

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

GABRIELE ROSSINI MOREIRA

Pelos de cauda como biomonitor não invasivo da composição mineral
da carne bovina

Piracicaba
2022

GABRIELE ROSSINI MOREIRA

Pelos de cauda como biomonitor não invasivo da composição mineral
da carne bovina

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e no
Ambiente

Orientadora: Prof^a. Dr^a Elisabete A. De Nadai
Fernandes

Piracicaba
2022

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Moreira, Gabriele Rossini

Pelos de cauda como biomonitor não invasivo da composição mineral da carne bovina / Gabriele Rossini Moreira; orientadora Elisabete A. De Nadai Fernandes. -- Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2022.

112 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2022.

1. Bovinos de corte 2. Cauda de animal 3. Cruzamento animal 4. Espectrometria de massas 5. Metrologia 6. Minerais na dieta 7. Nutrição animal 8. Pelos de animal 9. Qualidade dos alimentos I. Título.

CDU (641.1 + 637.5) : 543.51/.522

Elaborada por:

Marilia Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB Nº 184 de 29 de setembro de 2017

Aos meus pais Alline e Gilberto, pelo carinho, apoio, dedicação e incentivo,
À minha companheira Tatiane, pelo companheirismo e por nunca me
deixar desistir. Obrigada por estar ao meu lado nos dias bons e ruins,
À minha irmã Isabella, por todo amor, carinho e amizade,

Dedico

AGRADECIMENTOS

- 🐾 À Universidade de São Paulo – USP
- 🐾 Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA
- 🐾 Ao Laboratório de Radioisótopos – LRI, pelo suporte técnico-científico
- 🐾 Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa concedida Processo Nº 130209/2020-1
- 🐾 À Profa. Dra. Elisabete A. De Nadai Fernandes, pela orientação, ensinamentos, oportunidades oferecidas, compreensão, estímulo e incentivo
- 🐾 Ao Dr. Márcio Arruda Bacchi, pelos ensinamentos e incentivo
- 🐾 Ao Prof. Dr. Gabriel Adrián Sarriés, da ESALQ/USP, pelo auxílio nas análises estatísticas
- 🐾 Aos técnicos do LRI, Adriana de Angelis Fogaça e Cláudio Luís Gonzaga, pelo apoio, disposição para ajuda e amizade
- 🐾 Aos amigos e colegas do LRI, Fernanda Susi Luccas, Gustavo Nazato Furlan, Letícia de Lima, Lilian Seiko Kato, Lucas Gabriel Fachinelli Moretti, Nathalia Caroline Lucas, Natália Protti, Rafael De Angelis Fogaça, Robson Campos de Lima e Yuniel Tejada Mazola, pelos momentos de convivência, apoio e amizade
- 🐾 À minha avó Angela, pelos sábios conselhos, carinho, amizade e dedicação
- 🐾 Aos meus avós Vicente e Etelvina (*in memoriam*), por todo amor, carinho e dedicação
- 🐾 À minha tia Maria Idalina, por todo amor, carinho, incentivo e dedicação
- 🐾 Às amigas Dra. Maria Isabel Vega Martínez, MSc. Silvana Regina Vicino Sarriés, Sizete Fernandes e Larissa Cossante, pela amizade e incentivo
- 🐾 A toda minha família, pelo apoio e incentivo
- 🐾 A todos os funcionários do Serviço de Pós-Graduação do CENA, pela disposição e constante ajuda
- 🐾 À bibliotecária Sra. Marília R. Garcia Henyei, pela compreensão e auxílio na revisão
- 🐾 Aos meus queridos Hefesto, Tobias e Sarah, por todos os momentos de alegria e por me ensinarem o que é o amor verdadeiro e a fidelidade
- 🐾 A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho

“Se você não puder se destacar pelo talento, vença pelo esforço”.

Dave Weinbaum

RESUMO

MOREIRA, G. R. **Pelos de cauda como biomonitor não invasivo da composição mineral da carne bovina.** 2022. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

O Brasil é considerado um país de dimensões continentais dada a extensão territorial de 8,5 milhões de km², abrangendo os biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. A grande diversidade ambiental promove condições favoráveis ao desenvolvimento da pecuária no país, já que as condições climáticas distintas possibilitam a criação de diferentes raças bovinas. O rebanho bovino brasileiro em 2020 compreendia 187,5 milhões de cabeças, destacando-se os estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Pará que concentram 55 % dos animais. A evolução dos processos de seleção imprimiu as características do Nelore brasileiro, hoje predominante em 75 % do plantel nacional. Investimentos realizados em melhoramento genético, nutrição e bem-estar animal atrelados ao rígido controle do processo produtivo elevaram a qualidade da carne bovina, consolidando o país como segundo maior produtor e maior exportador mundial. Como a qualidade da carne bovina está diretamente relacionada com a composição mineral, a avaliação do estado nutricional do animal nas fases de recria e terminação permite ajustar o conteúdo mineral em seu organismo. O mecanismo comumente utilizado para essa medição é o exame de sangue, que reflete apenas as condições no momento da coleta. Os pelos de cauda têm a vantagem de acumular elementos químicos ao longo da vida do animal proporcionando um registro temporal, associado ao baixo custo de amostragem, fácil manipulação e coleta não invasiva. Este trabalho buscou investigar se a composição mineral dos pelos de cauda reflete a composição mineral da carne bovina, com o intuito de viabilizar o acompanhamento do status mineral dos animais durante as diferentes fases de criação, priorizando a qualidade do produto final. Foram selecionadas amostras de pelos de cauda e de picanha de 20 animais de alto desempenho pertencentes aos cruzamentos genéticos ½ Angus x ½ Nelore (n=10) e ¼ Angus x ¼ Nelore e ½ Wagyu (n=10). Os animais foram oriundos de uma fazenda brasileira certificada situada no bioma Cerrado no estado de São Paulo, que opera em sistema de produção vertical responsável pelos processos de inseminação, cria, recria, engorda, abate e comercialização, facilitando a rastreabilidade da cadeia produtiva. Foram determinados os elementos químicos Al, As, Ba, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Na, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Sc, Se, Sr, V and Zn utilizando análise por ativação neutrônica (NAA) e espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS). Não houve diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$) entre as frações de massa dos elementos químicos determinados nos diferentes segmentos dos pelos de cauda dos animais avaliados. Correlações estatisticamente significativas ($p<0,05$) foram encontradas entre os elementos Al, As, Ba, Cd, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, P, Pb, Se, Sr, V e Zn nos pelos de cauda e na carne bovina. O perfil elementar dos pelos de cauda apresentou diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$) entre os cruzamentos genéticos, caracterizando-se como ferramenta potencial para a autenticação genética dos animais.

