dos módulos utilizados na produção de gases *in vitro*



Fonte: ANKOM technology

Durante a fermentação simulada *in vitro*, os microrganismos ruminais degradam o substrato, gerando gases como CO₂ e metano (CH₄), além de AGCC (acetato, propionato e butirato). Os AGCC representam a principal fonte de energia dos ruminantes, com concentrações no fluido ruminal entre 60 e 160 mmol/L, podendo alcançar valores ainda maiores (Kozloski, 2017). A produção de gases é influenciada pela disponibilidade de substrato e pela atividade microbiana (Assis *et al.*, 2021). Segundo Beuvink & Kogut (1993), a curva de produção de gases apresenta três fases: uma inicial com pouca ou nenhuma produção, uma fase exponencial com liberação rápida e fase assintótica, onde a taxa de produção se estabiliza.

Dessa forma, embora a técnica *in vitro* não substitua os ensaios *in vivo*, ela representa uma ferramenta que possibilita prever o comportamento ruminal de diferentes alimentos de maneira mais rápida e econômica.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Beatriz Merquezini. **Silagem de Capim-Tanzânia (*panicum maximum* jacq cv. Tanzânia) com níveis de torta de dendê**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Zootecnia) 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/30942>. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALVES, A. B.; ALVES, R. N. B.; MODESTO JUNIOR, M. de S. Análise da cadeia de valor no sistema agroindustrial da mandioca: estudo de casos no Nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 14.; FEIRA BRASILEIRA DA MANDIOCA, 1., 2011, Maceió. **Mandioca: fonte de alimento e energia: anais. Maceió: ABAM; SBM**, 2011. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/910921?mode=full>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ALVES, Raimundo Nonato Brabo; MODESTO JUNIOR, Moisés de Souza. **Potencialidades da cultura da mandioca no estado do Pará**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 310-338.

Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1143134>. Acesso em: 20 mar. 2025.

AMORIM, S. L. de; MEDEIROS, R. M. T. de; RIET-CORREA, F. Intoxicações por plantas cianogênicas no Brasil. **Ciência Animal**, v. 16, n. 1, p. 17-26, 2006.

ANDRADE SOBRINHO, Luiz Edmundo Cincurá de. **Torta de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq.), em substituição ao concentrado a base de milho e farelo de soja, na alimentação de cabras em lactação**. 2010. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Ciência Animal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010. Disponível em: <https://ri.ufrb.edu.br/handle/123456789/557>. Acesso em: 12 mai. 2024.

ANKOM Technology, Nova York, NY, EUA. Disponível em:

[https://www.ankom.com/product-catalog/ankom-rf-gas-production-system?srsltid=AfmBOorWv8fo4Wkr-](https://www.ankom.com/product-catalog/ankom-rf-gas-production-system?srsltid=AfmBOorWv8fo4Wkr-UA_GJpBG4YjrgP6kZ1RqXlOYqkoQHxbGggBpNLv)

[UA_GJpBG4YjrgP6kZ1RqXlOYqkoQHxbGggBpNLv](https://www.ankom.com/product-catalog/ankom-rf-gas-production-system?srsltid=AfmBOorWv8fo4Wkr-UA_GJpBG4YjrgP6kZ1RqXlOYqkoQHxbGggBpNLv). Acesso em: 26 jul.2025.

ANTONINI, Jorge Cesar dos Anjos; OLIVEIRA, Alexsandra Duarte de. Potencial de cultivo da palma de óleo irrigada nas condições do Cerrado. **Embrapa Cerrados: Documentos (INFOTECA-E)**, 2021. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1133273> . Acesso em 16 mar. 2025

ARACATY, Michele Lins *et al.* A importância da farinha de mandioca para a agricultura familiar e para o desenvolvimento regional local. **Studies in Social Sciences Review**, v. 4, n. 1, p. 25-55, 2023. <https://doi.org/10.54018/ssrv4n1-002>

ARTUZO, F. D. *et al.* Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 02, p. 273-294, 2018. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192> <https://doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192>

ASSIS LINHARES, A. L. F. de; SEIXAS, B. C.; MAIA, M. J. O. Determinação quantitativa do ácido cianídrico em mandioca. **e-Scientia**, v. 11, n. 2, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcbas/article/view/2411>. Acesso em: 22 abr. 2025

ASSIS, J. R. de. *et al.* Revisão: modelos matemáticos aplicados à cinética de digestão ruminal e produção de gás *in vitro*. In: inovações na nutrição animal: desafios da produção de qualidade. **Editora Científica Digital**, 2021. p. 164-179. <https://doi.org/10.37885/210404121>

AZEVEDO, J. A. G. *et al.* Intake, total digestibility, microbial protein production, and the nitrogen balance in ruminant diets based on agricultural and agro-industrial by-products. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 114-123, 2011.

<https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000100018>

BATALHA, Camila Delveaux Araujo. **Processamento de grãos de milho para vacas leiteiras em pastagem tropical**. 2015. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Ciência animal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-16042015-154024/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BERCHIELLI, Telma Teresinha; PIRES, Alexandre Vaz; OLIVEIRA, Simone Gisele de. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583p.

BERNARDES, T. F. *et al.* Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of dairy science**, v. 101, n. 5, p. 4001-4019, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>

BEUVINK, J. M. W.; KOGUT, J. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 4, p. 1041-1046, 1993. <https://doi.org/10.2527/1993.7141041x>

BIZZUTI, Beatriz Eliza. **Sustentabilidade da produção: uso de subprodutos agroindustriais na produção de pequenos ruminantes**. 2019. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2019. <https://doi.org/10.11606/D.64.2020.tde-07022020-172335>

BORGES, José Luiz Bernardo; *et al.* Balanço energético na cultura do dendê para produção de biodiesel: Parte agrícola. 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/458867> . Acesso em 28 mai.2025.

BUCCIONI, A., CAPPUCCI, A., MELE, M. (2015). Methane Emission from Enteric Fermentation: Methanogenesis and Fermentation. In: Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., Prasad, C. (eds) **Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation**. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/b978-81-322-2265-1_11

CAMPOS, F. P. de. *et al.* Comparação do sistema de monitoramento computadorizado de digestão *in vitro* com os métodos *in vivo* e *in situ*: 2. Uso do resíduo da matéria seca de forragens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 531-536, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000200029>

CAPPELLE, E. R. *et al.* Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 1837-1856, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000700022>

CARVALHO, G. G. P. *et al.* Comportamento ingestivo de cabras leiteiras alimentadas com farelo de cacau ou torta de dendê. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 919-925, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900012>

CARVALHO, Evanete Moura. **Torta de dendê (*Elaeis guineensis*, jacq) em substituição ao feno de capim-tifton 85 (*cynodon spp*) na alimentação de ovinos**. 2006. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Zootecnia), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2006.

CARVALHO, B. F. *et al.* Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 122, n. 3, p. 589-600, 2017 <https://doi.org/10.1111/jam.13371>

CEPEA - Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada. *PIB do agronegócio brasileiro. 2025. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em 27 jul. 2025

CÉLINO, A. *et al.* The hygroscopic behavior of plant fibers: a review. **Frontiers in chemistry**, v. 1, p. 43, 2014. <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00043>

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O. Determinação de cianeto total nas farinhas de mandioca do grupo seca e d'água comercializadas na cidade de Belém-PA. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia** -Artigo em periódico indexado (ALICE), 2008. <https://doi.org/10.3895/S1981-36862008000200010>

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O. Teor de cianeto total e livre nas etapas de processamento do tucupi. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 1, p. 41-46, 2011.

COMEXSTAT. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Comex Stat: Sistema de Estatísticas de Comércio Exterior. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em 20 mar. 2025

CORDEIRO, N. K. *et al.* Gestão de resíduos agrícolas como forma de redução dos impactos ambientais. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 23-34, 2020. <https://doi.org/10.18316/rca.v14i2.5593>

COSTA, D. A. *et al.* Uso da torta de dendê na alimentação de ruminantes. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 14, n. 2, 2011. Disponível em: <https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/4148> Acesso em: 08 abr. 2025

CRUZ, Aline Gonçalves. **Torta de dendê na alimentação de vacas lactantes confinadas**. 2020. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Zootecnia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2020.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945-954, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>

DOURADO, D. P. *et al.* Potencialidade da casca da mandioca como resíduo proveniente de fecularia. In: **Agronomia: jornadas científicas**. Editora Científica Digital, v. 2, p. 167-172, 2020. <https://doi.org/10.37885/200400106>

FAO. Rankings countries by commodity. FAOSTAT. 2023. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 15 mar. 2025.

FARIA, P.B.; *et al.* Processamento da casca de mandioca na alimentação de ovinos: desempenho, características de carcaça, morfologia ruminal e eficiência econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p.2929- 2937, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200041>

FERREIRA, G. D. G. *et al.* Valor nutritivo de co-produtos da mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.4, p. 364-374. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/1939>. Acesso em: 05 jan. 2025.

FERREIRA, A. C. *et al.* Effect of replacing ground corn and soybean meal with licuri cake on the performance, digestibility, nitrogen metabolism and ingestive behavior in lactating dairy cows. **Animal**, v. 11, n. 11, p. 1957-1965, 2017. <https://doi.org/10.1017/S175173111700074X>

FIORDA, F. A. *et al.* Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 408-416, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400005>

GALVÃO, João Carlos Cardoso; BORÉM, Aluizio; PIMENTEL, Marco Aurélio. **Milho: do plantio à colheita**. Editora UFV, 2017.

GARGANTINI, Odnei Francisco *et al.* Silagem da ponta de cana-de-açúcar com resíduos da agroindústria da mandioca. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 3, p. 195-205, 2013. <https://doi.org/10.17523/bia.v70n3p195>

GOBETTI, S. T. C., *et al.* Utilização de silagem de grão úmido na dieta de animais ruminantes. **Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 225-239, 2013. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2013.01.02rb>

GOES, R. H. de T., SILVA, L. H. X. da, SOUZA, K. A. de. **Alimentos e alimentação animal**. Coleção Cadernos Acadêmicos, 2013.

GUIMARÃES, Gilmara Santos *et al.* Intake, digestibility and performance of lambs fed with diets containing cassava peels. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 295-302, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000300010>

GUIMARÃES, G. S. *et al.* Composição centesimal e de ácidos graxos do músculo Longíssimus de cordeiros confinados, alimentados com dietas contendo casca de mandioca. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 1325-1333, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8123>

GUNUN, Pongsatorn *et al.* Replacing concentrate with yeast-or EM-Fermented cassava peel (YFCP or EMFCP): Effects on the feed intake, feed digestibility, rumen fermentation, and growth performance of goats. **Animals**, v. 13, n. 4, p. 551, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13040551>

HAMAKER, Bruce R.; TUNCIL, Yunus E.; SHEN, Xinyu. Carbohydrates of the kernel. In: **Corn**. AACC International Press, 2019. p. 305-318. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00011-5>

HOFFMAN, P. C. *et al.* Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. **Journal of dairy science**, v. 94, n. 5, p. 2465-2474, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3562>

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. (SIDRA). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 15 nov.2024

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 03 nov.2024

IKUJENLOLA, A.V., OPAWALE, B.O. Effects of Processing on the Yield and Physico-Chemical Properties of Cassava Products. **AMR**. 2007 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.18-19.165>

KOZLOSKI, Gilberto Vilmar. **Bioquímica dos ruminantes**. 3 ed. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2017.

LIMA, C. A. C. de. *et al.* Efeito de níveis de melão em substituição ao milho moído sobre o desempenho, o consumo e a digestibilidade dos nutrientes em ovinos Morada Nova. **Revista**

Brasileira de Zootecnia, v. 41, p. 164-171, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000100024>

MACIEL, R. P. *et al.* Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhas leiteiras alimentadas com dietas contendo torta de dendê. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 698-706, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300033>

MARQUES, J. A. *et al.* Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1528-1536, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000500035>

MAURÍCIO, R. M. *et al.* Potencial da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 1013-1020, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000400029>

MCALLISTER, T. A.; CHENG, K.-J. Microbial strategies in the ruminal digestion of cereal grains. **Animal feed science and technology**, v. 62, n. 1, p. 29-36, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01003-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01003-6)

MEDEIROS, Sérgio Raposo de; GOMES, Rodrigo da Costa; BUNGENSTAB, Davi José. **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações**. 1º edição. Brasília – DF, Embrapa, 2015. 176 p.

MIRANDA, R. de M.; MOURA, R. D. Óleo de dendê, alternativa ao óleo diesel como combustível para geradores de energia em comunidades da Amazônia. In: **Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural**. 2000. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200042&script=sci_arttext. Acesso em 28 jul. 2025.

MODESTO JUNIOR, M. de S.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056630/cultura-da-mandioca-aspectos-socioeconomicos-melhoramento-genetico-sistemas-de-cultivo-manejo-de-pragas-e-doencas-e-agroindustria>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MORAIS, João Paulo Saraiva, *et al.* **Valorização de coprodutos da cadeia do dendê**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria tropical, 2013. 38 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/981759>. Acesso em: 27 mar. 2025.

NIAYALE, R. *et al.* Utilization of cassava peels as feed for ruminants in Ghana: A review of alternative methods of improving their nutritional value. **Roots and tubers in ghana: overview and selected research papers**, p. 332, 2019.

NOGUEIRA, Marina Marie Bento *et al.* Composição físico-química de silagem da parte aérea e resíduos do processamento da mandioca. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. 2, p. 142-155, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifac.edu.br/index.php/revistarca/article/view/42>. Acesso em: 15 jan. 2025.

OLIVEIRA, L. A. de. *et al.* Composição físico-química de variedades de mandioca de mesa cultivadas no sistema orgânico. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, 2007. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1310>. Acesso em 10 fev. 2025.

- PASSINI, Roberta *et al.* Degradabilidade no rúmen bovino de grãos de milho processados de diferentes formas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 271-276, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300010>
- PEREIRA, K. A. *et al.* Aspectos Nutricionais e Confeção de Silagem de Grão Úmido de Milho para a Alimentação de Bovinos: revisão de literatura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 14, n. 1, p. 4944-4953, 2017. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-409.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- PIMENTEL, L. R. *et al.* Economic viability of including palm kernel cake in diets for feedlot lactating cows. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, n. 3, p. 319-325, 2016. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i3.31150>
- PITIRINI, J. S. *et al.* Fermentation profile and chemical composition of cassava root silage. **Acta Amazônia**, v.51, n. 3, p. 191-198, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202004410>
- PITIRINI, Juliana Schuch. **A ensilagem da casca de mandioca com torta de dendê conserva seu valor nutritivo**. 73 p. 2023. Dissertação de mestrado (Programa de pós-Graduação em Saúde e Produção Animal na Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.
- PRADO, I. N. *et al.* Performance of heifers fed diets containing corn or cassava hull as energy source and cottonseed meal or yeast as protein source. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 278-287, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100036>
- PRADO, I. N. *et al.* Avaliação produtiva e econômica da substituição do milho por subprodutos industriais da mandioca na terminação de novilhas. **Revista Campo Digital**, v. 1, n. 1, 2006. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/298> 28 jul.2025
- PUPA, J. M. R.; RENNÓ, L. N. O básico sobre a produção, transporte e utilização de ácidos graxos voláteis (AGVS). **Revista eletrônica Nutritime**, v. 20, n. 2, p. 1-9. 2023. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Artigo-572.pdf>. Acesso em 11 jan. 2025.
- RANGEL, A. H. *et al.* Mandioca na alimentação de ruminantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 1-12, 2008.
- RIBEIRO, S. R. G.; BAPTISTA, J. A. A.; NOVAIS, R. A. B. Análise das Exportações de Fécula de Mandioca de 1997 até 2022. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, v. 1, n. 03, p. 66-79, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11075202>
- RICARDINO, I. E. F.; SOUZA, M. N. C.; SILVA NETO, I. F. da. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 8, p. 55-79, 2020. <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/1651>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- RODRIGUES FILHO, José Adérito; CAMARÃO, Ari Pinheiro; DE AZEVEDO, Guilherme Pantoja C. de. Utilização da torta de amêndoa de dendê na alimentação de ruminantes. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2001. 24 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/402941>. 17 fev. 2025
- RODRIGUES, Armando de Andrade; CAMPOS, Oriel Fajardo de. Resíduos industriais da raiz da mandioca na alimentação de bovinos. In: CEREDA, M. P. (Coord.) **Manejo, uso e**

tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p.240-258. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/44869?mode=full>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROSSA, Fernando. **Torta de dendê em dietas para novilhas de corte terminadas a pasto.** 2019. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Zootecnia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, 2019.