Palavras-chave: Cruzamento genético. Bovinos de corte. Análise por ativação neutrônica. Espectrometria de massas. Metrologia.

ABSTRACT

MOREIRA, G.R. Tail hair as a non-invasive biomonitor of beef mineral composition. 2022. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

Brazil is considered a country of continental dimensions given its territorial extension of 8.5 million km², encompassing the Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, Pantanal and Pampa biomes. The great environmental diversity promotes favorable conditions for the development of livestock in the country, since the different climatic conditions allow raising different bovine breeds. The Brazilian cattle herd in 2020 comprised 187.5 million heads, with the states of Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás and Pará concentrating 55% of the animals. The evolution of the selection processes imprinted the characteristics of the Brazilian Nelore, today predominant in 75% of the national herd. Investments in genetic improvement, nutrition and animal welfare linked to strict control of the production process have raised the quality of beef, consolidating the country as the second largest producer and the largest exporter in the world. As the quality of beef is directly related to the mineral composition, the evaluation of the animal nutritional status in the growing and finishing phases allows adjusting the mineral content in its organism. The commonly used mechanism for this measurement is the blood test, which reflects only the conditions at the time of collection. Tail hair have the advantage of accumulating chemical elements throughout the life of the animal providing a temporal record, associated with low sampling cost, easy handling and non-invasive collection. This work investigated whether the mineral composition of tail hair reflects the mineral composition of beef, in order to enable the monitoring of the mineral status of the animals during their different stages of life, prioritizing the quality of the final product. Tail hair and rump cap samples were selected from 20 high performance animals belonging to the genetic crosses ½ Angus x ½ Nelore (n=10) and ¼ Angus x ¼ Nelore and ½ Wagyu (n=10). The animals came from a certified Brazilian farm located in the Cerrado biome in the state of São Paulo, which operates in a vertical production system responsible for the processes of reproduction, cow-calf operation, backgrounding, feedlot, slaughtering and marketing, facilitating the traceability of the production chain. The chemical elements Al, As, Ba, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Na, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Sc, Se, Sr, V and Zn were determined using neutron activation analysis (NAA) and triple quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry (TQ-ICP-MS). There were no statistically significant differences ($p>0.05$) between the mass fractions of the chemical elements determined in the different segments of the tail hair of the evaluated animals. Statistically significant correlations ($p<0.05$) were found for the elements Al, As, Ba, Cd, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, P, Pb, Se, Sr, V and Zn in the tail hair and in beef. The elemental profile of tail hair showed statistically significant differences ($p<0.05$) between the genetic crosses, characterizing itself as a potential tool for the genetic authentication of the animals.

Keywords: Genetic cross. Beef cattle. Neutron activation analysis. Mass spectrometry. Metrology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maiores produtores mundiais de carne bovina. Valores em mil toneladas equivalente em carcaça (TEC).....	28
Figura 2 - Maiores exportadores de carne bovina. Valores em milhões de toneladas métricas	28
Figura 3 - Evolução das exportações de carne bovina	30
Figura 4 - Evolução da área de pastagem e da produtividade	31
Figura 5 - Principais destinos da carne bovina brasileira em 2021. Valores em mil TEC	32
Figura 6 - Variação do PIB da pecuária de corte em um período de 10 anos.....	32
Figura 7 - Níveis de tecnologia empregados nos diferentes sistemas de produção	33
Figura 8 - Ciclo de produção de bovinos de corte no Brasil	34
Figura 9 - Elos do processo produtivo da carne bovina	35
Figura 10 - Distribuição dos frigoríficos registrados no SIF em 2021	37
Figura 11 - Representação da interação do nêutron com o núcleo alvo	48
Figura 12 - Sistema ICP-MS	50
Figura 13 - Procedimento realizado para coleta das amostras de pelos de cauda.....	52
Figura 14 - Cápsulas de polietileno de alta pureza e densidade, tipo T com 9 mm de altura, específicas para irradiação com nêutrons.....	55
Figura 15 - Monitores de Ni-Cr utilizados para medir o fluxo de nêutrons térmicos	55
Figura 16 - Espectrômetros gama de alta resolução. 1. Detector modelo GEM45190, com eficiência de 45 %. 2. Detector modelo GMX50220, com eficiência de 50 %. 3. Detector modelo GEM50P4-83, com eficiência de 50 %	56
Figura 17 - Micro-ondas Milestone, modelo Ethos Up® com 44 posições	58
Figura 18 - TQ-ICP-MS, modelo 8900® fabricado pela Agilent Technologies.....	59
Figura 19 - En score para RM 8414 - Bovine Muscle Powder e SRM 1577c - Bovine Liver analisados por NAA em 7 lotes de amostras de pelos de cauda	60
Figura 20 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Ca, K e Na determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina.....	63
Figura 21 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Co, Fe, Se e Zn determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina	64
Figura 22 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Br, La, Rb e Sc determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina	65
Figura 23 - Coeficiente de variação (%) dentro de cada grupo estudado para os elementos Br, Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Sc, Se e Zn determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina (n = 50)	66
Figura 24 - En score para SRM 1577c Bovine Liver e IAEA-336 Trace and Minor Elements in Lichen analisados por NAA em 3 lotes de amostras de carne bovina	67
Figura 25 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de K e Na determinados por NAA em amostras de carne bovina	68
Figura 26 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Co, Fe, Se e Zn determinados por NAA em amostras de carne bovina	69
Figura 27 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Br, Cs e Rb determinados por NAA em amostras de carne bovina.....	70
Figura 28 - Coeficiente de variação (%) dentro de cada grupo estudado para os elementos Br, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Se e Zn determinados por NAA em amostras de carne bovina (n = 5).....	71