SANTA ROSA, Caroline Emanuelle do Amaral. **Análise econômica da utilização de silagem de casca de mandioca com torta de dendê para uso na alimentação animal.** 2022. 34 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

SANTANA, M. C. C. B. de. *et al.* Dendê e seu potencial de uso: uma prospecção tecnológica. **Cadernos de prospecção.** vol.6, n.4, p.516-525. 2013. <http://dx.doi.org/10.9771/S.CPROSP.2013.006.055>

SANTOS, Danielle Farias dos. **Composição química e estimativa da digestibilidade e valor energético de resíduos da industrialização de frutas e da mandioca para alimentação de ruminantes.** 2011. 75 p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1134?mode=full>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SANTOS, Viviany Lúcia Fernandes dos. **Utilização da casca de mandioca na dieta de ruminantes.** 2014. Tese de doutorado (Pós-graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7016>. Acesso em: 04 fev. 2025.

SANTOS, V. L. F. *et al.* Rumen parameters of sheep fed cassava peel as a replacement for corn. **Small Ruminant Research**, v. 133, p. 88-92, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.09.010>

SANTOS, Laize V. *et al.* Increasing levels of palm kernel cake (*Elaeis guineensis* Jacq.) in diets for feedlot cull cows. **Chilean journal of agricultural research**, v. 79, n. 4, p. 628-635, 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000400628>

SILVA, C. F. P. G. da. *et al.* Qualidade fermentativa e caracterização químico-bromatológica de silagens da parte aérea e raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 4, p. 401-408, 2010. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i4.8930>

SILVA, M. N.; SILVA, A. L.; BISPO, L. G. S. A democratização do frete para a região Norte do Brasil: um estudo de caso da startup Movendo Serviços Brasil LTD. **Revista de Administração de Roraima**, v. 13, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v13i1.7711>

SILVA, J. M. P. da. *et al.* Utilização de coprodutos e subprodutos de frutas como alternativa na dieta de ruminantes: revisão integrativa: Use of fruit co-products and by-products as an alternative in ruminant diets: integrative review. **Revista Coopex.**, v. 15, n. 02, p. 5423-5536, 2024. <https://doi.org/10.61223/coopex.v15i02.688>

SOARES, Rafael Lopes *et al.* Corn grain rehydration methods: Water vs. cactus pear in the diet for feedlot lambs. **Small Ruminant Research**, v. 230, p. 107151, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107151>

- SOUZA, S. de O. *et al.* Resíduos de casas de farinha do agreste alagoano: perspectivas de utilização. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 1, p. 65-73, 2015. <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n1p65-73>
- SOUZA, F. V. A. *et al.* Resíduos da mandioca em agroindústrias familiares no Nordeste do Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 92-98, 2018. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i1.6006>
- TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. **Plantas tóxicas do Brasil**. Ed. Helianthus, Rio de Janeiro. 2000.
- VASCONCELOS, G. A. *et al.* Replacement of corn by cassava dregs in lambs' diet. **Small Ruminant Research**, v. 181, p. 1-5, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.09.016>
- VENTURIERI, Adriano; *et al.* Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variáveis ambientais no estado do Pará. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE, p.523-530. 2009.
- VÉRAS, Robson Magno Liberal *et al.* Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dietas de ovinos em crescimento: desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 249-256, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000100029>
- VIEIRA, P. A. S. *et al.* Parâmetros ruminais e balanço de nitrogênio em bovinos alimentados com silagem da raiz de mandioca. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 08, p. 883-890, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000800018>
- VILHALVA, D. A. A. *et al.* Secagem convencional de casca de mandioca proveniente de resíduos de indústria de amido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 331-339, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300003>
- VISONÁ-OLIVEIRA, M. *et al.* Consumo e digestibilidade de nutrientes da torta de dendê na dieta de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 179-192, 2015. <https://doi.org/10.1590/1089-6891V16I225615>
- VITA, W. D. S. **A mandioca (manihot esculenta) como alternativa para alimentação da bovinocultura leiteira durante a estação seca**. 68 p. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia agrônoma) Centro Universitário AGES, Paripiranga, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/8ebeaaaa-2320-4299-b9a2-668cd12fd5a8/full>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. ; CHANG, Y. K. Physicochemical, rheological, morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn starches. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 748-753, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400008>
- WOICIECHOWSKI, A. L. *et al.* Emprego de resíduos agroindustriais em bioprocessos alimentares. **Biotecnologia de Alimentos**, v. 1, p. 143-171, 2013. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1508.7529>
- YOKOYAMA, R. **Revista Óleos & Gorduras Grãos & derivados**, v. 1., n. 2, 2015. Disponível em: <http://www.mflip.com.br/pub/stilo/index4/?numero=2>. Acesso em: 18 nov.2024
- ZAMBOM, M. A. *et al.* Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 937-943, 2001. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v23i0.2648>

ZANINE, A. M. *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2611-2616, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200008>

3. CAPÍTULO 2 – CINÉTICA RUMINAL E PARÂMETROS FERMENTATIVOS *IN VITRO* DA SILAGEM DE CASCA DE MANDIOCA COM E SEM INCLUSÃO DE TORTA DE DENDÊ

RESUMO

O uso de derivados agroindustriais na alimentação animal é uma alternativa viável para reduzir custos, contribui para o aproveitamento de resíduos, minimiza o desperdício e agrega valor econômico a esses derivados, que não competem com a alimentação humana. Objetivou-se avaliar o perfil fermentativo *in vitro* de dietas contendo silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD) em comparação ao milho grão moído (MGM), tradicional fonte energética nas dietas. Após a caracterização química dos ingredientes (MGM, SCM, SCM+TD, silagem de mombaça, farelo de soja, e torta de dendê). Formulou-se três dietas para bovinos de corte com ganho estimado de 1,4 kg/dia, alterando-se o componente energético: dieta 1 (MGM), dieta 2 (SCM) e dieta 3 (SCM+TD substituindo parcialmente o MGM). Ensaio *in vitro* foram conduzidos para avaliar a produção de gases e a cinética de fermentação ruminal. O delineamento foi em blocos casualizados, sendo as incubações consideradas como fator de blocagem e as garrafas de cada incubação representaram as unidades experimentais. Para a cinética de produção de gases foi utilizado o modelo bicompartimental. Na avaliação da cinética dos alimentos o MGM apresentou maior produção de gás na fração de rápida degradação (V1) (103,6 mL) ($p < 0,05$). Na fração de lenta degradação (V2) a SCM possuiu maior potencial de produção de gás (87,1 mL) ($p < 0,05$). O período de latência foi menor na SCM+TD (3,72h) ($p < 0,05$). Quanto às características de fermentação ruminal, houve efeito em todas as variáveis analisadas ($p < 0,05$). o MGM e a SCM foram semelhantes na produção de gás em 48 horas (146 e 155 mL/g MS). O menor pH foi observado na SCM (6,2). A energia metabolizável (EM) foi maior no MGM (7,49 MJ/kg MS). A digestibilidade da matéria orgânica foi maior no MGM e na SCM (626 e 638 g kg⁻¹ MS). Os maiores valores de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) foram observados no MGM e SCM+TD (12,6 e 13,9 mg/dL, respectivamente). No resultado das dietas em relação à cinética ruminal, houve efeito apenas na variável V2, onde a dieta com silagem de casca de mandioca apresentou maior potencial de produção de gás (63 mL) ($p < 0,05$). Quanto às características de fermentação ruminal das dietas, houve efeito nas variáveis de produção de gás em 24 horas, onde a dieta 2 produziu mais gás (114 mL/g MS) ($p < 0,05$). Em relação à EM, as dietas 1 e 3 apresentaram os maiores valores (6,75 e 6,47 MJ/kg MS) ($p < 0,05$). Apesar das diferenças observadas na cinética e nos parâmetros fermentativos dos alimentos isolados, quando incorporados em dietas balanceadas, os perfis fermentativos *in vitro* tornam-se semelhantes entre as formulações. No entanto, é importante realizar avaliações *in vivo* para se obter os resultados de desempenho dos animais alimentados com essas dietas, para consolidar a viabilidade nutricional de sua utilização.

Palavras-chave: Derivados agroindustriais, Dietas, *Elaeis guineensis*, *Manihot esculenta*, Nutrição animal, Sustentabilidade

ABSTRACT

The use of agro-industrial by-products in animal feeding is a viable alternative to reduce costs, promote waste utilization, minimize losses, and add economic value to these residues, which do not compete with human consumption. The objective of this study was to evaluate the *in vitro* fermentative profile of diets containing cassava peel silage (CPS) and cassava peel silage combined with palm kernel cake (CPS+PKC) in comparison with ground corn grain (GCG), a traditional energy source in ruminant diets. After chemical characterization of the ingredients (GCG, CPS, CPS+PKC, *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa silage, soybean meal, and palm kernel cake), three diets were formulated for beef cattle with an estimated daily gain of 1.4 kg, varying only in the energy source: diet 1 (GCG), diet 2 (CPS), and diet 3 (CPS+PKC, partially replacing GCG). *In vitro* assays were carried out to evaluate gas production and ruminal fermentation kinetics. The experimental design was a randomized block design, with incubations considered as the blocking factor and the bottles within each incubation representing the experimental units. A bicompartmental model was applied to describe gas production kinetics. Regarding substrate kinetics, GCG showed greater gas production in the rapidly degradable fraction (V1) (103.6 mL) ($p < 0.05$). In the slowly degradable fraction (V2), CPS showed higher gas production potential (87.1 mL) ($p < 0.05$). The lag time was shorter for CPS+PKC (3.72 h) ($p < 0.05$). For ruminal fermentation traits, significant effects were observed for all variables analyzed ($p < 0.05$). GCG and CPS showed similar total gas production at 48 h (146 and 155 mL/g DM, respectively). The lowest pH was observed for CPS (6.2). Metabolizable energy (ME) was higher in GCG (7.49 MJ/kg DM). Organic matter digestibility was greater in GCG and CPS (626 and 638 g kg⁻¹ DM, respectively). The highest concentrations of ammonia nitrogen (N-NH₃) were found in GCG and CPS+PKC (12.6 and 13.9 mg/dL, respectively). For the diets, regarding ruminal kinetics, a significant effect was observed only for V2, in which the diet containing cassava peel silage showed greater gas production potential (63 mL) ($p < 0.05$). Concerning ruminal fermentation traits, differences were detected for gas production at 24 h, with diet 2 producing the highest value (114 mL/g DM) ($p < 0.05$). In relation to ME, diets 1 and 3 presented the highest values (6.75 and 6.47 MJ/kg DM) ($p < 0.05$). Despite the differences observed in kinetics and fermentative parameters of the individual feedstuffs, when incorporated into balanced diets, the *in vitro* fermentative profiles became similar among treatments. Nevertheless, *in vivo* evaluations are required to assess animal performance and confirm the nutritional feasibility of using these feedstuffs in cattle diets.

Keywords: Agro-industrial by-products; Animal nutrition; Diets; *Elaeis guineensis*, *Manihot esculenta*, Sustainability

3.1. INTRODUÇÃO

O uso de derivados agroindustriais na alimentação animal é uma alternativa viável para reduzir custos, quando comparado aos insumos convencionais, como o milho e a soja, contribui para o aproveitamento de resíduos, minimiza o desperdício e agrega valor econômico a esses derivados (Nogueira *et al.*, 2021). Além disso, reduz a competição dos grãos com a alimentação humana (Wilkinson & Lee, 2018; FAO, 2023). Nesse contexto, os derivados de culturas como a mandioca surgem como uma opção nas dietas para ruminantes.

A raiz de mandioca é utilizada mundialmente na produção de farinha e fécula, considerada como fonte energética por conter, em média, 86% de carboidratos não fibrosos (Ribeiro; Baptista; Novais, 2024; Pitirini *et al.*, 2021). O processamento da raiz gera derivados como a casca, composta por casca, entrecasca e pontas de raízes, cuja produção pode alcançar 220 kg por tonelada de raízes processadas manualmente (Dourado *et al.*, 2020; Ikujenlola & Opawale, 2007). A casca da mandioca *in natura* possui em torno de 32% matéria seca (MS) e por ser um derivado da raiz, apresenta mais de 50% de amido na MS podendo ser usado na alimentação animal (Ferreira *et al.*, 2007; Prado *et al.*, 2000; Santos, 2011). A casca de mandioca, mesmo que processada de formas diferentes (ensilada, desidratada ou hidrolisada), pode ser utilizada sem alterar o desempenho, características de carcaça, rendimento de corte e morfologia ruminal dos animais (Faria *et al.*, 2011).

Por ser um derivado proveniente da raiz, que contém elevado teor de umidade, a silagem da casca de mandioca é susceptível à deterioração e produção de efluentes provavelmente devido à baixa concentração de fibra, que contribui para menor retenção da umidade (Célino *et al.*, 2014; Pitirini, 2023). Para reduzir essas perdas, pode-se utilizar aditivos absorventes de umidade, que contribuem para melhorar a fermentação e a conservação do alimento (Zanine *et al.*, 2010).

A torta de dendê tem sido utilizada como aditivo absorvente de umidade na ensilagem de gramíneas e outros alimentos, como a casca de mandioca (Alvarenga, 2015; Pitirini, 2023). Derivada da prensagem da amêndoa do dendê para extração de óleo, pode ser incluída na alimentação de ruminantes (Morais, 2013). Apresenta alto teor de matéria seca (88 a 94%), elevado conteúdo de fibra (acima de 50%, podendo chegar a 81%) e variações nos teores de proteína bruta (10 a 16%) e extrato etéreo (6 a 22%), dependendo do método de processamento (Andrade Sobrinho, 2010; Carvalho, 2004; Santa Rosa, 2022; Visoná-Oliveira *et al.*, 2015).

Dada a importância e a disponibilidade desses alimentos em regiões de clima tropical, é fundamental avaliar o valor nutricional e custo-benefício. Apesar da composição química fornecer informações básicas, há escassez de dados mais completos sobre estes alimentos. As

análises *in vitro* contribuem nesse sentido, permitindo estimar o valor nutritivo e potencial de uso dos ingredientes antes da aplicação direta nas dietas de ruminantes (Assis *et al.*, 2021).

As silagens de casca de mandioca, com ou sem torta de dendê, podem apresentar resultados fermentativos diferentes do milho quando avaliadas isoladamente. Porém, quando incluídas como ingredientes em dietas balanceadas, o comportamento fermentativo pode ser semelhante a dietas contendo milho, substituindo total ou parcialmente este alimento na formulação de dietas para ruminantes. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o perfil fermentativo *in vitro* de dietas contendo silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca acrescida de torta de dendê (SCM+TD) em comparação ao milho grão moído (MGM), comumente utilizado como alimento energético na alimentação de ruminantes.

3.2. MATERIAL E METODOS

3.2.1. Aquisição dos alimentos

Foram obtidas amostras de silagem de mombaça (SM) na agropecuária Boa Terra, localizada no município de Capanema – PA, silagem de casca de mandioca (SCM) na empresa Bonnagro e torta de dendê (TD) na empresa Mejer, ambas no município de Bonito – PA. O farelo de soja (FS) e milho grão moído (MGM) foram obtidos em casas agropecuárias comerciais do município de Irituia – PA. Uma porção da silagem de casca de mandioca foi transferida para um silo balde com capacidade de 10 litros, sendo adicionado 70 partes de SCM e 30 partes de torta de dendê com base na matéria natural (densidade de 1.200 kg/m³, matéria natural). A abertura do silo foi realizada aos 45 dias.

3.2.2. Composição química e formulação das dietas

Para determinação da composição química dos ingredientes (Tabela 1), coletou-se cerca de 200 g de cada alimento. As amostras foram parcialmente secas em estufa de ventilação forçada de ar (55°C/72 h) e moídas a 1 mm de porosidade em moinho de facas. Após esse processo, as amostras foram submetidas à secagem definitiva em estufa sem circulação forçada de ar (105°C/16 h) para quantificar o valor de matéria seca (MS). A matéria mineral (MM) ocorreu em forno mufla (550°C/3 h), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl, extrato etéreo (EE) pelo método de Randall, fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) com adição de alfa amilase termoestável com ausência de sulfito de sódio e fibra em detergente ácido

(FDA) (autoclave à 105°C/1 h) e carboidratos não fibrosos (CNF) (Detmann *et al.*, 2021). Para calcular os nutrientes digestíveis totais (NDT), foi utilizada a equação descrita pelo NRC (Council, 2001):

$$\text{NDT} = \text{CNFD} + \text{PBD} + (\text{EED} \times 2,25) + \text{FDND} - 7$$

Tabela 1 – Composição química dos alimentos (g kg⁻¹)

Composição química (g kg ⁻¹)	Alimentos					
	SM	FS	MGM	SCM	TD	SCM+TD
Matéria seca	330,9	890,2	869,0	335,7	960,5	508,4
Matéria mineral	76,7	74,8	13,1	26,8	24,4	38,4
Matéria orgânica	923,3	925,2	986,9	973,2	975,6	961,6
Proteína bruta	51,4	455,1	86,9	23,6	105,4	72,9
Extrato etéreo	14,3	10,0	55,4	6,0	123,1	63,7
Fibra em detergente neutro	742,5	288,4	130,6	128,1	512,4	399,2
Fibra em detergente ácido	432,5	68,6	25,1	84,2	277,5	233,4
Carboidratos não fibrosos	115,1	171,7	713,9	815,5	234,7	425,8
Nutrientes digestíveis totais	521,3	874,3	916,5	778,0	711,8	726,0

SM: silagem de capim mombaça; FS: farelo de soja; TD: torta de dendê; MGM: milho grão moído; SCM: silagem de casca de mandioca.