Figura 29 - Recuperações (%) para os elementos químicos certificados no RM 8414, SRM 1577c e SRM 1643d determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda.....	72
Figura 30 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Mg e P determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	75
Figura 31 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Cu, Mn e Mo determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	76
Figura 32 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de As, Cd e Pb determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	76
Figura 33 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Al, Ba e Sr determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	77
Figura 34 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Cr e V determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	78
Figura 35 - Recuperações (%) para os elementos químicos certificados no RM 8414, SRM 1577c, IAEA 336 e SRM 1643d determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina	79
Figura 36 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Ca, Mg e P determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina.....	82
Figura 37 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Cu, Mn e Mo determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina.....	82
Figura 38 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de As, Cd e Pb determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina.....	83
Figura 39 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Al, Ba e Sr determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina.....	84
Figura 40 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg ⁻¹) de Cr e V determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina.....	84
Figura 41 - Relação entre os resultados obtidos por NAA e TQ-ICP-MS	85
Figura 42 - Desvio (%) dos valores determinados por TQ-ICP-MS para Se e Zn considerando os resultados da NAA como valores de referência (n=200)	86
Figura 43 - Variações das frações de massa dos elementos químicos (mg kg ⁻¹) ao longo dos segmentos dos pelos de cauda bovina.....	88
Figura 44 - Valores de correlações dos elementos Ba, K, La, Mo, Pb e Se determinados por TQ-ICP-MS entre pelos de cauda e carne bovina.....	89
Figura 45 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Angus macho	90
Figura 46 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Angus fêmea.....	91
Figura 47 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Wagyu macho.....	92
Figura 48 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Wagyu fêmea.....	92
Figura 49 - Análise de discriminante canônica para os elementos Br, Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Sc, Se e Zn.....	95
Figura 50 - Importância dos elementos químicos para a discriminação dos grupos estudados.....	95
Figura 51 - Acurácia obtida pelos algoritmos Random Forest (RF), Multilayer Perceptron (MLP), Naïve Bayes (NB), Random Forest (RF), Random Tree (RT) e Sequential Minimal Optimization (SMO) usando diferentes subgrupos de elementos.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rebanho bovino por estado brasileiro	29
Tabela 2 - Principais selos de certificação adotados no Brasil	42
Tabela 3 - Minerais essenciais e respectivas funções no organismo.....	44
Tabela 4 - Amostras de picanha e de cauda bovina coletadas no Frigorífico Olhos D'Água no município de Ipuã, São Paulo	53
Tabela 5 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina de quatro grupos de animais ($n=50$)	61
Tabela 6 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão ($n=200$) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina	61
Tabela 7 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de carne bovina de quatro grupos de animais ($n=5$)	67
Tabela 8 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão ($n=20$) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de carne bovina	68
Tabela 9 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina de quatro grupos de animais ($n=50$)	73
Tabela 10 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão ($n=200$) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina	74
Tabela 11 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina de quatro grupos de animais ($n=5$).....	80
Tabela 12 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão ($n=20$) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina	81
Tabela 13 - Matriz de confusão para o algoritmo Random Forest.....	96
Tabela 14 - Acurácia detalhada para o algoritmo Random Forest.....	97

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1.	Panorama geral do consumo de carne bovina	22
2.2.	Propriedades nutricionais da carne bovina.....	22
2.2.1.	Água.....	23
2.2.2.	Proteínas.....	23
2.2.3.	Lipídeos	24
2.2.4.	Minerais	24
2.2.4.1.	Cobre (Cu).....	25
2.2.4.2.	Ferro (Fe)	25
2.2.4.3.	Potássio (K).....	25
2.2.4.4.	Magnésio (Mg)	26
2.2.4.5.	Manganês (Mn)	26
2.2.4.6.	Sódio (Na)	26
2.2.4.7.	Fósforo (P)	26
2.2.4.8.	Selênio (Se)	26
2.2.4.9.	Zinco (Zn)	27
2.2.5.	Vitaminas	27
2.3.	Carne bovina: relevância para o agronegócio	27
2.4.	Sistemas de criação de gado bovino	32
2.5.	Cadeia produtiva da carne bovina no Brasil.....	34
2.6.	Qualidade da carne bovina.....	38
2.7.	Certificações: garantia da qualidade e agregação de valor à cadeia produtiva	40
2.8.	Monitoração do status mineral do animal	42
2.9.	Pelos: matriz alternativa e não invasiva.....	45
2.10.	Análise por ativação neutrônica (NAA)	47
2.11.	Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)	49
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1.	Amostragem.....	52
3.2.	Tratamento das amostras.....	53
3.3.	Análise por ativação neutrônica (NAA)	54
3.4.	Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)	57
3.5.	Análise estatística	59

4.	RESULTADOS	60
4.1.	Análise por ativação neutrônica (NAA)	60
4.1.1.	Análise de pelos de cauda bovina.....	60
4.1.1.1.	Controle da qualidade analítica	60
4.1.1.2.	Perfil elementar dos pelos de cauda bovina	61
4.1.2.	Análise de carne bovina	66
4.1.2.1.	Controle da qualidade analítica	66
4.1.2.2.	Perfil elementar da carne bovina	67
4.2.	Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)	71
4.2.1.	Análise de pelos de cauda bovina.....	71
4.2.1.1.	Controle da qualidade analítica	71
4.2.1.2.	Perfil elementar dos pelos de cauda bovina	72
4.2.2.	Análise de carne bovina	78
4.2.2.1.	Controle da qualidade analítica	78
4.2.2.2.	Perfil elementar da carne bovina	79
4.3.	Comparação entre os resultados obtidos com as técnicas NAA e TQ-ICP-MS para as amostras de pelos de cauda bovina	85
4.4.	Estudo do acúmulo de elementos químicos nos pelos de cauda bovina	87
4.5.	Correlação dos elementos químicos nos pelos de cauda e na carne bovina.....	89
4.6.	Autenticação genética dos animais.....	94
5.	CONCLUSÕES	98
	REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país de dimensões continentais dada a extensão territorial de 8,5 milhões de km², abrangendo seis importantes biomas como Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. A grande diversidade ambiental favorece a atividade pecuária no país, uma vez que as condições climáticas distintas facilitam a criação de uma pluralidade de raças bovinas. O rebanho bovino está estimado em 187,5 milhões de cabeças, com 55 % distribuídos nos estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Pará (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC, 2021). Desde a introdução do gado zebuino no país a partir de 1870, a evolução dos processos de seleção imprimiram as características do Nelore brasileiro, hoje predominante em 75 % do plantel nacional (USDA, 2021).