A partir da composição química dos alimentos formulou-se três dietas, visando atender a exigências nutricionais de bovinos de corte zebuínos, confinados, com peso médio de 500 kg. As dietas foram formuladas com base na tabela de exigências do Br Corte e foram calculadas para serem isoproteicas (12,5% de PB, %MS) e obter o ganho diário de 1,4 kg na proporção 25:75 volumoso:concentrado. A composição energética da dieta 1 foi somente MGM, enquanto as dietas 2 e 3 substituíram total ou parcialmente essa fonte por derivados da mandioca. A Dieta 2 utilizou exclusivamente SCM como concentrado energético e a dieta 3 substituiu parcialmente o MGM adicionando SCM+TD (Tabela 2).

Tabela 2 – Proporção dos ingredientes e composição química das dietas experimentais

	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Ingredientes (%/MS)			
Silagem de mombaça	25,0	25,0	25,0
Farelo de soja	12,8	22,1	13,5
Milho grão moído	62,2	-	41,5
Silagem de casca de mandioca	-	52,9	-
Silagem de casca de mandioca + torta de dendê	-	-	20,0
Composição química (g kg⁻¹)			

Matéria seca	737	457	665
Matéria orgânica	963	950	958
Proteína bruta	125	125	125
Extrato etéreo	39	9	41
Fibra em detergente neutro	303	317	358
Carboidratos não fibrosos	496	498	434
Nutrientes digestíveis totais	812	735	773

Dieta 1 – fonte energética: milho moído; Dieta 2 – fonte energética: silagem de casca de mandioca; Dieta 3 – fonte energética: milho e casca de mandioca + torta de dendê.

3.2.3. Delineamento experimental das análises *in vitro*

Foram conduzidos dois experimentos *in vitro* para avaliar o perfil de produção total de gases e cada experimento foi composto por três incubações de 48 horas cada. O experimento 1 avaliou três alimentos: milho moído, silagem de casca de mandioca e silagem de casca de mandioca com torta de dendê. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo as incubações o fator de blocagem, com 33 repetições de cada alimento (11 por incubação).

O experimento 2 avaliou três dietas com diferentes ingredientes compondo o concentrado energético (Dieta 1: milho moído; dieta 2 – silagem de casca de mandioca; dieta 3 – milho moído e silagem de casca de mandioca com torta de dendê). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo as incubações o fator de blocagem, com 33 repetições de cada dieta (11 por incubação).

3.2.4. Produção de gases *in vitro*

A digesta ruminal foi coletada de dois bovinos machos da raça Aberdeen Angus, em diferentes pontos do rúmen, para obtenção de amostras significativas antes do início de cada bateria de incubação. Os procedimentos de fistulação dos animais para coleta do inóculo ruminal foi aprovado pelo Comitê de Ética no uso de animais da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC), autorização número 33/2021. Após a retirada, a digesta foi filtrada em peneira a fim de se coletar somente o líquido e transferida para o interior de garrafas térmicas pré-aquecidas à 39°C, simulando a temperatura ruminal. A solução contendo macro e microminerais e tampão foi preparada de acordo com Menke & Steingass (1988) e o pH foi

ajustado para 6,89 com solução de ácido clorídrico. A solução final (macro e microminerais e tampão) foi misturada ao líquido ruminal na proporção 2:1 e mantida em banho-maria a 39°C em condições anaeróbicas por adição de CO₂.

Os três alimentos e as três dietas foram avaliados por um sistema de garrafas (Ankom RF GP System, Ankom Technology, NY, EUA) equipado com duas mesas agitadoras e sensores de pressão com e sem fio conectados ao computador. Cada frasco (250 mL) foi preenchido com 1 g de cada alimento e dieta, hidratado com água ultrapura (5 mL) para evitar a dispersão de partículas e inoculado com 150 mL de solução rúmen/tampão. Durante a preparação, no espaço com ausência de líquido foi adicionado CO₂ para manter a condição anaeróbica. Em seguida, os frascos foram lacrados e colocados aleatoriamente na incubadora ventilada sob temperatura controlada (39°C) e agitação (95 rpm).

Os alimentos e dietas foram incubados em três períodos de fermentação de 48 horas, e cada lote de fermentação continha três brancos (apenas solução rúmen/tampão). As válvulas do sistema foram configuradas para liberar automaticamente o gás quando as pressões atingissem 3,4 kPa (Tagliapietra *et al.*, 2010) e a pressão cumulativa foi monitorada pelo software de aquisição de dados (Gas Pressure Monitor, Ankom Technology, NY, EUA) a cada 5 minutos. As pressões de gás (PG) acumuladas em 48 h foram convertidas em mL (Tagliapietra *et al.*, 2011) através da equação:

$$PG, \text{ mL} = (P_c/P_o) * V_o$$

Onde: P_c é a variação cumulativa de pressão (kPa) no espaço livre da garrafa; V_o é o volume do espaço livre da garrafa (95 mL); P_o é a pressão atmosférica lida pelo equipamento no início da medição.

A curva de produção de gás foi ajustada seguindo o modelo bicompartimental (Schofield *et al.*, 1994):

$$V_t = [V_1 / (1 + e^{2 + 4 \times [K_1 \times (L - \text{Time})]})] + [V_2 / (1 + e^{2 + 4 \times [K_2 \times (L - \text{Tempo})]})]$$

Onde: V_t = volume de gás produzido até o final do tempo específico (48 horas); V₁ e V₂ = Volume máximo de gás em cada fração, mL; K₁ e K₂ = taxa específica de digestão de cada fração, h⁻¹; L = tempo de latência, h.

A digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) foi calculada seguindo Menke & Steingass (1988) seguindo a equação:

$$DIVMO = 10 * (42,85 + 0,6766 * PG)$$

Onde: PG = produção de gás após 48h a cada 200mg MS de amostra pesada.

A energia metabolizável foi determinada pela equação de Tagliapietra *et al.* (2011):

$$EM \text{ (MJ/kg MS)} = 1,06 + (0,1570 \times PG_{48}) + (0,0084 \times PB) + (0,0220 \times EE) - (0,0081 \times MM)$$

Onde: PG = produção de gás após 48 horas a cada 200 mg MS de amostra pesada; PB, EE e MM = expressos em g kg⁻¹.

3.2.5. Determinação de pH e Nitrogênio amoniacal

No final de cada lote de fermentação o pH de cada garrafa foi medido e os resíduos foram filtrados. Subamostras (10 mL) de conteúdo filtrado de cada frasco foram adicionadas a tubos Falcon contendo 0,2 mL de ácido sulfúrico a 50% (v/v), e centrifugadas (4°C, 15 min) para determinação de nitrogênio amoniacal (N-NH₃), determinada por colorimetria, conforme descrito por Chaney & Marbach (1962).

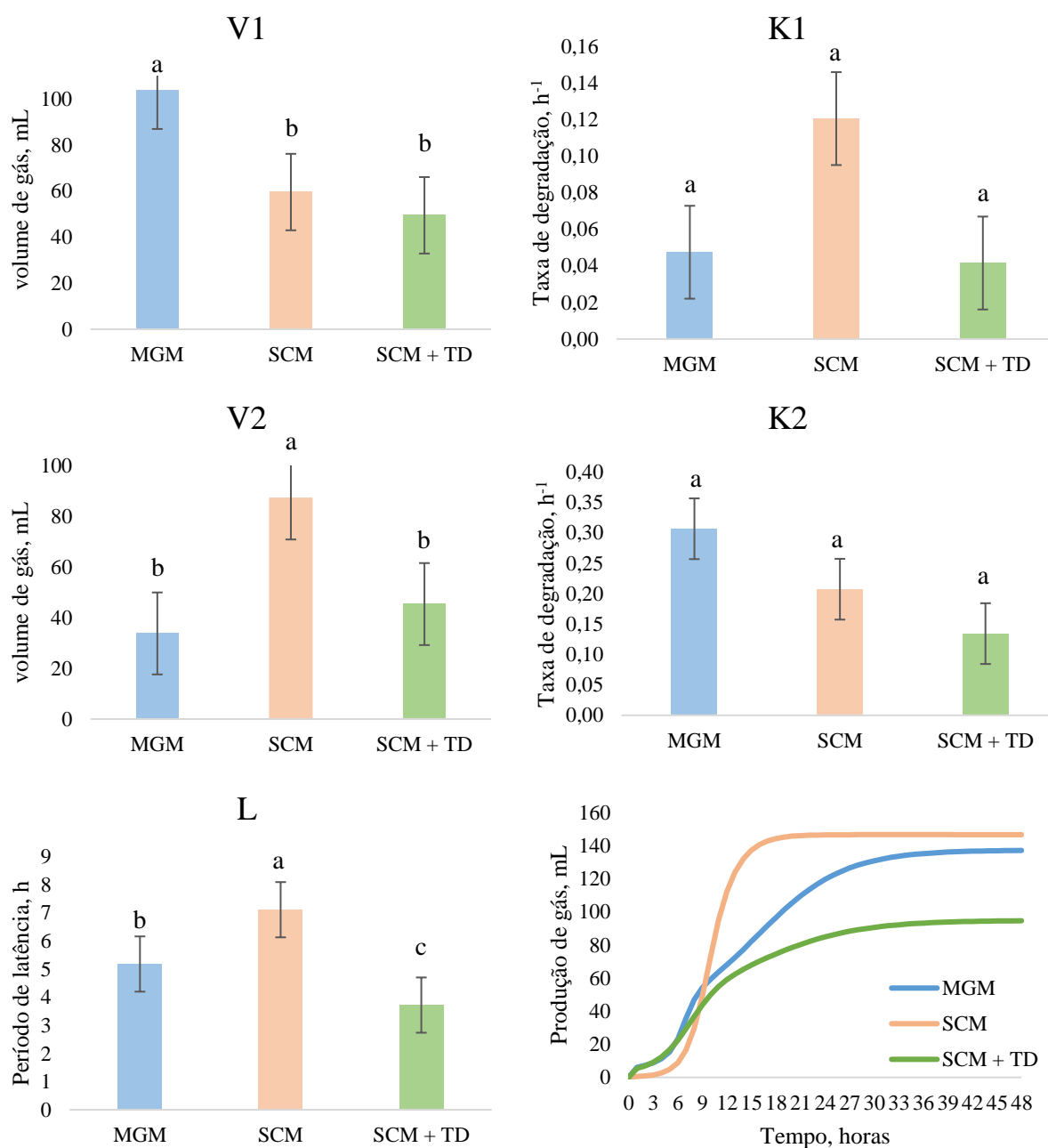
3.2.6. Análise Estatística

A normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram testados pelo teste de Shapiro-Wilk e teste de Levene, respectivamente. Todas as variáveis foram analisadas utilizando o procedimento PROC GLIMMIX no pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS, 2022) para análise de variância. O modelo estatístico incluiu o efeito fixo dos tratamentos (alimentos ou dietas) e os efeitos aleatórios dos blocos (incubação) e do erro experimental. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey com $\alpha = 0,05$ para o erro tipo I. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas significativas em $p < 0,05$.

3.3. RESULTADOS

A cinética de fermentação ruminal dos alimentos, estimada a partir da produção cumulativa de gases ajustada ao modelo bicompartimental, apresentou efeito significativo sobre os parâmetros V1, V2 e L ($p < 0,05$) (Figura 1). O V1 foi maior para o MGM (103,6 mL), em comparação com a SCM (59,6 mL) e a SCM+TD (49,5 mL). O V2 foi maior na SCM (87,1 mL), diferindo da SCM+TD (45,4 mL) e do MGM (33,8 mL). O período de latência (L) foi maior para a SCM (7,11 h) em comparação ao MGM (5,18 h) e a SCM+TD (3,72 h).

Figura 1 – Cinética de degradação *in vitro* do milho grão moído (MGM), silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD)



V1 e V2 = volume de gás máximo em cada fração, mL; K1 e K2 = taxa específica de degradação de cada fração, h⁻¹; L = período de latência, h.

Houve efeito nos alimentos sobre todas as características de fermentação *in vitro* ($p < 0,05$) (Tabela 3). Após 24 horas de incubação, a produção cumulativa de gás foi maior na SCM (142 mL/g MS), seguido do MGM (118 mL/g MS), com a menor produção na SCM+TD (76,6 mL/g MS). Após 48 horas de incubação, os valores observados na SCM (155 mL/g MS) e MGM (146 mL/g MS) foram semelhantes e a menor produção na SCM+TD (97 mL/g MS).

Em relação ao pH, a SCM apresentou o menor valor (6,2), diferindo do MGM (6,3) e SCM+TD (6,48). Para a energia metabolizável (EM), o maior valor foi observado no MGM (7,49 MJ/kg MS), em relação à SCM (6,04 MJ/kg MS) e SCM+TD (5,81 MJ/kg MS).

Na DIVMO, os maiores resultados foram observados no MGM (626 g kg⁻¹) e SCM (638 g kg⁻¹ MS), em relação à SCM+TD (560 g kg⁻¹ MS). Os teores de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) foram maiores no MGM e SCM+TD (12,6 e 13,9 mg/dL, respectivamente) em relação à SCM (10,7 mg/dL).

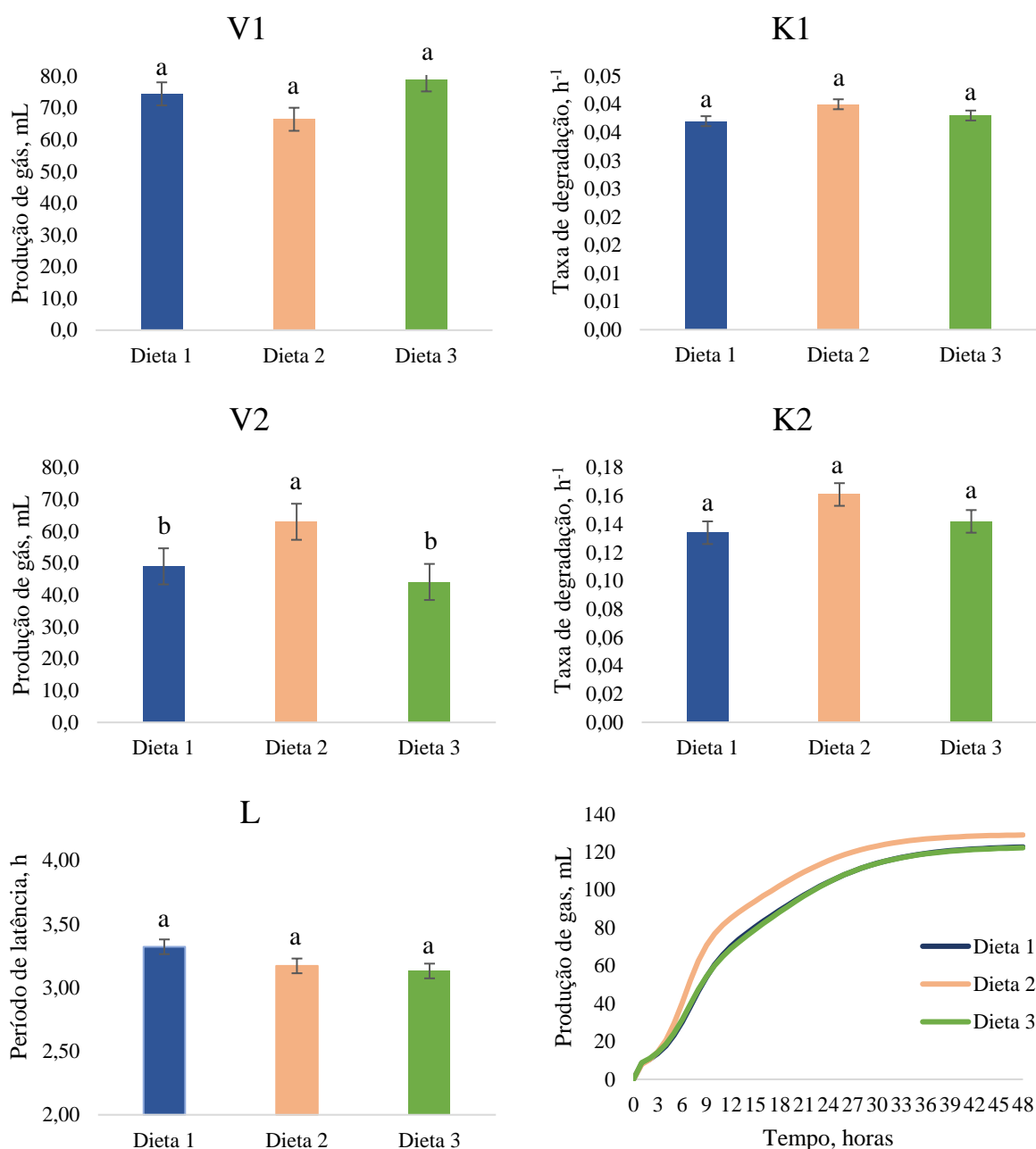
Tabela 3 – Características de fermentação ruminal *in vitro* do milho grão moído (MGM), Silagem de casca de mandioca (SCM) e silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD)

Item	Alimentos			EPM	P-valor
	MGM	SCM	SCM + TD		
PG 24 h, mL/g MS	118 b	142 a	76,6 c	14,3	<0,01
PG 48 h, mL/g MS	146 a	155 a	97,0 b	14,3	<0,01
pH	6,3 b	6,2 c	6,48 a	0,02	<0,01
EM, MJ/kg MS	7,49 a	6,04 b	5,81 b	0,45	<0,01
DIVMO, g kg ⁻¹	626 a	638 a	560 b	19,3	<0,01
N-NH ₃ , mg/dL	12,6 a	10,7 b	13,9 a	2,75	<0,01

PG: produção de gás em 24 e 48 horas; EM: energia metabolizável; DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; N-NH₃: nitrogênio amoniacal; EPM: erro padrão da média; médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à cinética fermentativa de degradação das dietas (Figura 2), não houve diferença entre as dietas para V1, K1 e K2 e L ($p > 0,05$). Houve efeito no V2, onde a maior produção de gás foi observada na dieta 2 (SCM) (63,0 mL), sendo superior às dietas 1 (MGM) (49,0 mL) e 3 (MGM + (SCM+TD)) (44,1 mL) ($p < 0,05$).

Figura 2 – Cinética de degradação *in vitro* de dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3)



V1 e V2 = volume de gás máximo em cada fração, mL; K1 e K2 = taxa específica de degradação de cada fração, h⁻¹; L = período de latência, h.

Em relação as características de fermentação ruminal houve efeito sobre a produção de gás em 24 horas e energia metabolizável ($p < 0,05$) (Tabela 4). Após 24 horas de incubação, a maior produção de gás foi observada na dieta 2 (SCM) (114 mL/g MS), diferindo das dietas 1 (MGM) (102 mL/g MS) e 3 (MGM + (SCM+TD)) (103 mL/g MS). Após 48 horas, os valores de produção de gás foram semelhantes entre as dietas, assim como o pH.

As maiores concentrações de EM foram observadas nas dietas 1 (MGM) (6,75 MJ/kg MS) e 3 (MGM + (SCM+TD)) (6,47 MJ/kg MS), enquanto a dieta 2 (SCM) apresentou o menor valor (6,19 MJ/kg MS). Não houve diferença entre as dietas quanto à DIVMO e N-NH₃.

Tabela 4 – Características de fermentação ruminal *in vitro* de dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3)

Item	Dietas			EPM	P-valor
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3		
PG 24 mL/g MS	102 b	114 a	103 b	5,27	0,04
PG 48 h mL/g MS	123	129	122	7,00	0,51
pH	6,34	6,40	6,46	0,07	0,08
EM, MJ/kg MS	6,75 a	6,19 b	6,47 a	0,23	0,01
DIVMO, g kg ⁻¹	604	613	604	10,0	0,50
N-NH ₃ , mg/dL	26,7	25,6	25,9	3,53	0,80

PG: produção de gás em 24 e 48 horas; EM: energia metabolizável; DIVMO: digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; N-NH₃: nitrogênio amoniacal. EPM: erro padrão da média; médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.4. DISCUSSÃO

Os alimentos avaliados (MGM, SCM e SCM+TD) apresentam composições nutricionais distintas, no entanto, os resultados das análises indicam que, quando incorporados em dietas balanceadas, o comportamento fermentativo tende a ser semelhante.

Cinética ruminal in vitro dos alimentos

Embora o MGM e a SCM apresentem altos teores de CNF, o tipo de carboidrato presente influencia a produção e taxa de degradação durante a fermentação. O modelo bicompartimental fornece uma descrição quantitativa da dinâmica fermentativa e prevê frações de rápida (V1) e lenta degradação (V2), mas na prática, fatores como solubilidade dos carboidratos, pH e atividade microbiana inicial podem gerar comportamentos diferentes do previsto pelo modelo.

O maior tempo de latência na SCM e o MGM pode estar relacionado à falta de adaptação prévia da microbiota presente no inóculo ruminal, uma vez que os animais doadores estavam adaptados a uma dieta exclusivamente fibrosa (Silva *et al.*, 2012). Este mesmo fator pode justificar o menor tempo de latência observado na SCM+TD. Apesar de não ser o esperado, pode estar relacionado com a presença de fibra na torta de dendê, que pode ter acelerado a colonização inicial por microrganismos celulolíticos presentes no inóculo e a composição da mistura contendo SCM pode ter proporcionado um ambiente fermentativo mais equilibrado. Essa diferenciação no perfil de colonização pode refletir a influência do histórico alimentar sobre a adaptação e velocidade de fermentação pelos microrganismos (Huntington, 1997).

Os parâmetros do modelo representam estimativas do comportamento de produção de gás e não devem ser interpretados de forma isolada ou absoluta, já que nem sempre refletem a produção real de gás (Silva *et al.*, 2024). Mesmo com um maior período de latência e menor produção de gás potencial no V1 pelo modelo bicompartimental, a fermentação na SCM ocorreu de forma rápida com produção de gás superior ao MGM e SCM+TD.

Nas primeiras 24 horas de incubação, a maior produção de gás observada para a SCM pode ser atribuída à maior concentração e tipo de CNF, em específico o amido da mandioca, que pode explicar também o menor pH e N-NH₃. Diferente do milho, cujo amido está parcialmente protegido por uma matriz proteica que retarda sua disponibilidade (Philippeau; Martin; Michalet-Doreau, 1999), o amido da mandioca apresenta alta disponibilidade aos microrganismos devido à ausência de pericarpo, matriz proteica, endosperma córneo e periférico, além de menor teor de amilose (17%) e mais amilopectina (83%) em relação a outros cereais (Fronza *et al.*, 2023; Gómez; Posada; Olivera, 2016; Santos *et al.*, 2015). Essas características favorecem a rápida degradação do amido e justifica a produção cumulativa de gás observada na fase exponencial.

A menor produção de gases (após 48 horas) observada na SCM+TD em relação ao MGM e SCM pode ser atribuída ao maior teor de fibra e extrato etéreo presente neste alimento. Dentre os alimentos avaliados, a SCM+TD possui maior teor de FDN e FDA, que apresentam correlação negativa com a produção de gás, devido à menor fermentação desses componentes (Sallam, 2005). Esse efeito pode ser intensificado pela maior concentração de lignina, componente da parede celular que não é degradado pelos microrganismos ruminais e atua como barreira física à ação dos microrganismos sobre a celulose e hemicelulose, reduzindo a degradação desse alimento (Hatfield & Kalscheur, 2020; Maciel *et al.*, 2012). A torta de dendê pode variar entre 11 a 18% de lignina na MS em sua composição (Rodrigues Filho; Camarão; Azevedo, 2001; Rossa, 2019). Além disso, o teor de extrato etéreo presente na SCM+TD pode ter inibido parcialmente a degradação do substrato pelos microrganismos (Kozloski, 2017).

O MGM e a SCM obtiveram menores valores de pH após 48 horas, pois alimentos com maior concentração de CNF tendem fermentar mais rapidamente, resultando em maior produção de ácidos orgânicos e redução do pH (Vargas *et al.*, 2023). O maior valor de pH observado na SCM+TD, pode ser atribuída à menor disponibilidade de CNF, pela maior proporção de fibra da dieta, cuja fermentação ocorre mais lentamente, reduzindo a taxa de acidificação do meio (Kozloski, 2017). Além disso, o pH final de todos os alimentos está dentro do intervalo para que seja possível a fermentação ruminal (5,5-7,0) (Dutra *et al.*, 2004).

O maior valor de EM estimado observado no MGM, sugere maior densidade energética por kg de MS, sendo coerente com o maior teor de NDT do MGM. O cálculo para obtenção da energia metabolizável leva em consideração a produção de gás e as concentrações de PB e EE. Como os teores desses nutrientes são maiores no MGM em comparação com os demais alimentos, consequentemente houve maior valor de EM.

A menor DIVMO observada na SCM+TD pode estar relacionada à redução na concentração de NDT, atribuída à presença de compostos fenólicos, como a lignina, oriundos da torta de dendê, que pode ter limitado a DIVMO. Ao adicionar níveis de torta de dendê nas dietas de novilhas, houve redução da digestibilidade de nutrientes como PB e FDN, pois a lignina promove efeito físico limitando a adesão dos microrganismos à parede celular, o que prejudica a degradação dos componentes orgânicos (Kozloski, 2017; Maciel *et al.*, 2012).

Os maiores valores de N-NH₃ foram observados para o MGM e SCM+TD, possivelmente devido aos maiores teores de proteína bruta. A concentração de N-NH₃ está relacionada à taxa de degradação do nitrogênio da dieta e à sua disponibilidade para utilização pelos microrganismos ruminais (Zhang *et al.*, 2022). Todos os alimentos apresentaram valores de N-NH₃ dentro da faixa considerada adequada para a atividade microbiana, cujo limite mínimo é de aproximadamente 5 mg/100 mL (Dutra *et al.*, 2004). O mesmo comportamento foi relatado por Putridinanti *et al.* (2019) que observaram maior concentração de N-NH₃ em dietas contendo milho como fonte energética, em comparação àquelas formuladas com derivados da mandioca, como o pó e a polpa da raiz, no entanto, neste estudo citado, o nível de N-NH₃ para os derivados estava abaixo do limite mínimo.

Ressalta-se que os resultados obtidos nesse trabalho não podem ser generalizados para todos os derivados, principalmente a SCM, uma vez que a composição química observada principalmente em relação aos teores FDN e MM foram menores que valores já relatados (Aguilar *et al.*, 2020; Gargantini *et al.*, 2013; Pitirini, 2023). Essa diferença reforça a ausência de padronização na obtenção e processamento da SCM entre as agroindústrias, que pode variar de acordo com o descascamento (manual ou mecânico) e a proporção de pontas de raiz incorporadas a este alimento. Ressalta-se que a SCM utilizada foi fornecida por uma empresa que adota um processo padronizado de descascamento, o que confere certa homogeneidade ao produto. Ainda assim, a composição química distinta sugere que o padrão adotado por essa empresa inclui, possivelmente, maior proporção de frações internas da raiz, o que justificaria o alto CNF observado. Esses resultados reforçam a necessidade de caracterização detalhada dos derivados, antes de sua aplicação em dietas para ruminantes.

Cinética e fermentação ruminal in vitro das dietas

A semelhança entre as dietas em relação à cinética ruminal em relação aos parâmetros de V1, K1, K2 e L, pode estar relacionado à formulação das dietas, que apresentaram composições químicas semelhantes, especialmente no que diz respeito às concentrações de CNF, principais responsáveis pela produção de gases nas primeiras horas de incubação, justificando potencial de produção equivalente de gás na fase inicial da fermentação. Quanto maior a disponibilidade de substratos de rápida fermentação e mais favoráveis forem as características físico-químicas da parede celular à ação microbiana, menor tende a ser o tempo necessário para a colonização pelos microrganismos ruminais (Magalhães *et al.*, 2006).

Na fração V2 observou-se maior produção de gases na Dieta 2 em comparação com as Dietas 1 e 3, o que era esperado pois a fonte energética desta dieta é a SCM e o mesmo comportamento foi observado no V2 para este alimento isolado. Resultados semelhantes foram relatados por Silva *et al.* (2012), ao avaliarem silagens de parte aérea com adição de raízes de mandioca, pois apesar de apresentarem menor teor de carboidratos fibrosos pela adição da raiz, produziram maior volume de gás na fração V2. Isso pode estar relacionado ao efeito estimulante de concentrações moderadas de CNF sobre a degradação da fração fibrosa (Cabral *et al.*, 2002).

A Dieta 2 apresentou maior produção cumulativa de gases nas primeiras 24 horas de incubação, provavelmente devido à degradação mais rápida do amido presente na raiz da mandioca em comparação ao amido do milho atribuída à ausência de pericarpo e matriz proteica (Chanjula *et al.*, 2003; Kozloski, 2017). Porém, após 48 horas a produção de gás foi semelhante, mostrando a equivalência no potencial fermentativo entre as dietas. Os maiores valores de EM observados nas dietas 1 e 3 indicam maior eficiência na retenção energética, considerando as perdas fecais, urinárias e gasosas, que estão diretamente relacionadas com as variáveis utilizadas na equação. Embora o teor de PB entre as dietas seja semelhante, a dieta 2 apresentou menor concentração de extrato etéreo, o que influenciou no resultado de EM.

A semelhança entre os valores de DIVMO das dietas indica a disponibilidade de nutrientes digestíveis equivalentes, resultando em níveis semelhantes de degradação nas condições do *in vitro*. A semelhança em relação ao pH e N-NH₃ entre as dietas, indica que elas foram formuladas de modo a atender às exigências fermentativas da microbiota ruminal. De acordo com Zhang *et al.* (2022), concentrações de N-NH₃ entre 6,3 e 27,5 mg/dL são adequadas para o crescimento microbiano. No presente estudo, os valores observados variaram de 25,6 a 26,7 mg/dL, o que sugerindo que houve adequada disponibilidade de nitrogênio para síntese de proteína microbiana, sem indícios de excesso prejudicial à fermentação.

3.5. CONCLUSÃO

A silagem de casca de mandioca apresentou valor nutritivo semelhante ao milho moído de acordo com os resultados da fermentação *in vitro*, enquanto a silagem de casca de mandioca com torta de dendê apresentou menor produção de gás em comparação com o milho. Apesar das diferenças observadas na cinética e nos parâmetros fermentativos dos alimentos isolados, quando incorporados em dietas balanceadas, os perfis fermentativos *in vitro* tornam-se semelhantes entre as formulações. No entanto, é importante realizar avaliações *in vivo* para se obter os resultados de desempenho dos animais alimentados com essas dietas, para consolidar a viabilidade nutricional de sua utilização.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, P. B. *et al.* Avaliação da composição bromatológica da casca da mandioca: uma alternativa para a alimentação animal no Vale do Juruá-Acre. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5942>. Acesso em: 10 set. 2024.
- ALVARENGA, Beatriz Merquezini. **Silagem de Capim-Tanzânia (*panicum maximum* jacq cv. Tanzânia) com níveis de torta de dendê**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Zootecnia) 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/30942>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- ANDRADE SOBRINHO, Luiz Edmundo Cincurá de. **Torta de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq.), em substituição ao concentrado a base de milho e farelo de soja, na alimentação de cabras em lactação**. 2010. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Ciência Animal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010. Disponível em: <https://ri.ufrb.edu.br/handle/123456789/557>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- ANKOM Technology, Nova York, NY, EUA. Disponível em: https://www.ankom.com/product-catalog/ankom-rf-gas-production-system?srsId=AfmBOorWv8fo4Wkr-UA_GJpBG4YjrgP6kZ1RqXIOYqkoQHxbGggBpNLv. Acesso em: 26 jul. 2025.
- ASSIS, J. R. de. *Et al.* Revisão: modelos matemáticos aplicados à cinética de digestão ruminal e produção de gás *in vitro*. In: inovações na nutrição animal: desafios da produção de qualidade. **Editora Científica Digital**, 2021. P. 164-179. <https://doi.org/10.37885/210404121>
- BR CORTE. 2016. Disponível em www.brcorte.com.br. Acesso em: 10 out. 2024.
- CABRAL, Luciano da Silva *et al.* Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 2332-2339, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000900023>

CARVALHO, G. G. P. *et al.* Comportamento ingestivo de cabras leiteiras alimentadas com farelo de cacau ou torta de dendê. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 919-925, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900012>

CÉLINO, A. *et al.* The hygroscopic behavior of plant fibers: a review. **Frontiers in chemistry**, v. 1, p. 43, 2014. <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00043>

CHANEY, Albert L.; MARBACH, Edward P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical chemistry**, v. 8, n. 2, p. 130-132, 1962. <https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130>

CHANJULA, P. *et al.* Ruminant degradability of tropical feeds and their potential use in ruminant diets. **Asian-australasian journal of animal sciences**, v. 16, n. 2, p. 211-216, 2003. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.211>

COUNCIL, Norwegian Refugee *et al.* **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academy of Sciences, Washington, DC, 2001. Disponível em: <https://nap.nationalacademies.org/read/9825/chapter/4#14>

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. 2. Ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350 p.