Sendo a 5ª commodity mais exportada pelo país, a carne bovina é um dos pilares da economia brasileira, representando 10 % do PIB em 2020 (ABIEC, 2021). Investimentos realizados em melhoramento genético, nutrição e bem-estar animal associados a rígido controle sanitário dos processos produtivos elevaram a qualidade da carne bovina produzida no Brasil, consolidando o país como segundo maior produtor e maior exportador mundial de carne bovina. Em 2021, Estados Unidos, Brasil, União Europeia, China e Argentina corresponderam a 69 % do total da produção mundial de carne bovina (USDA, 2021).

Com elevado valor biológico, a carne bovina é uma importante fonte de proteína na dieta humana. Além dessa característica, possui quantidades consideráveis de vitaminas lipossolúveis A, D, E e K e hidrossolúveis do complexo B e vitamina C, e minerais essenciais para a nutrição humana como Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Se e Zn (DIAS FEIJÓ, 1999; AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

A sanidade da carne bovina é requisito básico para o consumo seguro desse importante alimento proteico. A incidência de doenças como a febre aftosa na década de 2000 chamou a atenção mundial, tornando progressiva a conscientização dos consumidores acerca dos atributos intrínsecos e extrínsecos que conferem qualidade e segurança ao alimento, o que resultou no aumento da pressão internacional em todos os elos da cadeia produtiva (DE SOUZA, 2011). Nessa abordagem, foi criado o Sistema Brasileiro de Identificação Individual de Bovinos e Bubalinos (SISBOV) que, em conjunto com o Sistema de Inspeção Federal (SIF), tem como objetivo garantir a rastreabilidade dos animais durante toda a cadeia produtiva assegurando qualidade, sanidade e procedência da carne bovina (SIMÕES et al., 2021).

Recentemente, a crescente discussão acerca dos impactos negativos do consumo de carne bovina na saúde dos consumidores e sustentabilidade da cadeia produtiva despertou grande interesse pela carne proveniente de animais criados em sistemas extensivos de produção, que se alimentam exclusivamente de insumos naturais (CENTER FOR FOOD SAFETY, 2021). Selos de certificação têm sido estabelecidos atestando a qualidade da carne produzida nos diferentes territórios brasileiros. O selo “Carne do Mato Grosso” garante a qualidade e a procedência da carne produzida nessa região. Outro programa de certificação é o “Pantanal Sustentável”, criado pela Associação Brasileira de Produtores Orgânicos (ABPO), que certifica a produção de carne proveniente de animais que se alimentam exclusivamente de pastagens advindas do bioma Pantanal (ABPO, 2017). Já a marca “Carne-Carbono Neutro”, lançada pela Embrapa em 2015, visa garantir a compensação das emissões de metano entérico através da adoção de sistemas de integração pecuária-floresta, buscando facilitar a sustentabilidade da cadeia (ALVES et al., 2018). Para promover internacionalmente a adoção dos selos de certificação aderidos na cadeia produtiva da carne bovina, em 2018, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) criou o selo de certificação sustentável “Brasil Agro: Food for Nature”, cujo objetivo é fornecer informações completas ao consumidor a respeito da origem e rastreabilidade do produto do campo à mesa.

Como os diferentes biomas brasileiros possuem características distintas, torna-se possível extrair assinaturas químicas da carne bovina produzida nesses territórios. Nesse contexto, no Laboratório de Radioisótopos do CENA/USP, estabeleceu-se uma linha de pesquisa intitulada “Desenvolvimento de métodos analíticos nucleares para identificação e rastreabilidade de carne bovina”, com auxílio financeiro do CNPq (Processo 151758/2007-7). O foco primordial da pesquisa consistia em aprimorar mecanismos para avaliar a rastreabilidade da carne bovina procedente dos diversos biomas do Brasil, utilizando características intrínsecas da carne, como a composição mineral. Resultados promissores foram encontrados para a discriminação de carne bovina brasileira produzida nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pampa e Pantanal (FERNANDES et al., 2020), constituindo um mecanismo alternativo para o desenvolvimento de métodos inequívocos de rastreabilidade.

Em conjunto com a avaliação da procedência e sanidade da carne, o acompanhamento da qualidade nutricional é fundamental devido à grande importância desse alimento para a nutrição humana. Considerando que a carne bovina é o produto final da cadeia produtiva, torna-se necessário realizar o acompanhamento do estado nutricional do animal em todas as fases de criação. Estudos têm sido realizados para avaliar a qualidade nutricional da carne bovina em relação ao conteúdo de ácidos graxos e minerais essenciais (PARTIDA et al., 2007; SCOLLAN

et al., 2017; PATEL et al., 2019). Os minerais desempenham importantes funções fisiológicas no organismo dos mamíferos, atuando como cofatores de enzimas, no equilíbrio osmótico, no equilíbrio ácido-base, na composição estrutural e dos fluidos intracelulares e extracelulares (RAPOSO DE MEDEIROS; COSTA GOMES; BUNGENSTAB, 2015). Além disso, alguns minerais contribuem para a manutenção de parâmetros de relevância econômica, como o Fe, por exemplo, que está diretamente relacionado com a coloração da carne (PATEL et al., 2019).

O mecanismo comumente utilizado para a monitoração do status mineral dos animais é o exame de sangue, porém, esse método reflete apenas as condições do organismo animal no momento da coleta. Baseado em estudos realizados com humanos e outras espécies de animais (MC DOWELL et al., 1982; ARMELIN et al., 1998; PATRA et al., 2006; BODE et al., 2008; BATISTA et al., 2009; GUO et al., 2010; ROUG et al., 2015a; SZIGETI et al., 2015; HOLASOVÁ; PECHOVÁ; HUSAKOVÁ, 2017; TREU et al., 2018; SACH et al., 2020; RUDNICKI-VELASQUEZ et al., 2021), a utilização dos pelos como matriz analítica pode ser um método alternativo para a avaliação do conteúdo mineral no organismo de bovinos. Os pelos possuem grande valor biológico devido ao potencial de acumular informações ao longo do tempo. Os pelos são metabolicamente ativos durante a fase de crescimento, registrando todos os eventos que ocorrem durante esse período (HARRISON; SINCLAIR, 2002). Após o término dessa fase, o pelo torna-se metabolicamente inativo e, como consequência, pode representar o status mineral de longos períodos de tempo, variando de acordo com o seu comprimento.