DOURADO, D. P. *et al.* Potencialidade da casca da mandioca como resíduo proveniente de fecularia. In: Agronomia: jornadas científicas-volume 2. **Editora Científica Digital**, 2020. P. 167-172. <https://doi.org/10.37885/200400106>

DUTRA, A. R. *et al.* Efeitos dos níveis de fibra e de fontes de proteínas sobre a concentração do nitrogênio amoniacal e pH ruminal em novilhos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 714-722, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000300020>

FAO. Rankings countries by commodity. FAOSTAT. 2023. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/em/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 02 mar. 2025.

FARIA, P.B.; SILVA, J.N. *et al.* Processamento da casca de mandioca na alimentação de ovinos: desempenho, características de carcaça, morfologia ruminal e eficiência econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p.2929- 2937, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200041>

FERREIRA, G. D. G. *et al.* Valor nutritivo de co-produtos da mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.4, p. 364-374. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/1939>. Acesso em: 05 jan. 2025.

FRONZA, Pâmella *et al.* Extraction and characterization of starch from cassava peels. **Starch-Stärke**, v. 75, n. 3-4, p. 2100245, 2023. <https://doi.org/10.1002/star.202100245>

GARGANTINI, Odnei Francisco *et al.* Silagem da ponta de cana-de-açúcar com resíduos da agroindústria da mandioca. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 3, p. 195-205, 2013. <https://doi.org/10.17523/bia.v70n3p195>

GÓMEZ, Luis M.; POSADA, Sandra L.; OLIVERA, Martha. Starch in ruminant diets: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 29, n. 2, p. 77-90, 2016. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>

- HATFIELD, R. D.; KALSCHEUR, K. F. Carbohydrate and protein nutritional chemistry of forages. **Forages: the science of grassland agriculture**, v. 2, p. 595-607, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch33>
- HUNTINGTON, Gerald B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of animal science**, v. 75, n. 3, p. 852-867, 1997. <https://doi.org/10.2527/1997.753852x>
- IKUJENLOLA, A.V., OPAWALE, B.O. Effects of Processing on the Yield and Physico-Chemical Properties of Cassava Products. **AMR**. 2007 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.18-19.165>
- KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. 3ª edição. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2017.
- MACIEL, R. P. *et al.* Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhas leiteiras alimentadas com dietas contendo torta de dendê. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 698-706, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300033>
- MAGALHÃES, R.T. Avaliação de quatro genótipos de sorgo pela técnica “*in vitro*” semi-automática de produção de gases. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 01, 2006. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p101-111>
- MENKE K. H., STEINGASS H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. **Animal Research and Development**. 28, 7–55.
- MORAIS, João Paulo Saraiva, *et al.* **Valorização de coprodutos da cadeia do dendê**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria tropical, 2013. 38 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/981759>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- NOGUEIRA, M. M. B., *et al.* Composição físico-química de silagem da parte aérea e resíduos do processamento da mandioca. **Revista Conexão Na Amazônia**, 2(2), 142–155, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifac.edu.br/index.php/revistarca/article/view/42>. Acesso em 02 out. 2024.
- PHILIPPEAU, C.; MARTIN, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. **Journal of animal science**, v. 77, n. 6, p. 1587-1596, 1999. <https://doi.org/10.2527/1999.7761587x>
- PITIRINI, J. S. *et al.* Fermentation profile and chemical composition of cassava root silage. **Acta Amazônia**, v.51, n. 3, p. 191-198, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202004410>
- PITIRINI, Juliana Schuch. **A ensilagem da casca de mandioca com torta de dendê conserva seu valor nutritivo**. 73 p. 2023. Dissertação de mestrado (Pós-Graduação em Saúde e Produção Animal na Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.
- PRADO, I. N. *et al.* Performance of heifers fed diets containing corn or cassava hull as energy source and cottonseed meal or yeast as protein source. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 278-287, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100036>
- PUTRIDINANTI, A. D. *et al.* A comparison of three highly fermentable carbohydrate sources (corn, cassava powder or cassava pulp) on *in vitro* digestion. In: IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. p. 012106.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/387/1/012106>

RIBEIRO, S. R. G.; BAPTISTA, J. A. A.; NOVAIS, R. A. B. Análise das Exportações de Fécula de Mandioca de 1997 até 2022. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, v. 1, n. 03, p. 66-79, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11075202>

RODRIGUES FILHO, José Adérito; CAMARÃO, Ari Pinheiro; AZEVEDO, Guilherme Pantoja C. de. Utilização da torta de amêndoa de dendê na alimentação de ruminantes. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2001. 24 p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/402941>. 17 fev. 2025

ROSSA, Fernando. **Torta de dendê em dietas para novilhas de corte terminadas a pasto**. 2019. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Zootecnia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, 2019.

SALLAM, S. M. A. Nutritive value assessment of the alternative feed resources by gas production and rumen fermentation *in vitro*. **Res. J. Agric. Biol. Sci**, v. 1, n. 2, p. 200-209, 2005.

SANTA ROSA, Caroline Emanuelle do Amaral. **Análise econômica da utilização de silagem de casca de mandioca com torta de dendê para uso na alimentação animal**. 2022. 34 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

SANTOS, Danielle Farias dos. **Composição química e estimativa da digestibilidade e valor energético de resíduos da industrialização de frutas e da mandioca para alimentação de ruminantes**. 2011. 75 p. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011. Disponível em:
<https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1134?mode=full>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SANTOS, V. L. F. *et al.* Rumen parameters of sheep fed cassava peel as a replacement for corn. **Small Ruminant Research**, v. 133, p. 88-92, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.09.010>

SAS Statistical Analysis System. SAS OnDemand for Academics. Cary, NC: SAS Institute Inc.; 2022. Disponível em: https://www.sas.com/pt_br/software/on-demand-for-academics.html

SILVA, T. H. *et al.* Evaluation of direct-fed microbials on *in vitro* ruminal fermentation, gas production kinetic, and greenhouse gas emissions in different ruminants' diet. **Frontiers in Animal Science**, v. 5, p. 1320075, 2024. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1320075>

SILVA, C. F. P. G. *et al.* Cinética e parâmetros de fermentação ruminal *in vitro* de silagens de parte aérea e raízes de mandioca. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, p. 1639-1648, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000600033>

SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of animal science**, v. 72, n. 11, p. 2980-2991, 1994.
<https://doi.org/10.2527/1994.72112980x>

TAGLIAPIETRA, F. *et al.* *In vitro* rumen fermentation: effect of headspace pressure on the gas production kinetics of corn meal and meadow hay. **Animal Feed Science and**

Technology, v. 158, n. 3-4, p. 197-201, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.04.003>

TAGLIAPIETRA, F. *et al.* Metabolizable energy content of feeds based on 24 or 48 h in situ NDF digestibility and on *in vitro* 24 h gas production methods. **Animal Feed Science and Technology**, v. 170, n. 3-4, p. 182-191, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.008>

VARGAS, Julio Ernesto *et al.* Differential diet and pH effects on ruminal microbiota, fermentation pattern and fatty acid hydrogenation in RUSITEC continuous cultures. **Fermentation**, v. 9, n. 4, p. 320, 2023. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040320>

VISONÁ-OLIVEIRA, M. *et al.* Consumo e digestibilidade de nutrientes da torta de dendê na dieta de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 179-192, 2015.
<https://doi.org/10.1590/1089-6891V16I225615>

WILKINSON, J. M.; LEE, M. R. F. Use of human-edible animal feeds by ruminant livestock. **Animal**, v. 12, n. 8, p. 1735-1743, 2018.
<https://doi.org/10.1017/S175173111700218X>

ZANINE, A. M. *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2611-2616, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200008>

ZHANG, Z. *et al.* Regulation of dietary protein solubility improves ruminal nitrogen metabolism *in vitro*: role of bacteria–protozoa interactions. **Nutrients**, v. 14, n. 14, p. 2972, 2022. <https://doi.org/10.3390/nu14142972>

4. CAPÍTULO 3 – TOMADA DE DECISÃO SOBRE O USO DE SILAGENS DE CASCA DE MANDIOCA COM OU SEM TORTA DE DENDÊ NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

RESUMO

A nutrição é responsável pelos principais gastos na produção animal. A utilização dos resíduos da agroindústria no contexto da nutrição de ruminantes visa reduzir os custos dos ingredientes das dietas, além de gerar destino e renda a esses resíduos, reduzindo o descarte no meio ambiente. Nesse contexto, alguns derivados já são comercializados, como a silagem de casca de mandioca (SCM) e a SCM com torta de dendê (SCM+TD) em substituição ao milho grão moído (MGM). Desta forma, objetivou-se avaliar a silagem de casca de mandioca com e sem a inclusão de torta de dendê como ingredientes de dietas na alimentação de ruminantes em diferentes cenários econômicos. Realizou-se a caracterização bromatológica dos ingredientes (MGM, SCM, SCM+TD, silagem de mombaça, farelo de soja, e torta de dendê) Formulou-se três dietas para bovinos de corte com ganho estimado de 1,4 kg/dia, alterando-se o componente energético: dieta 1 (MGM), dieta 2 (SCM) e dieta 3 (SCM+TD substituindo parcialmente o MGM). Para realizar a análise econômica dos ingredientes energéticos foram considerados oito cenários. O MGM variando seu custo na matéria natural (MN) entre R\$ 0,60/kg e R\$ 2,70/kg, a SCM variando entre R\$ 0,20/kg e R\$ 0,80/kg e a SCM+TD variando entre R\$ 0,40/kg a R\$ 0,90/kg. Esses valores foram convertidos para custo por quilograma de matéria seca (R\$/kg MS) e nutrientes digestíveis totais (NDT). Posteriormente, realizou-se uma matriz comparando os custos para visualizar até que ponto compensa economicamente a substituição do alimento convencional com base no custo de aquisição. Também foi realizada a comparação das três dietas em quatro cenários de alto e baixo custo dos alimentos convencionais e derivados, simulando o custo das dietas por kg de MN e custo por kg MS e o custo por animal por dia. Os resultados sobre a SCM em relação ao R\$/kg MS e R\$/kg NDT mostram que caso o MGM esteja custando a partir de R\$ 0,90/kg MN já é vantajosa sua aquisição em alguns cenários. Quanto à SCM+TD em substituição ao MGM em relação ao R\$/kg MS, caso o MGM esteja custando a partir de R\$ 0,90/kg MN já é vantajosa sua aquisição em alguns cenários e para o R\$/kg NDT começa a ser vantajoso caso o MGM esteja custando a partir de R\$ 1,20/kg MN. Quanto às dietas, a dieta 2 apresentou menor custo por animal/dia em três dos quatro cenários avaliados. Somente quando o custo dos alimentos convencionais estivesse baixo no mercado e os derivados em preços altos, a dieta 1 seria mais barata. As silagens de casca de mandioca com ou sem adição de torta de dendê, apresentam viabilidade nutricional e econômica para substituir parcial ou totalmente o milho em dietas para ruminantes, configurando-se como estratégia sustentável no âmbito da nutrição animal.

Palavras-chave: Derivados agroindustriais; Economia; *Elaeis guineenses*, *Manihot esculenta*, Nutrição animal; Sustentabilidade

ABSTRACT

Nutrition accounts for the main expenses in animal production. The use of agro-industrial residues in ruminant nutrition aims to reduce dietary ingredient costs while also providing an economic destination for these residues, reducing environmental disposal. In this context, some by-products are already commercialized, such as cassava peel silage (CPS) and CPS combined with palm kernel cake (CPS+PKC), which may partially replace ground corn grain (GCG). Thus, the objective of this study was to evaluate cassava peel silage with and without palm kernel cake as dietary ingredients for ruminants under different economic scenarios. Chemical characterization of the ingredients (GCG, CPS, CPS+PKC, *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça silage, soybean meal, and palm kernel cake) was performed. Three diets were formulated for beef cattle with an estimated daily gain of 1.4 kg, varying only the energy component: diet 1 (GCG), diet 2 (CPS), and diet 3 (CPS+PKC partially replacing GCG). For the economic analysis of energy ingredients, eight scenarios were considered. GCG prices were simulated to vary between R\$ 0.60/kg and R\$ 2.70/kg (as-fed basis), CPS between R\$ 0.20/kg and R\$ 0.80/kg, and CPS+PKC between R\$ 0.40/kg and R\$ 0.90/kg. These values were converted to costs per kilogram of dry matter (R\$/kg DM) and total digestible nutrients (TDN). A comparative matrix was then constructed to identify the economic threshold at which substituting conventional feed with by-products becomes advantageous based on purchase cost. Additionally, the three diets were compared across four scenarios of high and low costs of conventional feeds and by-products, simulating diet costs per kg as-fed, per kg DM, and per animal per day. The results for CPS in terms of R\$/kg DM and R\$/kg TDN showed that if the price of GCG reaches R\$ 0.90/kg (as-fed basis) or higher, CPS becomes economically advantageous in some scenarios. For CPS+PKC replacing GCG, considering R\$/kg DM, the threshold is also R\$ 0.90/kg, whereas for R\$/kg TDN the substitution becomes advantageous when GCG costs R\$ 1.20/kg or more. Regarding the diets, diet 2 presented the lowest cost per animal per day in three out of four scenarios evaluated. Only when conventional feed prices were low and by-product prices were high did diet 1 become the least expensive option. Cassava peel silage, with or without palm kernel cake, demonstrates both nutritional and economic feasibility as a partial or complete replacement for corn in ruminant diets, representing a sustainable strategy within animal nutrition.

Keywords: Agro-industrial by-products; Animal nutrition; Economics; *Elaeis guineenses*, *Manihot esculenta*, Sustainability

4.1. INTRODUÇÃO

A nutrição é responsável por até 80% dos custos totais na pecuária, sendo um dos principais fatores determinantes da viabilidade econômica e rentabilidade dos sistemas de produção (Nogueira *et al.*, 2021). Em sistemas intensivos, que utilizam suplementos proteicos e/ou energéticos na alimentação, as fontes mais utilizadas são à base de soja ou milho, que equivalem a cerca de 70% da composição da dieta e que sofrem flutuações de preço, interferindo diretamente na margem de lucro do produtor (Silva *et al.*, 2024).

O milho é o alimento energético mais utilizado na nutrição animal, com 37,5% de sua produção para esta finalidade entre 2024/2025, o que contribui para a competição com o consumo humano (ABIMILHO, 2025). Uma alternativa para reduzir a competição com a alimentação humana é o conceito de “low-cost livestock” ou pecuária de baixo custo, que seria a utilização de alimentos que não são consumidos pelos humanos na nutrição animal, como as pastagens, resíduos das colheitas e os derivados da agroindústria (Van Zanten *et al.*, 2018). Essa estratégia sugere alimentos de menor custo, com qualidade nutricional e promove redução no desperdício, minimiza a competição por grãos com a alimentação humana e valoriza o uso de recursos disponíveis localmente (Negesse *et al.*, 2009).

Dentre os derivados da agroindústria, destacam-se os oriundos da cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). A casca da mandioca, obtida no processo de descascamento da raiz, representa de 22% até 35% do peso da raiz, dependendo do processamento adotado (Ikujenlola & Opawale, 2007). Sua utilização como substituto do milho na alimentação animal já vem sendo explorada, embora os dados disponíveis sobre sua viabilidade econômica ainda sejam limitados. Em estudo com novilhas mestiças, Prado *et al.* (2006) observaram que a substituição parcial do milho por casca de mandioca reduziu o custo da dieta de R\$ 1,20 para R\$ 0,90 animal.dia, sem prejudicar o ganho de peso, conversão alimentar e rendimento de carcaça.

Apesar do potencial nutricional e econômico, a casca de mandioca é comercializada geralmente *in natura*, com cerca de 34% de matéria seca, susceptível a deterioração se armazenada inadequadamente (Faria *et al.*, 2011; Pitirini, 2023). A ensilagem é uma alternativa de conservação para este material, porém pode gerar efluentes devido aos seu teor de matéria seca e baixa concentração de fibra (Célino *et al.*, 2014). Entretanto, as perdas podem ser suavizadas com o uso de aditivos absorventes de umidade, como a torta de dendê (Alvarenga, 2015; Pitirini, 2023; Zanine *et al.*, 2010). A torta de dendê surge como um importante derivado da extração do óleo de palma, possuindo acima de 85% de matéria seca e rendimento de 3,5% por tonelada de cachos (Borges *et al.*, 2008; Carvalho, 2006).

Como os alimentos são comercializados e precificados com base na matéria natural, a maioria dos produtores rurais busca sempre o menor valor, acreditando ser o de menor custo. Entretanto, a aquisição de derivados agroindustriais (silagem de casca de mandioca ou silagem de casca de mandioca + torta de dendê) precisa ser baseada no custo da matéria seca e nutrientes digestíveis totais, para que a concentração dos nutrientes seja considerada. Além disso, a viabilidade econômica da utilização desses alimentos em dietas para bovinos pode variar em função de cenários econômicos e do custo final da dieta por animal, considerando o consumo e o desempenho produtivo.

Nesse contexto, propõe-se uma ferramenta para auxiliar os produtores rurais e técnicos na tomada de decisão em relação à aquisição de derivados agroindustriais considerando o custo dos nutrientes e o custo da dieta, para atingir o real custo-benefício. Desta forma, objetivou-se avaliar a silagem de casca de mandioca com e sem a inclusão de torta de dendê como ingredientes de dietas na alimentação de ruminantes em diferentes cenários econômicos.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Aquisição dos alimentos

Foram obtidas amostras de silagem de mombaça (SM) na agropecuária Boa Terra, localizada no município de Capanema – PA, silagem de casca de mandioca (SCM) na empresa Bonnagro e torta de dendê (TD) na empresa Mejer, ambas no município de Bonito – PA. O farelo de soja (FS) e milho grão moído (MGM) foram obtidos em casas agropecuárias comerciais do município de Irituia – PA. Uma porção da silagem de casca de mandioca foi transferida para um silo balde com capacidade de 10 litros, sendo adicionado 70 partes de SCM e 30 partes de torta de dendê com base na matéria natural (MN). A abertura do silo foi realizada aos 45 dias.

4.2.2. Composição química e formulação das dietas

Para determinação da composição química dos ingredientes (Tabela 1), coletou-se cerca de 200 g de cada alimento. As amostras foram parcialmente secas em estufa de ventilação forçada de ar (55°C/72 h) e moídas a 1 mm de porosidade em moinho de facas. Após esse processo, as amostras foram submetidas à secagem definitiva em estufa sem circulação forçada de ar (105°C/16 h) para quantificar o valor de matéria seca (MS). A matéria mineral (MM) ocorreu em forno mufla (550°C/3 h), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl, extrato

etéreo (EE) pelo método de Randall, fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) com adição de alfa amilase termoestável com ausência de sulfito de sódio e fibra em detergente ácido (FDA) (autoclave à 105°C/1 h) e carboidratos não fibrosos (CNF) (Detmann *et al.*, 2021). Para calcular os nutrientes digestíveis totais (NDT), foi utilizada a equação descrita pelo NRC (Council, 2001):

$$\text{NDT} = \text{CNFD} + \text{PBD} + (\text{EED} \times 2,25) + \text{FDND} - 7$$

Tabela 1 – Composição química dos alimentos (g kg⁻¹)

Composição química (g kg ⁻¹)	Alimentos					
	SM	FS	MGM	SCM	TD	SCM+TD
Matéria seca	330,9	890,2	869,0	335,7	960,5	508,4
Matéria mineral	76,7	74,8	13,1	26,8	24,4	38,4
Matéria orgânica	923,3	925,2	986,9	973,2	975,6	961,6
Proteína bruta	51,4	455,1	86,9	23,6	105,4	72,9
Extrato etéreo	14,3	10,0	55,4	6,0	123,1	63,7
Fibra em detergente neutro	742,5	288,4	130,6	128,1	512,4	399,2
Fibra em detergente ácido	432,5	68,6	25,1	84,2	277,5	233,4
Carboidratos não fibrosos	115,1	171,7	713,9	815,5	234,7	425,8
Nutrientes digestíveis totais	521,3	874,3	916,5	778,0	711,8	726,0

SM: silagem de capim mombaça; FS: farelo de soja; TD: torta de dendê; MGM: milho grão moído; SCM: silagem de casca de mandioca.

A partir da composição química dos alimentos formulou-se três dietas, visando atender a exigências nutricionais de bovinos de corte zebuínos, confinados, com peso médio de 500 kg. As dietas foram formuladas com base na tabela de exigências do Br Corte e foram calculadas para serem isoproteicas (12,5% de PB, %MS) e obter o ganho diário de 1,4 kg na proporção 25:75 volumoso:concentrado. A composição energética da dieta 1 foi somente MGM, enquanto as dietas 2 e 3 substituíram total ou parcialmente essa fonte por derivados da mandioca. A Dieta 2 utilizou exclusivamente SCM como concentrado energético e a dieta 3 substituiu parcialmente o MGM adicionando SCM+TD.

4.2.3. Análise econômica

Para realizar a comparação econômica dos derivados (SCM e SCM+TD) em relação ao MGM, foram considerados oito cenários. Para o MGM os valores de aquisição na matéria natural (MN) variaram entre R\$ 0,60/kg e R\$ 2,70/kg. A SCM variou entre R\$ 0,20 e R\$ 0,80/kg. A SCM+TD teve preços oscilando entre R\$ 0,40 e R\$ 0,90/kg. Posteriormente todos

os preços foram convertidos para custo por quilograma de matéria seca (R\$/kg MS), utilizando a equação:

$$\text{R\$ kg/MS} = \frac{\text{R\$/kg MN} * 100}{\text{MS}}$$

A partir desse resultado, estimou-se o custo por quilograma de nutrientes digestíveis totais (R\$/kg NDT), aplicando a equação:

$$\text{R\$ kg/NDT} = \frac{\text{R\$/kg MS} * 100}{\text{NDT}}$$

Com base nessas equações, foram realizadas duas comparações econômicas: (1) entre MGM e SCM, (2) entre MGM e SCM+TD.

Para visualizar as comparações econômicas, elaborou-se uma matriz na plataforma Excel, na qual foram combinadas as variações de preços entre os ingredientes avaliados. A estimativa dos custos foi realizada com base nos valores por quilograma de matéria seca (R\$/kg MS), realizando a diferença entre o custo do milho em comparação com a silagem de casca de mandioca com ou sem torta de dendê.

Seguindo a mesma lógica, calculou-se a diferença de preços com base no custo por quilograma de NDT (R\$/kg NDT). Todos os valores foram representados por um código de cores, permitindo uma análise mais intuitiva da viabilidade econômica de cada ingrediente em relação ao R\$/kg MS e R\$/kg NDT.

Verde: indica que a variável no eixo X (SCM ou SCM+TD) apresenta custo inferior à variável no eixo Y (MGM), evidenciando vantagem financeira na aquisição.

Amarelo: representa diferença de custo pequena entre os ingredientes (até R\$ 0,10 kg MS ou NDT), sinalizando que fatores qualitativos como valor nutricional e custos logísticos (armazenamento e transporte), podem ser determinantes na escolha do ingrediente.

Vermelho: demonstra que a variável no eixo X (SCM ou SCM+TD) possui custo superior à variável no eixo Y (MGM), indicando que sua aquisição não é economicamente vantajosa.

Para a realização das comparações econômicas entre as três dietas avaliadas, calculou-se o custo dos ingredientes e dietas por quilograma da matéria natural (R\$/kg MN) e matéria seca (R\$/kg MS), e o custo diário das dietas por animal (R\$/dieta animal.dia). Dessa forma analisou-se os impactos econômicos decorrentes da substituição parcial ou total dos ingredientes convencionais por derivados agroindustriais.

A análise econômica considerou quatro cenários distintos de preços dos alimentos, construídos de acordo com variações no mercado de insumos convencionais (MGM e FS) e dos derivados utilizados nas dietas (SCM e SCM+TD) (Tabela 2):

Cenário 1: preços elevados para os alimentos convencionais e preços baixos para os derivados;
Cenário 2: preços elevados tanto para os alimentos convencionais quanto para os derivados;
Cenário 3: preços reduzidos tanto para os alimentos convencionais quanto para os derivados;
Cenário 4: preços reduzidos para os alimentos convencionais e preços elevados para os derivados.

Tabela 2 – Custos por quilograma de matéria natural (R\$/kg MN) e matéria seca (R\$/kg MS) dos ingredientes

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
	R\$/kg MN	R\$/kg MS	R\$/kg MN	R\$/kg MS	R\$/kg MN	R\$/kg MS	R\$/kg MN	R\$/kg MS
SM	R\$ 0,30	R\$ 0,91	R\$ 0,30	R\$ 0,91	R\$ 0,30	R\$ 0,91	R\$ 0,30	R\$ 0,91
FS	R\$ 3,60	R\$ 4,04	R\$ 3,60	R\$ 4,04	R\$ 1,80	R\$ 2,02	R\$ 1,80	R\$ 2,02
MGM	R\$ 2,00	R\$ 2,30	R\$ 2,00	R\$ 2,30	R\$ 1,00	R\$ 1,15	R\$ 1,00	R\$ 1,15
SCM	R\$ 0,25	R\$ 0,74	R\$ 0,50	R\$ 1,49	R\$ 0,25	R\$ 0,74	R\$ 0,50	R\$ 1,49
SCM+TD	R\$ 0,60	R\$ 1,18	R\$ 1,20	R\$ 2,36	R\$ 0,60	R\$ 1,18	R\$ 1,20	R\$ 2,36

SM: silagem de capim mombaça; FS: farelo de soja; MGM: milho grão moído; SCM: silagem de casca de mandioca; TD: torta de dendê

4.3. RESULTADOS

Em um cenário onde o MGM custasse R\$ 0,69 kg MS (R\$ 0,60 kg MN), sua aquisição seria mais vantajosa em relação a SCM em todos os cenários apresentados (Tabela 3). No cenário onde o MGM custasse R\$ 1,04 kg MS (R\$ 0,90 kg MN) e a SCM até R\$ 0,89 kg MS (R\$ 0,30 kg MN), a aquisição da SCM seria mais vantajosa, pois o custo da MS do MGM seria maior. Se o MGM custasse R\$ 1,73 kg MS (R\$ 1,50 kg MN) e a SCM até R\$ 1,49 kg MS (R\$ 0,50 kg MN) a aquisição de SCM seria mais vantajosa pois o custo de MS do MGM seria maior. Se o MGM custasse a partir de R\$ 2,76 kg MS (R\$ 2,40 kg MN) seria mais vantajosa a aquisição da SCM em todos os cenários apresentados.

Tabela 3 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e da silagem de casca de mandioca (SCM) com base na matéria seca (R\$/kg MS)

				Silagem de casca de mandioca (R\$)								
				R\$ 200,00	R\$ 250,00	R\$ 300,00	R\$ 400,00	R\$ 500,00	R\$ 600,00	R\$ 700,00	R\$ 800,00	t MN
				R\$ 0,20	R\$ 0,25	R\$ 0,30	R\$ 0,40	R\$ 0,50	R\$ 0,60	R\$ 0,70	R\$ 0,80	kg MN
Milho grão moído (R\$)	Saca (50 kg)	kg MN	kg MS	R\$ 0,60	R\$ 0,74	R\$ 0,89	R\$ 1,19	R\$ 1,49	R\$ 1,79	R\$ 2,09	R\$ 2,38	kg MS
	R\$ 30,00	R\$ 0,60	R\$ 0,69	R\$ 0,09	-R\$ 0,05	-R\$ 0,20	-R\$ 0,50	-R\$ 0,80	-R\$ 1,10	-R\$ 1,39	-R\$ 1,69	
	R\$ 45,00	R\$ 0,90	R\$ 1,04	R\$ 0,44	R\$ 0,29	R\$ 0,14	-R\$ 0,16	-R\$ 0,45	-R\$ 0,75	-R\$ 1,05	-R\$ 1,35	
	R\$ 60,00	R\$ 1,20	R\$ 1,38	R\$ 0,79	R\$ 0,64	R\$ 0,49	R\$ 0,19	-R\$ 0,11	-R\$ 0,41	-R\$ 0,70	-R\$ 1,00	
	R\$ 75,00	R\$ 1,50	R\$ 1,73	R\$ 1,13	R\$ 0,98	R\$ 0,83	R\$ 0,53	R\$ 0,24	-R\$ 0,06	-R\$ 0,36	-R\$ 0,66	
	R\$ 90,00	R\$ 1,80	R\$ 2,07	R\$ 1,48	R\$ 1,33	R\$ 1,18	R\$ 0,88	R\$ 0,58	R\$ 0,28	-R\$ 0,01	-R\$ 0,31	
	R\$ 105,00	R\$ 2,10	R\$ 2,42	R\$ 1,82	R\$ 1,67	R\$ 1,52	R\$ 1,23	R\$ 0,93	R\$ 0,63	R\$ 0,33	R\$ 0,03	
	R\$ 120,00	R\$ 2,40	R\$ 2,76	R\$ 2,17	R\$ 2,02	R\$ 1,87	R\$ 1,57	R\$ 1,27	R\$ 0,97	R\$ 0,68	R\$ 0,38	
	R\$ 135,00	R\$ 2,70	R\$ 3,11	R\$ 2,51	R\$ 2,36	R\$ 2,21	R\$ 1,92	R\$ 1,62	R\$ 1,32	R\$ 1,02	R\$ 0,72	

Interpretação das cores: rosa: R\$/kg matéria natural; azul: R\$/kg matéria seca; verde: custo da MS do MGM maior do que o custo da MS da SCM – viável a aquisição da SCM; amarelo: custo da MS do MGM pouco maior do que o custo da MS da SCM – inviável a aquisição da SCM; vermelho: custo da MS do MGM menor do que o custo da MS da SCM – inviável a aquisição da SCM.

Com o milho ao custo de R\$ 0,79 kg NDT (R\$ 0,60 kg MN), a aquisição da SCM não será vantajosa em nenhum dos cenários, pois possui maior custo por kg de NDT (Tabela 4). Se o MGM custasse R\$ 1,57 kg NDT (R\$ 1,20 kg MN) e a SCM até R\$ 1,17 kg NDT (R\$ 0,30 kg MN), seria mais vantajosa a aquisição da SCM, pois possuiu menor custo por kg de NDT. Se o MGM custasse R\$ 2,75 kg NDT (R\$ 2,10 kg MN), a aquisição de SCM seria vantajosa até R\$ 2,34 kg NDT (R\$ 0,60 kg MN), pois o custo por kg de NDT do MGM seria maior. Se o MGM custasse R\$ 3,54 kg NDT (R\$ 2,70 kg MN), seria mais vantajosa a aquisição de SCM em todos os cenários apresentados.

Tabela 4 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca (SCM), com base nos nutrientes digestíveis totais (R\$/kg NDT)

				Silagem de casca de mandioca (R\$)								t MN
				R\$ 200,00	R\$ 250,00	R\$ 300,00	R\$ 400,00	R\$ 500,00	R\$ 600,00	R\$ 700,00	R\$ 800,00	kg MN
				R\$ 0,20	R\$ 0,25	R\$ 0,30	R\$ 0,40	R\$ 0,50	R\$ 0,60	R\$ 0,70	R\$ 0,80	kg NDT
Milho grão moído (R\$)	Saca (50 kg)	kg MN	kg NDT	R\$ 0,78	R\$ 0,98	R\$ 1,17	R\$ 1,56	R\$ 1,95	R\$ 2,34	R\$ 2,73	R\$ 3,13	
	R\$ 30,00	R\$ 0,60	R\$ 0,79	R\$ 0,01	-R\$ 0,19	-R\$ 0,38	-R\$ 0,78	-R\$ 1,17	-R\$ 1,56	-R\$ 1,95	-R\$ 2,34	
	R\$ 45,00	R\$ 0,90	R\$ 1,18	R\$ 0,40	R\$ 0,20	R\$ 0,01	-R\$ 0,38	-R\$ 0,77	-R\$ 1,16	-R\$ 1,55	-R\$ 1,94	
	R\$ 60,00	R\$ 1,20	R\$ 1,57	R\$ 0,79	R\$ 0,60	R\$ 0,40	R\$ 0,01	-R\$ 0,38	-R\$ 0,77	-R\$ 1,16	-R\$ 1,55	
	R\$ 75,00	R\$ 1,50	R\$ 1,97	R\$ 1,19	R\$ 0,99	R\$ 0,80	R\$ 0,41	R\$ 0,01	-R\$ 0,38	-R\$ 0,77	-R\$ 1,16	
	R\$ 90,00	R\$ 1,80	R\$ 2,36	R\$ 1,58	R\$ 1,38	R\$ 1,19	R\$ 0,80	R\$ 0,41	R\$ 0,02	-R\$ 0,37	-R\$ 0,76	
	R\$ 105,00	R\$ 2,10	R\$ 2,75	R\$ 1,97	R\$ 1,78	R\$ 1,58	R\$ 1,19	R\$ 0,80	R\$ 0,41	R\$ 0,02	-R\$ 0,37	
	R\$ 120,00	R\$ 2,40	R\$ 3,15	R\$ 2,37	R\$ 2,17	R\$ 1,98	R\$ 1,59	R\$ 1,20	R\$ 0,80	R\$ 0,41	R\$ 0,02	
	R\$ 135,00	R\$ 2,70	R\$ 3,54	R\$ 2,76	R\$ 2,57	R\$ 2,37	R\$ 1,98	R\$ 1,59	R\$ 1,20	R\$ 0,81	R\$ 0,42	

Interpretação das cores: rosa: R\$/kg matéria natural; azul: R\$/kg nutrientes digestíveis totais; verde: custo do NDT do MGM maior do que o custo do NDT da SCM – viável a aquisição da SCM; amarelo: custo do NDT do MGM pouco maior do que o custo do NDT da SCM – inviável a aquisição da SCM; vermelho: custo do NDT do MGM menor do que o custo do NDT da SCM – inviável a aquisição da SCM.