Além da vantagem de acumular elementos químicos durante a vida do animal, proporcionando um registro temporal, a amostragem não invasiva aliada ao baixo custo e fácil manuseio tornou a utilização dessa matriz bastante atrativa para análise (RODRIGUES et al., 2008). Os elementos químicos nutricionais, geralmente, estão presentes em baixas concentrações nos pelos, reforçando a necessidade de utilização de técnicas analíticas multielementares avançadas de alta sensibilidade e baixo limite de detecção e quantificação (BORDIN et al., 2015). Nesse estudo, foram utilizadas as técnicas de análise por ativação neutrônica e espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS), que possibilitam a determinação simultânea de muitos elementos químicos com ampla faixa de trabalho.

Esse trabalho teve como objetivo investigar se os pelos de cauda do animal podem ser empregados como biomonitor não invasivo da composição mineral da carne bovina.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Panorama geral do consumo de carne bovina

A carne bovina e seus derivados são uma importante fonte de proteínas, vitaminas e minerais essenciais consumidos na dieta humana (VAN DER WEELE et al., 2019; HATI et al., 2021). O consumo desses alimentos pode ser influenciado por fatores sociais e culturais (FONT-I-FURNOLS; GUERRERO, 2014), bem como pelos atributos sensoriais como cor, sabor, maciez e odor (MUKUL; AFRIN; HASSAN, 2013). Os métodos de produção têm ganho bastante enfoque, sendo que fatores como bem-estar, saúde e sanidade dos animais, além de responsabilidade ambiental dos produtores, são cada vez mais discutidos pelos consumidores (FONT-I-FURNOLS; GUERRERO, 2014).

A crescente demanda por produtos cárneos pode ser relacionada, principalmente, ao aumento da renda per capita e ao expressivo crescimento populacional (STEINFELD; WASSENAAR; JUTZI, 2006). De acordo com o relatório emitido pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2021), o consumo mundial de carne bovina correspondeu a 71.065,8 mil toneladas equivalente em carcaça (TEC) em 2021, sendo o consumo médio per capita de 9,31 kg. No Brasil, de acordo com o mesmo documento, o consumo de carne bovina foi de 7.545,9 mil TEC, enquanto o consumo per capita foi de 35,69 kg.

2.2. Propriedades nutricionais da carne bovina

A carne bovina é um alimento interessante do ponto de vista nutricional. Quando comparada a alimentos de origem vegetal, a carne bovina é uma fonte alimentar rica em proteínas de alto valor biológico, vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e hidrossolúveis do complexo B e vitamina C, minerais como Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Se e Zn e ácidos graxos essenciais (DIAS FEIJÓ, 1999; AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018). Devido à alta disponibilidade biológica de proteínas (cerca de 70 %), Fe metabolicamente ativo e a presença de vitamina B12, a carne é considerada um dos principais alimentos na composição de uma refeição (AHMED et al., 2018). A redução de seu consumo pode acarretar diminuição na quantidade de Fe no organismo, uma vez que esse alimento é uma fonte rica em Fe heme altamente absorvível (BIESALSKI, 2005). A limitação no consumo de carne propulsiona o

risco de deficiência em Zn e vitamina B12, e déficit na ingestão de ácidos graxos essenciais como o ácido eicosapentaenoico, por exemplo, que atua como fonte de energia e estruturação celular (PEREIRA; VICENTE, 2013).

2.2.1. Água

A água é um dos principais constituintes da carne bovina correspondendo, em média, a 70-75 % do músculo (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018). A água desempenha papel fundamental no transporte de substâncias orgânicas e inorgânicas no organismo, além de interferir na qualidade da carne bovina influenciando atributos sensoriais (DIAS FEIJÓ, 1999).

2.2.2. Proteínas

As proteínas desempenham importantes funções no organismo humano desde a catálise enzimática até a composição estrutural (ANGELIS; TIRAPEGUI, 2007). O consumo diário de proteína recomendado para a dieta humana varia entre 45-55 g/dia (AHMED et al., 2018).

As proteínas podem ser classificadas em: a) solúveis em água, dividindo-se em, aproximadamente, 50 componentes das proteínas sarcoplasmáticas; b) solúveis em soluções salinas concentradas como actina, miosina e actomiosina que são proteínas miofibrilares e c) insolúveis em soluções salinas concentradas, sendo essas as proteínas do tecido conjuntivo, como colágeno, elastina e reticulina (DE OLIVEIRA ROÇA, 2012a; DIAS DE OLIVEIRA; RIBEIRO DOS SANTOS SILVA; DA SILVA CORREIA, 2013).

O teor de proteína na carne bovina pode variar de acordo com o corte escolhido, idade do animal, raça, sexo e alimentação (DIAS FEIJÓ, 1999). A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO - NEPA, 2011) apresenta valores de proteína em diferentes cortes de carne variando entre 12 e 24 %. Com elevada composição em aminoácidos essenciais, como fenilalanina, valina, treonina, metionina, leucina, isoleucina, lisina e histidina (BRIDI, 2007), as proteínas de origem animal possuem maior valor biológico quando comparadas com as proteínas de origem vegetal (PIRES et al., 2006; DE OLIVEIRA ROÇA, 2012a).

A carne bovina apresenta alto índice de digestibilidade devido à ausência de fatores antinutricionais. Segundo Pires et al. (2006) em estudos in vivo, a digestibilidade da carne

bovina atingiu 92,38 %, indicando alta eficiência na utilização proteica da dieta, o que evidencia seu papel como principal fonte de proteína na dieta humana.

2.2.3. Lipídeos

A gordura é uma importante fonte alimentar, pois além de conferir sabor e agregar valor ao alimento (MELO et al., 2016) é também responsável pelo fornecimento de energia e ácidos graxos insaturados, pela retenção de vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e precursão de importantes substâncias como as prostaglandinas (AHMED et al., 2018).

A carne bovina contém mais de 50 % de ácidos graxos insaturados em sua composição em diferentes proporções, estando presentes nesse alimento os ácidos oleico, linoleico, linolênico, araquidônico e ecosapentaenoico. Esses ácidos graxos insaturados são considerados essenciais por não serem produzidos pelo organismo humano, sendo relacionados com a proteção da saúde humana, especialmente no que concerne à saúde cardíaca (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

Segundo Dias Feijó (1999), o teor de lipídeos presentes na carne bovina pode variar de acordo com sexo, raça, idade, alimentação do animal e, principalmente, corte escolhido. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA, 2011) os valores de referência para lipídeos em diferentes cortes cárneos variam de 4,3 a 31,8 g/100g, enquanto o valor energético da gordura da carne é estabelecido em 8,5 cal/g.