Caso o MGM custasse R\$ 0,69 kg MS (R\$ 0,60 kg MN), em nenhum cenário apresentado a aquisição de SCM+TD seria vantajosa em relação ao MGM (Tabela 5). Caso o MGM custasse até R\$ 1,04 kg MS (R\$ 0,90 kg MN) e a SCM+TD até R\$ 0,89 kg MS (R\$ 0,40 kg MN), a aquisição de SCM+TD seria mais vantajosa por apresentar menor custo de MS. No cenário onde o MGM custasse R\$ 1,38 kg MS (R\$ 1,20 kg MN) e a SCM+TD até R\$ 1,08 kg MS (R\$ 0,55 kg MN), a aquisição de SCM+TD seria mais vantajosa por apresentar menor custo de MS. Em um cenário onde o MGM estivesse custando R\$ 2,07 kg MS (R\$ 1,80 kg MN), em todos os cenários apresentados seria mais vantajosa a aquisição de SCM+TD.

Tabela 5 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD), com base na matéria seca (R\$/kg MS)

				Silagem de casca de mandioca + torta de dendê (R\$)								
				R\$ 12,00	R\$ 13,50	R\$ 15,00	R\$ 16,50	R\$ 19,50	R\$ 22,50	R\$ 25,50	R\$ 27,00	Saca (30 kg)
				R\$ 0,40	R\$ 0,45	R\$ 0,50	R\$ 0,55	R\$ 0,65	R\$ 0,75	R\$ 0,85	R\$ 0,90	Kg MN
Milho grão moído (R\$)	Saca (50 kg)	Kg MN	Kg MS	R\$ 0,79	R\$ 0,89	R\$ 0,98	R\$ 1,08	R\$ 1,28	R\$ 1,48	R\$ 1,67	R\$ 1,77	Kg MS
	R\$ 30,00	R\$ 0,60	R\$ 0,69	-R\$ 0,10	-R\$ 0,19	-R\$ 0,29	-R\$ 0,39	-R\$ 0,59	-R\$ 0,78	-R\$ 0,98	-R\$ 1,08	
	R\$ 45,00	R\$ 0,90	R\$ 1,04	R\$ 0,25	R\$ 0,15	R\$ 0,05	-R\$ 0,05	-R\$ 0,24	-R\$ 0,44	-R\$ 0,64	-R\$ 0,73	
	R\$ 60,00	R\$ 1,20	R\$ 1,38	R\$ 0,59	R\$ 0,50	R\$ 0,40	R\$ 0,30	R\$ 0,10	-R\$ 0,09	-R\$ 0,29	-R\$ 0,39	
	R\$ 75,00	R\$ 1,50	R\$ 1,73	R\$ 0,94	R\$ 0,84	R\$ 0,74	R\$ 0,64	R\$ 0,45	R\$ 0,25	R\$ 0,05	-R\$ 0,04	
	R\$ 90,00	R\$ 1,80	R\$ 2,07	R\$ 1,28	R\$ 1,19	R\$ 1,09	R\$ 0,99	R\$ 0,79	R\$ 0,60	R\$ 0,40	R\$ 0,30	
	R\$ 105,00	R\$ 2,10	R\$ 2,42	R\$ 1,63	R\$ 1,53	R\$ 1,43	R\$ 1,33	R\$ 1,14	R\$ 0,94	R\$ 0,74	R\$ 0,65	
	R\$ 120,00	R\$ 2,40	R\$ 2,76	R\$ 1,98	R\$ 1,88	R\$ 1,78	R\$ 1,68	R\$ 1,48	R\$ 1,29	R\$ 1,09	R\$ 0,99	
	R\$ 135,00	R\$ 2,70	R\$ 3,11	R\$ 2,32	R\$ 2,22	R\$ 2,12	R\$ 2,03	R\$ 1,83	R\$ 1,63	R\$ 1,44	R\$ 1,34	

Interpretação das cores: rosa: R\$/kg matéria natural; azul: R\$/kg matéria seca; verde: custo da MS do MGM maior do que o custo da MS da SCM+TD – viável a aquisição da SCM+TD; amarelo: custo da MS do MGM pouco maior do que o custo da MS da SCM+TD – inviável a aquisição da SCM+TD; vermelho: custo da MS do MGM menor do que o custo da MS da SCM+TD – inviável a aquisição da SCM+TD.

Se o MGM custasse R\$ 1,18 kg NDT (R\$ 0,90 kg MN), sua aquisição em relação a SCM+TD seria vantajosa independente dos cenários econômicos. Se o MGM custasse a partir de R\$ 1,57 kg NDT (R\$ 1,20 kg MN) e a SCM+TD até R\$ 1,32 kg NDT (R\$ 0,45 kg MN), seria mais vantajosa a aquisição de SCM+TD, pois possuiu menor custo por kg de NDT. Se o MGM custasse R\$ 1,97 kg NDT (R\$ 1,50 kg MN) e a SCM+TD até R\$ 1,61 kg NDT (R\$ 0,55 kg MN), seria mais vantajosa a aquisição de SCM+TD, pois possui menor custo por kg de NDT. Se o MGM custasse acima de R\$ 2,75 kg NDT (R\$ 2,10 kg MN) em todos os cenários seria mais econômica a aquisição de SCM+TD em comparação com o MGM.

Tabela 6 – Diferença entre o preço do milho grão moído (MGM) e o preço da silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD), com base nos nutrientes digestíveis totais (R\$/kg NDT)

Milho grão moído (R\$)	Saca (50 kg)	Kg MN	Kg NDT	Silagem de casca de mandioca + torta de dendê (R\$)								Saca (30 kg)
				R\$ 12,00	R\$ 13,50	R\$ 15,00	R\$ 16,50	R\$ 19,50	R\$ 22,50	R\$ 25,50	R\$ 27,00	
				R\$ 0,40	R\$ 0,45	R\$ 0,50	R\$ 0,55	R\$ 0,65	R\$ 0,75	R\$ 0,85	R\$ 0,90	
				R\$ 1,17	R\$ 1,32	R\$ 1,46	R\$ 1,61	R\$ 1,90	R\$ 2,20	R\$ 2,49	R\$ 2,64	
												Kg MN
												Kg NDT
	R\$ 30,00	R\$ 0,60	R\$ 0,79	-R\$ 0,38	-R\$ 0,53	-R\$ 0,68	-R\$ 0,82	-R\$ 1,12	-R\$ 1,41	-R\$ 1,70	-R\$ 1,85	
	R\$ 45,00	R\$ 0,90	R\$ 1,18	R\$ 0,01	-R\$ 0,14	-R\$ 0,28	-R\$ 0,43	-R\$ 0,72	-R\$ 1,02	-R\$ 1,31	-R\$ 1,46	
	R\$ 60,00	R\$ 1,20	R\$ 1,57	R\$ 0,40	R\$ 0,26	R\$ 0,11	-R\$ 0,04	-R\$ 0,33	-R\$ 0,62	-R\$ 0,92	-R\$ 1,06	
	R\$ 75,00	R\$ 1,50	R\$ 1,97	R\$ 0,80	R\$ 0,65	R\$ 0,50	R\$ 0,36	R\$ 0,06	-R\$ 0,23	-R\$ 0,52	-R\$ 0,67	
	R\$ 90,00	R\$ 1,80	R\$ 2,36	R\$ 1,19	R\$ 1,04	R\$ 0,90	R\$ 0,75	R\$ 0,46	R\$ 0,16	-R\$ 0,13	-R\$ 0,27	
	R\$ 105,00	R\$ 2,10	R\$ 2,75	R\$ 1,58	R\$ 1,44	R\$ 1,29	R\$ 1,14	R\$ 0,85	R\$ 0,56	R\$ 0,27	R\$ 0,12	
	R\$ 120,00	R\$ 2,40	R\$ 3,15	R\$ 1,98	R\$ 1,83	R\$ 1,68	R\$ 1,54	R\$ 1,24	R\$ 0,95	R\$ 0,66	R\$ 0,51	
	R\$ 135,00	R\$ 2,70	R\$ 3,54	R\$ 2,37	R\$ 2,22	R\$ 2,08	R\$ 1,93	R\$ 1,64	R\$ 1,35	R\$ 1,05	R\$ 0,91	

Interpretação das cores: rosa: R\$/kg matéria natural; azul: R\$/kg nutrientes digestíveis totais; verde: custo do NDT do MGM maior do que o custo do NDT da SCM+TD – viável a aquisição da SCM+TD; amarelo: custo do NDT do MGM pouco maior do que o custo do NDT da SCM+TD – inviável a aquisição da SCM+TD; vermelho: custo do NDT do MGM menor do que o custo do NDT da SCM+TD – inviável a aquisição da SCM+TD.

A dieta 1 (MGM) apresentou o maior teor de matéria seca (737 g kg⁻¹), seguida da dieta 3 (MGM + SCM+TD) (665 g kg⁻¹), sendo a dieta 2 (SCM) a que apresentou os menores teores (457 g kg⁻¹). Apesar da variação nos ingredientes, as dietas foram isoproteicas (125 g kg⁻¹). No que se refere ao EE e FDN, a dieta 3 apresentou o maior valor (41 e 358 g kg⁻¹), o que pode estar relacionado à inclusão da torta de dendê, um derivado com alto teor de lipídios e fibras. Os CNF e NDT foram superiores na dieta 1 (494,8 e 812,3 g kg⁻¹, respectivamente). A dieta 2 apresentou os menores valores de NDT (735,1 g kg⁻¹) (Tabela 7).

No cenário 1, com preços elevados para os alimentos convencionais e baixos para os derivados, a dieta 2 apresentou o menor custo por animal/dia (R\$ 15,60), enquanto a dieta 1 foi a mais cara (R\$ 22,41). A dieta 3 teve custo intermediário (R\$ 20,23). No cenário 2, com todos os preços dos ingredientes elevados, o custo por animal.dia aumentou para todas as dietas, mas a dieta 2 manteve-se como a mais econômica (R\$

19,66), sendo R\$2,75 mais barata que a dieta 1 (R\$ 22,41) e R\$3,00 mais barata que a dieta 3 (R\$ 22,66).

No cenário 3, com preços reduzidos para todos os ingredientes, os custos por animal/dia diminuiram significativamente. A dieta 2 novamente se destacou com o menor custo (R\$ 10,99), seguida da dieta 1 (R\$ 12,37) e dieta 3 (R\$ 12,50), que permaneceu a mais onerosa mesmo com redução nos preços. No cenário 4, em que os preços dos alimentos convencionais foram reduzidos e os derivados estavam com preços elevados, a dieta 2 se tornou a mais cara (R\$ 15,05) a dieta 1 mais barata (R\$ 12,37) e a dieta 3 apresentou custo intermediário (R\$ 14,93). As flutuações de mercado definem qual ingrediente será mais vantajoso em sua aquisição, no entanto, a dieta 2 foi mais econômica em três dos quatro cenários apresentados, indicando o potencial de uso da SCM como alternativa viável na formulação de dietas para ruminantes.

Tabela 7 – Proporção dos ingredientes, composição química e cenários econômicos das dietas contendo silagem de capim Mombaça e farelo de soja, variando quanto à fonte energética: milho grão moído (dieta 1), silagem de casca de mandioca (dieta 2) e associação de milho com silagem de casca de mandioca e torta de dendê (dieta 3).

	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3			Cenário 4		
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Ingredientes (%MS)												
SM	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
FS	12,8	22,1	13,5	12,8	22,1	13,5	12,8	22,1	13,5	12,8	22,1	13,5
MGM	62,2	-	41,5	62,2	-	41,5	62,2	-	41,5	62,2	-	41,5
SCM	-	52,9	-	-	52,9	-	-	52,9	-	-	52,9	-
SCM+TD	-	-	20,0	-	-	20,0	-	-	20,0	-	-	20,0
Composição química (g kg⁻¹)												
Matéria seca	737	457	665	737	457	665	737	457	665	737	457	665
Matéria orgânica	963	950	958	963	950	958	963	950	958	963	950	958
Proteína bruta	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Extrato etéreo	39	9	41	39	9	41	39	9	41	39	9	41
FND	303	317	358	303	317	358	303	317	358	303	317	358
CNF	496	498	434	496	498	434	496	498	434	496	498	434

NDT	812,3	735,1	773,9	812,3	735,1	773,9	812,3	735,1	773,9	812,3	735,1	773,9
Custo das dietas (R\$)												
R\$/kg MN	R\$ 1,35	R\$ 0,59	R\$ 1,10	R\$ 1,35	R\$ 0,74	R\$ 1,24	R\$ 0,74	R\$ 0,41	R\$ 0,68	R\$ 0,74	R\$ 0,57	R\$ 0,82
R\$/kg MS	R\$ 2,18	R\$ 1,51	R\$ 1,96	R\$ 2,18	R\$ 1,91	R\$ 2,20	R\$ 1,20	R\$ 1,07	R\$ 1,21	R\$ 1,20	R\$ 1,46	R\$ 1,45
R\$/animal. dia	R\$ 22,41	R\$ 15,60	R\$ 20,23	R\$ 22,41	R\$ 19,66	R\$ 22,66	R\$ 12,37	R\$ 10,99	R\$ 12,50	R\$ 12,37	R\$ 15,05	R\$ 14,93

SM: Silagem de mombaça; FS: farelo de soja; MGM: milho moído; SCM: Silagem de casca de mandioca; SCM+TD: Silagem de casca de mandioca + 30% torta de dendê; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; CNF: carboidratos não fibrosos; NDT: nutrientes digestíveis totais. Fontes energéticas: Dieta 1 – MGM; dieta 2 – SCM; Dieta 3 – MGM + SCM+TD. Cenário 1 (azul): preços elevados para os alimentos convencionais (MGM: R\$2,00 e FS: R\$3,60 kg MN) e preços baixos para os derivados (SCM: R\$0,25 e SCM+TD: R\$0,60 kg MN); Cenário 2 (cinza): preços elevados tanto para os alimentos convencionais (MGM: R\$2,00 e FS: R\$3,60 kg MN) quanto para os derivados (SCM: R\$0,50 e SCM+TD: R\$1,20 kg MN); Cenário 3 (rosa): preços reduzidos tanto para os alimentos convencionais (MGM: R\$1,00 e FS: R\$1,80 kg MN) quanto para os derivados (SCM: R\$0,25 e SCM+TD: R\$0,60 kg MN); Cenário 4 (amarelo): preços reduzidos para os alimentos convencionais (MGM: R\$1,00 e FS: R\$1,80 kg MN) e preços elevados para os derivados (SCM: R\$0,50 e SCM+TD: R\$1,20 kg MN).

4.4. DISCUSSÃO

A comparação dos custos de MS entre MGM e SCM (Tabela 3) e MGM e SCM+TD (Tabela 5) levou em conta não apenas o preço de compra, mas também a composição química e a eficiência de uso de cada ingrediente (R\$/kg de MS). Além disso, mesmo nos cenários os derivados apresentaram pequena vantagem econômica (faixa amarela), os custos de manipulação e armazenamento dos alimentos podem encarecer o custo final. Desta forma, a substituição do MGM pela SCM foi economicamente vantajosa em 64% das combinações analisadas, enquanto a SCM+TD apresentou vantagem em 69% dos cenários. Ressalta-se que a conversão para MS é indispensável para determinar o custo real dos nutrientes fornecidos na dieta (Fávaro & Rech, 2022).

A comparação de custos de NDT entre o MGM e a SCM (Tabela 4) e entre o MGM e a SCM + TD (Tabela 6) mostrou que a substituição do MGM pela SCM foi mais econômica em 55% das combinações, enquanto a SCM+TD foi mais vantajosa que o MGM em 56%. O custo por unidade de NDT reflete o valor energético real adquirido para o animal digerir e aproveitar para suas exigências de manutenção e produção (Rech *et al.*, 2024). A maior concentração de NDT no MGM em relação à SCM e a SCM+TD evidenciou sua densidade energética superior. Isso significa que uma menor quantidade de MGM pode ser suficiente para fornecer a mesma energia do que volumes maiores de SCM. Apesar do menor custo de aquisição da SCM, seu menor teor de matéria seca e densidade energética pode exigir maior consumo para atingir metas nutricionais mais exigentes, visto que a demanda energética é um dos reguladores do consumo dos animais (Zanine *et al.*, 2006; Silva, 2023), entretanto, dependendo do custo e quantitativo do rebanho, mesmo se for necessária a aquisição de um volume maior de SCM, ainda pode ser mais econômico do que a aquisição de MGM.

É válido ressaltar que as tabelas de comparação dos custos dos ingredientes são ajustáveis e podem ser utilizadas para qualquer alimento e realidade, sendo um modelo que pode ser utilizado por técnicos e produtores. O teor de MS e NDT da SCM obtidos neste trabalho não reflete a realidade de todas as agroindústrias que trabalham com este derivado, pois o processamento na obtenção da casca (suja, lavada, com mais ou menos pontas de raízes) pode interferir nos teores de MM, FDN e CNF, que irão impactar diretamente no NDT (Aguilar *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2007; Gargantini *et al.*, 2013; Gunun *et al.*, 2023; Pitirini, 2023; Santos *et al.*, 2015).

A comparação do custo do NDT representa um refinamento maior em relação à comparação apenas com base na MS por considerar o valor nutritivo dos alimentos, o que pode ser observado pela redução na proporção de cenários favoráveis tanto para a compra da SCM quanto da SCM+TD. Isso evidencia, que além do custo da MS é preciso calcular em relação aos alimentos energéticos, o custo por quilograma de energia (NDT). Este dado leva em consideração o grau de concentração de energia no alimento, uma vez que os produtores definem a compra com base no preço da matéria natural. Além disso, consideramos que esta é apenas a primeira etapa na tomada de decisão sobre a aquisição e utilização de alimentos em dietas para ruminantes.

Outro ponto importante a ser considerado é o custo final da dieta e custo por animal, pois refletem o balanço da formulação da dieta, visando a otimização do custo, mas também garantindo o consumo e o desempenho produtivo.

O menor custo observado na dieta 2 (contendo SCM) (Tabela 7) em três dos quatro cenários simulados, deve-se à substituição completa do MGM pela SCM, ingrediente energético de menor valor de mercado, resultando em menor custo por kg de MS, evidenciando o potencial dos derivados agroindustriais na redução dos custos com alimentação. Contudo, no cenário quatro, que simulou o aumento no preço dos derivados e redução nos valores de MGM, a dieta 2 apresentou maior custo, ressaltando a importância de considerar as flutuações de mercado ao se avaliar a viabilidade econômica desses ingredientes alternativos.

O milho é principal ingrediente energético na terminação de bovinos em confinamento (Millen *et al.*, 2009), com custo variável devido à sua ampla destinação para exportação, consumo humano e nutrição animal. Em 2024, cerca de 40% da produção nacional exportada (FAO, 2024) e 37,5% da oferta interna foi destinada à alimentação de aves, suínos e bovinos (ABIMILHO, 2025). Diante dessa competição entre mercados e da oscilação de preços, a análise de diferentes cenários permite ajustar a tabela de custos conforme as condições locais e identificar a viabilidade econômica de ingredientes alternativos em comparação ao milho.

No cenário 1 (preços elevados para os alimentos convencionais e preços baixos para os derivados), ao se comparar as dietas 1 (MGM) e 2 (SCM), a dieta 2 foi mais econômica em R\$ 6,81 por animal.dia, ou aproximadamente 30%. Projetando para confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 6.810,00/dia. Considerando confinamento de 90 dias, a economia seria de R\$ 612.900,00. Já comparando as dietas 1 (MGM) e 3 (MGM + SCM+TD), a dieta 3 reduziu os custos em comparação com a dieta 1 em R\$ 2,18 animal.dia, ou aproximadamente 10%. Projetando para confinamento com 1000 animais, seria uma economia de R\$ 2.180,00/dia, se o período confinado fosse de 90 dias, a economia seria de R\$ 196.200,00, sendo vantajosa a substituição total ou parcial do milho neste cenário.

No cenário 2 (alimentos convencionais e derivados apresentam maior custo), a dieta 2 (SCM) resultou em economia de R\$ 2,75 animal.dia (12%) em relação à dieta 1 (MGM). Ao se projetar para confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 2.750,00 e em um período de confinamento de 90 dias a economia seria de R\$ 247.500,00. A dieta contendo SCM+TD ficou mais cara em relação às demais dietas por conta do maior custo desse alimento em relação à SCM. Ao se comparar a dieta 2 (SCM) com a dieta 3 (MGM + SCM+TD), a dieta 2 foi mais econômica em R\$ 3,00 animal.dia (13%). Ao se projetar para confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 3.000,00 e no período de confinamento de 90 dias, a economia seria de R\$ 270.000,00.

No cenário 3, quando tanto os preços dos alimentos convencionais quanto dos derivados estão baixos, a dieta 2 (SCM) ainda apresenta menor custo pois se encontra na faixa de

viabilidade discutida na tabela 3 (MGM = R\$1,00 kg MN e a SCM = R\$0,25 kg MN) e resultou na diferença de R\$1,38 em relação à dieta 1 (MGM). Ao se comparar a dieta 1 (MGM) e a dieta 3 (MGM + SCM+TD), a dieta 1 foi mais econômica em R\$ 0,13 animal.dia. Isso reflete que dependendo das flutuações de mercado, a dieta contendo derivados agroindustriais pode ser mais cara do que a dieta contendo alimentos convencionais. A cada 1000 animais a economia seria R\$ 130,00 e no período de confinamento de 90 dias a economia seria de R\$11.700,00. Ao se comparar a dieta 2 (SCM) com a dieta 3 (MGM + SCM+TD), a dieta 2 foi mais econômica em R\$ 1,51 (12%). Ao se projetar um confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 1.510,00 e em um período de confinamento de 90 dias a economia seria de R\$ 135.900,00.

No cenário 4 (preços baixos para os alimentos convencionais e elevados para os derivados agroindustriais), a dieta 2 (SCM) apresentou maior custo em relação as demais. Ao se comparar a dieta 1 (MGM) e dieta 2 (SCM), a dieta 1 possuiu menor custo em R\$ 2,68 animal/dia, cerca de 18% de economia. Ao projetar para confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 2.680,00 e em um período de confinamento de 90 dias a economia seria de R\$ 241.200,00. Ao se comparar a dieta 2 (SCM) com a dieta 3 (MGM + SCM+TD), a economia entre as dietas seria de R\$ 0,12. Ao se projetar um confinamento, a cada 1000 animais a economia seria de R\$ 120,00 e em um período de confinamento de 90 dias a economia seria de R\$ 10.800,00. Mostrando o quanto cada cenário modula a proporção de economia entre a escolha da dieta, considerando um ganho diário fixo.

Derivados agroindustriais apresentam alto potencial para substituir parcial ou totalmente ingredientes convencionais na alimentação de ruminantes, contribuindo para a redução dos custos com transporte e do impacto ambiental, ao oferecer destino adequado a resíduos que seriam descartados. Além disso, não são alimentos que competem com a alimentação humana (Napasirth *et al.*, 2015; Van Zanten *et al.* 2018). Prado *et al.*, (2006) observaram que a substituição parcial do milho por casca de mandioca reduziu o custo da dieta de R\$ 1,20 para R\$ 0,90 por animal.dia, sem prejudicar o ganho de peso, conversão alimentar e rendimento de carcaça.

Em pesquisa com novilhas zebuínas, Azevedo *et al.* (2011) utilizaram diversos derivados agroindustriais, dentre eles, a casca de mandioca em substituição ao milho (em 10% ou 30%) e concluíram que a casca de mandioca é capaz de substituir parcialmente os concentrados energéticos sem prejudicar o consumo, digestibilidade, eficiência microbiana e retenção de nitrogênio. A inclusão de até 24% de torta de dendê na dieta não afetou o desempenho, características de carcaça, parâmetros físico-químicos e a composição centesimal do *Longissimus dorsi* de touros mestiços terminados em confinamento (Lisboa, 2015).

A silagem de casca de mandioca e a silagem de casca de mandioca com torta de dendê apresentam potencial de utilização na alimentação de ruminantes. No entanto, os parâmetros de custo de aquisição com base nos nutrientes e o valor final da dieta deve ser considerado de forma conjunta aos parâmetros de consumo e desempenho, sendo importante adequar e entender a qualidade do alimento e o resultado que ele pode prover. Neste estudo, observou-se que para atender às exigências nutricionais propostas e manter o desempenho, a SCM+TD não pode substituir totalmente o milho na dieta.

4.5. CONCLUSÃO

A utilização de silagem de casca de mandioca (SCM) e a silagem de casca de mandioca com torta de dendê (SCM+TD) pode resultar em menor custo de aquisição na MS e NDT, em comparação ao milho grão moído (MGM). Contudo, as flutuações de mercado podem influenciar no custo final da dieta e impactar na escolha do ingrediente. Em três dos quatro cenários simulados, a inclusão de SCM demonstra ser economicamente viável, reduzindo os custos diários com alimentação. Assim, reforça-se que existe viabilidade econômica no uso de derivados agroindustriais como estratégia para minimizar os custos na nutrição de ruminantes.

4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO – Associação Brasileira Das Indústrias Do Milho. Estatísticas. Disponível em: <https://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 10 mar. 2025.

AGUILAR, P. B. *et al.* Avaliação da composição bromatológica da casca da mandioca: uma alternativa para a alimentação animal no Vale do Juruá-Acre. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5942>. Acesso em: 10 set. 2024.

ALVARENGA, Beatriz Merquezini. **Silagem de Capim-Tanzânia (*panicum maximum* jacq cv. Tanzânia) com níveis de torta de dendê**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Zootecnia) 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/30942>. Acesso em: 11 abr. 2025.

AZEVEDO, J. A. G. *et al.* Intake, total digestibility, microbial protein production, and the nitrogen balance in ruminant diets based on agricultural and agro-industrial by-products. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 114-123, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000100018>

BORGES, J. L. B. *et al.* Balanço Energético na Cultura do Dendê para Produção de Biodiesel–Parte Agrícola. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA. 2008.

BR CORTE. Disponível em: <https://brcorte.com.br/calcula-exigencias>. Acesso em: 10 nov. 2024

CARVALHO, E. M. **Torta de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq) em substituição ao feno de capim-Tifton 85 (*Cynodon spp*) na alimentação de ovinos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2006.

CÉLINO, A. *et al.* The hygroscopic behavior of plant fibers: a review. **Frontiers in chemistry**, v. 1, p. 43, 2014. <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00043>

COUNCIL, Norwegian Refugee *et al.* **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academy of Sciences, Washington, DC, 2001.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 350 p.

FAO. Rankings countries by commodity. FAOSTAT. 2023. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country_exports. Acesso em: 10 mai. 2025.

FARIA, P. B. *et al.* Processamento da casca de mandioca na alimentação de ovinos: desempenho, características de carcaça, morfologia ruminal e eficiência econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 12, p. 2929-2937, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200041>

FÁVARO, V. R.; RECH, Â. F. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 2, p. 14-16, 2022. <https://doi.org/10.52945/rac.v35i2.1134>

FERREIRA, G. D. G. *et al.* Valor nutritivo de co-produtos da mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.4, p. 364-374. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/1939>. Acesso em: 05 jan. 2025.

GARGANTINI, Odnei Francisco *et al.* Silagem da ponta de cana-de-açúcar com resíduos da agroindústria da mandioca. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 3, p. 195-205, 2013. <https://doi.org/10.17523/bia.v70n3p195>

GUNUN, Pongsatorn *et al.* Replacing concentrate with yeast-or EM-Fermented cassava peel (YFCP or EMFCP): Effects on the feed intake, feed digestibility, rumen fermentation, and growth performance of goats. **Animals**, v. 13, n. 4, p. 551, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13040551>

IKUJENLOLA, A. V.; OPAWALE, Benjamin O. Effects of processing on the yield and physico-chemical properties of cassava products. **Advanced Materials Research**, v. 18, p. 165-170, 2007. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.18-19.165>

LISBOA, M. M. **Torta de dendê em dietas de touros azebuados terminados em confinamento**. 2015. 81 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga. 2015.

MILLEN, D. D. *et al.* A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of animal science**, v. 87, n. 10, p. 3427-3439, 2009. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1880>

NAPASIRTH, V. *et al.* Microbial population, chemical composition and silage fermentation of cassava residues. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 9, p. 842-848, 2015. <https://doi.org/10.1111/asj.12362>

NEGESSE, T.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutritive value of some non-conventional feed resources of Ethiopia determined by chemical analyses and an *in vitro* gas method. **Animal Feed Science and Technology**, v. 154, n. 3-4, p. 204-217, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.09.010>

NOGUEIRA, M. M. B. *et al.* Composição físico-química de silagem da parte aérea e resíduos do processamento da mandioca. **Revista Conexão na Amazônia**, v. 2, n. 2, p. 142-155, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifac.edu.br/index.php/revistarca/article/view/42>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PITIRINI, Juliana Schuch. **A ensilagem da casca de mandioca com torta de dendê conserva seu valor nutritivo**. 73 p. 2023. Dissertação de mestrado (Programa de pós-Graduação em Saúde e Produção Animal na Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.

PRADO, I. N. Avaliação produtiva e econômica da substituição do milho por subprodutos industriais da mandioca na terminação de novilhas. **Revista Campo Digital**, v. 1, n. 1, 2006. Recuperado de <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/298>

RECH, A. F., Fávaro, V. R., & Córdova, U. de A. Interpretação de análises bromatológicas para alimentação de ruminante. **Boletim Didático**, (176). 2024. Recuperado de <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BD/article/view/1828>

SANTOS, V. L. F. *et al.* Rumen parameters of sheep fed cassava peel as a replacement for corn. **Small Ruminant Research**, v. 133, p. 88-92, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.09.010>

SILVA, E. I. C da. Cálculos de consumo e digestibilidade de alimentos e nutrientes para ruminantes. **Revista Universitária Brasileira**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2024. Disponível em: <https://revistaub.com/index.php/RUB/article/view/41>. Acesso em: 12 abr. 2025.

SILVA, M. N. da; SILVA, A. L.; BISPO, L. G. S. A democratização do frete para a região Norte do Brasil: um estudo de caso da startup Movendo Serviços Brasil LTD. **Revista de Administração de Roraima**, v. 13, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v13i1.7711>

VAN ZANTEN, Hannah HE *et al.* Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. **Global change biology**, v. 24, n. 9, p. 4185-4194, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14321>

ZANINE, A. M.; JÚNIOR, G. L. M. Importância do consumo da fibra para nutrição de ruminantes. REDVET – **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 7, n. 4, p. 1-11, 2006.

ZANINE, A. M. *et al.* Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2611-2616, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200008>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta dissertação evidenciam que o uso de derivados agroindustriais na alimentação animal promove sustentabilidade, reduz custos sem prejudicar o desempenho produtivo e agrega valor a resíduos como a casca de mandioca e a torta de dendê, que antes eram descartados e agora são produtos comercializados na região.

Através do ensaio de fermentação ruminal *in vitro*, observou-se que em comparação com uma dieta convencional utilizando o milho como fonte energética, as dietas contendo silagem de casca de mandioca utilizada como substituta total do milho e a silagem de casca de mandioca com torta de dendê, que substituiu parcialmente o milho, apresentaram desempenho fermentativo equivalente entre si. Embora sejam fundamentais ensaios com animais para obtenção de dados sobre desempenho e digestibilidade, os achados desta dissertação ampliam o conhecimento existente sobre esses alimentos, proporcionando uma avaliação mais robusta do seu valor nutricional.

Já a análise econômica mostrou que substituir parcial ou totalmente o milho por silagem de casca de mandioca com ou sem adição de torta de dendê, pode reduzir custos e atender às exigências nutricionais dos ruminantes, mas sua viabilidade depende dos preços de mercado e da disponibilidade regional, exigindo flexibilidade na formulação de dietas para manter a sustentabilidade e eficiência econômica.