2.2.4. Minerais

Além de proteínas, aminoácidos, lipídeos e ácidos graxos, a carne é rica em minerais essenciais ao organismo humano, com destaque para Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Se e Zn (WILLIAMS, 2007; AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018; AHMED et al., 2018). Esses elementos desempenham funções fisiológicas importantes como cofatores de enzimas, equilíbrio osmótico, equilíbrio ácido básico, composição estrutural e dos fluidos intracelulares e extracelulares. Por não serem sintetizados pelo organismo, é essencial que sejam suplementados por meio da alimentação (PINHEIRO; ANDRADE PORTO; SILVA MENEZES, 2005; RAPOSO DE MEDEIROS; COSTA GOMES; BUNGENSTAB, 2015).

2.2.4.1. Cobre (Cu)

A principal função do Cu é como cofator enzimático atuando na inibição da formação de radicais hidroxilas, evitando que esses possam destruir ligações insaturadas presentes em estruturas como as membranas celulares e os ácidos graxos (AHMED et al., 2018). O Cu está presente na carne em concentração traço (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

2.2.4.2. Ferro (Fe)

O Fe está presente na carne bovina variando de 0,5 a 5,6 mg/100g dependendo do corte (NEPA, 2011). O Fe pode ser encontrado nos alimentos em duas formas, ferro heme e não heme, sendo o primeiro derivado de células sanguíneas e, portanto, presente apenas em alimentos de origem animal (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

A carne bovina está entre as principais fontes de Fe pois é rica em ferro heme, altamente absorvível (cerca de 40-60 %) quando comparado com ferro não heme, encontrado em alimentos de origem vegetal (DIAS FEIJÓ, 1999). Estudos apontam que a proteína da carne aumenta a absorção do ferro heme pelos tecidos (WILLIAMS, 2007).

No organismo, o Fe é constituinte das células sanguíneas e responsável pelo transporte de O₂ para os tecidos e transferência de CO₂, podendo a sua deficiência trazer vários danos à saúde humana, como anemia severa em casos graves (PINHEIRO; ANDRADE PORTO; SILVA MENEZES, 2005).

2.2.4.3. Potássio (K)

O K é um mineral presente em alta quantidade na carne bovina, com teor médio de 335 mg/100g, sendo um eletrólito importante para a homeostase ácido-base no organismo (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018). Desempenha também a função de íon intracelular, auxiliando na síntese de proteínas e no metabolismo de carboidratos. Esse mineral também é responsável pela transmissão nervosa e contração muscular, em especial do músculo cardíaco (PINHEIRO; ANDRADE PORTO; SILVA MENEZES, 2005). O sintoma mais comum de sua deficiência é a fadiga muscular com o aparecimento de câimbras.

2.2.4.4. Magnésio (Mg)

O Mg atua no organismo como ativador de sistemas enzimáticos que intermedeiam importantes processos fisiológicos. O Mg também contribui para a saúde dos ossos e tem participação ativa nos processos de formação de energia pelo organismo (PINHEIRO; ANDRADE PORTO; SILVA MENEZES, 2005).

2.2.4.5. Manganês (Mn)

O Mn é encontrado na carne bovina em teores de 0,001 a 0,26 mg/100g dependendo do corte escolhido (NEPA, 2011). Esse mineral é um importante ativador de sistemas enzimáticos e constituinte de metaloenzimas que desempenham funções vitais no organismo, tal qual a enzima arginase, responsável pela produção de ureia (AHMED et al., 2018).

2.2.4.6. Sódio (Na)

O Na é um importante eletrólito responsável pelo controle dos fluidos corporais e da pressão osmótica do organismo, auxiliando no transporte de CO₂ e na manutenção do equilíbrio ácido-base (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

2.2.4.7. Fósforo (P)

O P é encontrado na carne bovina com teores variando de 61 a 334 mg/100g (NEPA, 2011). Esse mineral é um dos principais componentes da membrana plasmática das células, participa dos processos de formação de energia no organismo, atua como cofator de muitas enzimas e, juntamente com o Ca, é responsável pela saúde dos ossos e dentes (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

2.2.4.8. Selênio (Se)

O Se é um elemento traço de grande importância presente na carne bovina, já que possui efeito antioxidante. Quando combinado a algumas proteínas, formando as selenoproteínas, os seus efeitos positivos se estendem ao combate ao câncer (AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018; AHMED et al., 2018).

2.2.4.9. Zinco (Zn)

A carne bovina é uma das principais fontes de Zn, pois além de fornecer boa parte da ingestão necessária à saúde humana, a proteína presente na carne melhora a retenção desse elemento na presença de fitato, antinutriente que dificulta o processo de absorção de nutrientes pelo organismo (AHMED et al., 2018).

O Zn desempenha funções essenciais ao bom funcionamento do organismo humano, atuando no crescimento e replicação celular, maturação sexual, promoção da imunidade celular e humoral (PINHEIRO; ANDRADE PORTO; SILVA MENEZES, 2005). Atua como cofator de mais de 50 enzimas com as mais diversas funções, dentre elas a álcool desidrogenase, necessária para funções estruturais e atividade catalítica, a anidrase carbônica, enzima indispensável para o processo de respiração e a aminopeptidase responsável pela digestão de proteínas (AHMED et al., 2018). O teor de Zn na carne bovina pode variar de 2,1 a 6,3 mg/100g dependendo do corte de carne escolhido (NEPA, 2011).

2.2.5. Vitaminas

As vitaminas são compostos orgânicos importantes e, por não serem sintetizados pelo organismo, devem ser fornecidos pela alimentação ou suplementação. Apesar de serem requeridas em pequenas quantidades pelo corpo, as vitaminas são compostos essenciais com as mais variadas funções, atuando desde o crescimento até o desenvolvimento e manutenção do organismo. As vitaminas são subdivididas em lipossolúveis e hidrossolúveis. Da subdivisão de vitaminas lipossolúveis, a carne bovina é rica em vitamina A biologicamente ativa, vitamina D, vitamina E e vitamina K. Em relação às vitaminas hidrossolúveis, a carne é fonte alimentar de 5 vitaminas do complexo B, ou seja, tiamina, riboflavina, vitamina B3, vitamina B6 e vitamina B12, e de vitamina C (DIAS FEIJÓ, 1999; DIAS DE OLIVEIRA; RIBEIRO DOS SANTOS SILVA; DA SILVA CORREIA, 2013; AHMAD; IMRAN; HUSSAIN, 2018).

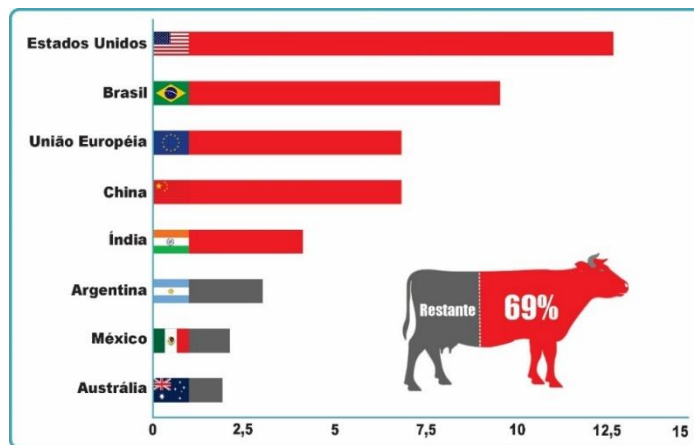
2.3. Carne bovina: relevância para o agronegócio

A importância dos produtos agrícolas para a economia do Brasil se dá, principalmente, pelo faturamento expressivo alcançado com as exportações referentes ao setor do agronegócio. O alto valor obtido com a produção e venda dessas commodities é fruto da vantagem e competitividade ofertada pelo clima favorável e grande disponibilidade de terras tanto para

cultivo quanto para pecuária, fazendo com que o Brasil se destaque em relação a seus concorrentes (TORRES JUNIOR et al., 2008). Estima-se que 165,2 milhões de hectares de terras sejam destinados à atividade pecuarista, sendo 151,1 milhões de ha pastagens exclusivas e 14,1 milhões de ha pastagens em uso integrado (ABIEC, 2021, 2022).

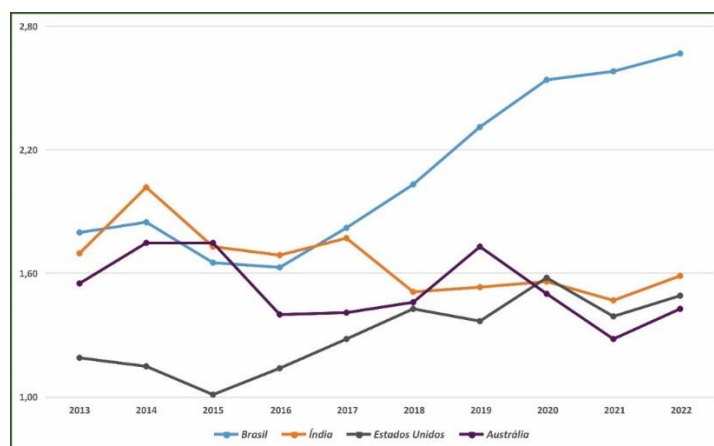
A carne bovina é a 5ª maior commodity brasileira exportada, ficando atrás da soja, do minério de ferro, do petróleo e do açúcar (SECINT - BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais – SECINT, 2021; SUMMIT AGRO, 2021). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne bovina (Figura 1) e o maior exportador mundial de carne bovina (Figura 2).

Figura 1 - Maiores produtores mundiais de carne bovina. Valores em mil toneladas equivalente em carcaça (TEC)



Fonte: Adaptado de STATISTA - BUCHHOLZ, 2021.

Figura 2 - Maiores exportadores de carne bovina. Valores em milhões de toneladas métricas



Fonte: Adaptado de USDA (2021)

O Brasil possui o maior rebanho bovino do mundo, com 187,5 milhões de cabeças, sendo Mato Grosso o estado com a maior concentração de gado bovino no país, correspondendo

a 14,08 % do total do rebanho brasileiro (Tabela 1). Os estados de Goiás, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais são responsáveis por 77,1 % do total das exportações brasileiras (SECINT, 2021).

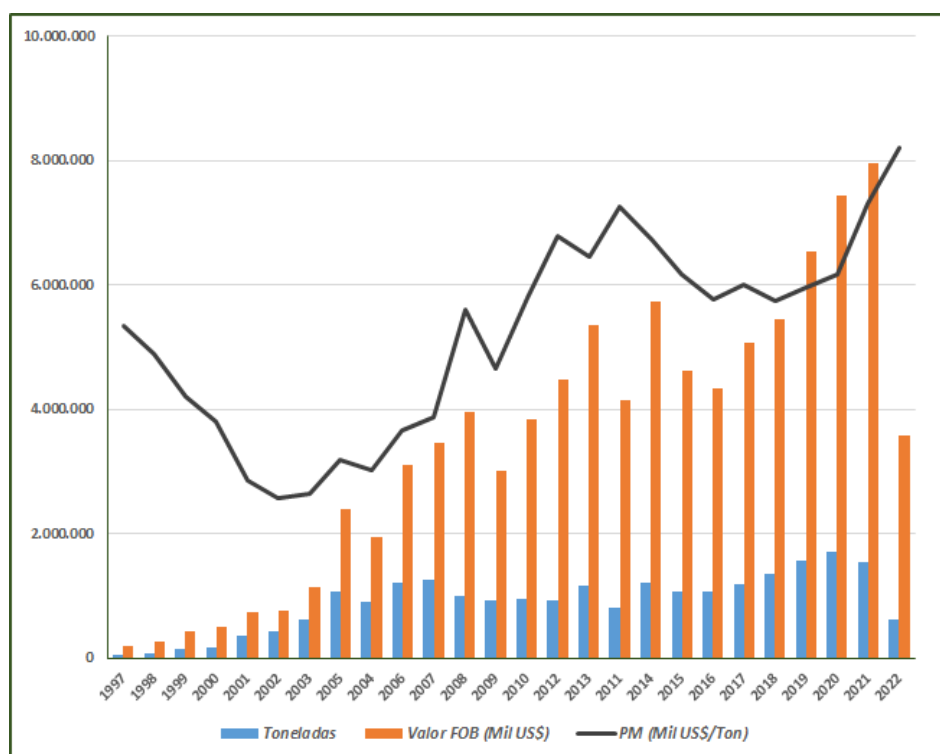
Tabela 1- Rebanho bovino por estado brasileiro

Estados	Rebanho estimado em 2020 (cabeças)	Participação do rebanho do Estado no total do Brasil (%)
Mato Grosso	26.401.826	14,08
Minas Gerais	21.256.309	11,33
Mato Grosso do Sul	21.153.386	11,28
Goiás	18.776.396	10,01
Pará	15.583.603	8,31
Rio Grande do Sul	12.433.747	6,63
Rondônia	10.672.794	5,69
Paraná	9.117.563	4,86
São Paulo	9.044.523	4,82
Bahia	8.879.183	4,73
Tocantins	7.030.909	3,75
Maranhão	5.885.608	3,14
Santa Catarina	4.046.708	2,16
Acre	2.326.855	1,24
Rio de Janeiro	2.152.761	1,15
Ceará	2.056.566	1,10
Espírito Santo	1.792.492	0,96
Piauí	1.549.269	0,83
Pernambuco	1.395.656	0,74
Amazonas	1.360.939	0,73
Paraíba	1.141.306	0,61
Sergipe	963.573	0,51
Alagoas	853.058	0,45
Rio Grande do Norte	823.676	0,44
Roraima	739.822	0,39
Distrito Federal	68.292	0,04
Amapá	39.553	0,02
Brasil	187.546.375	100,0

Fonte: Adaptado de ABIEC (2021)

Do total de carne bovina produzida no Brasil em 2021, 25,5 % ou 2,4 milhões de TEC foram destinados às exportações, enquanto os outros 74,4 % ou 7,2 milhões de TEC permaneceram no mercado interno (ABIEC, 2022). As arrecadações com as exportações de carne bovina tiveram aumento expressivo, passando de US\$468.483 em 1997 para US\$9.215.297 em 2021, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Evolução das exportações de carne bovina



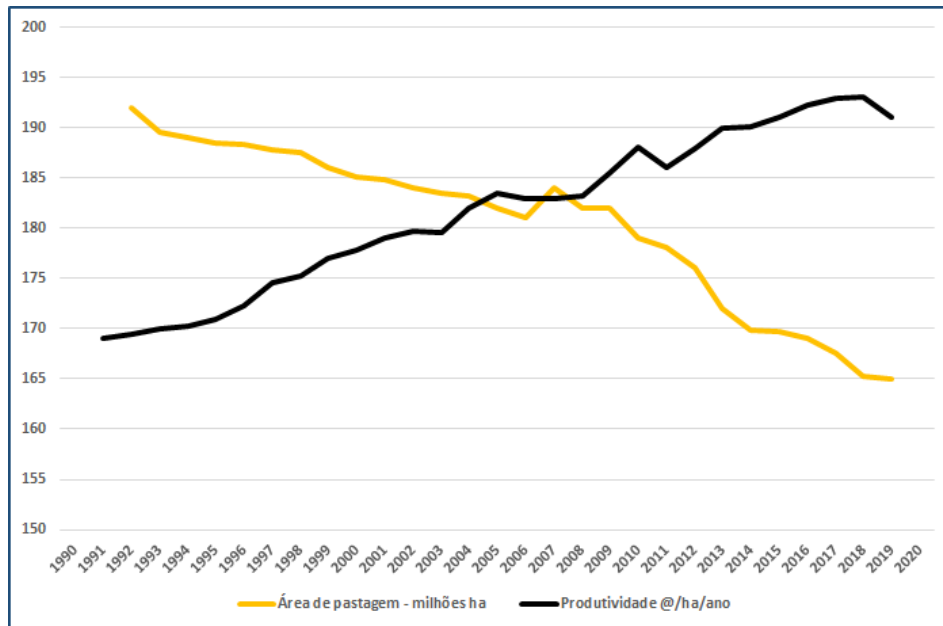
Fonte: Adaptado de ABIEC (2019)

O aumento das exportações foi facilitado pela crescente demanda do mercado internacional. Os produtos brasileiros tiveram ganhos de competitividade pela introdução de tecnologia nos sistemas agropecuários, gerando intensificação das áreas de produção e, conseqüentemente, elevando a produtividade do sistema, à medida que cuidados acentuados foram dispensados a alimentação, nutrição, saúde e sanidade animal bem como ao melhoramento genético dos plantéis (TORRES JUNIOR et al., 2008).

Com a forte intensificação das áreas de pastagens, a produtividade da pecuária brasileira passou de 1,6@/ha/ano em 1990 para 4,2@/ha/ano em 2020, havendo retração das áreas de pastagens (Figura 4) e evitando o desmatamento de 253 milhões de ha. As áreas de pastagens que sofreram retração foram transferidas para outras atividades ou estão em diferentes estágios

de regeneração (ABIEC, 2021). Todos os esforços realizados para mitigação dos impactos ambientais agregaram valor à bovinocultura de corte, promovendo melhora na visibilidade do produto perante o mercado internacional e minimizando os impactos das barreiras não tarifárias impostas sobre as importações de carne bovina brasileira (FLORES; GAVRONSKI, 2016).

Figura 4 - Evolução da área de pastagem e da produtividade

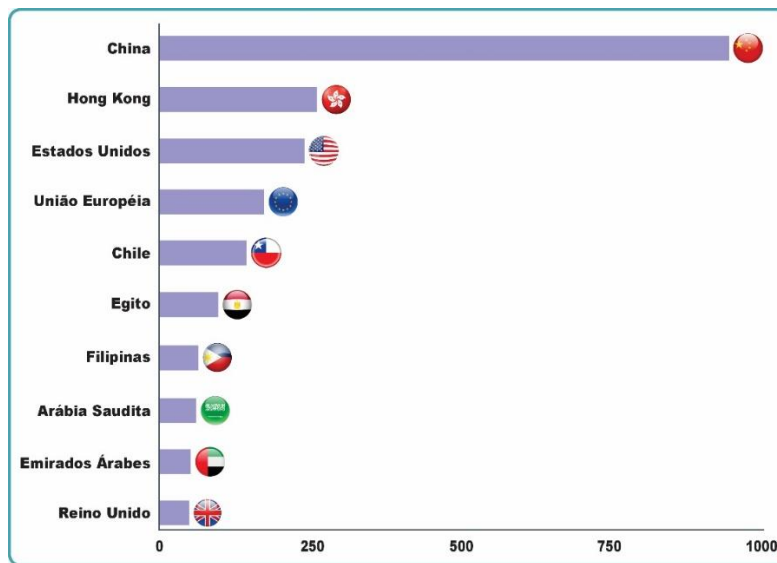


Fonte: Adaptado de ABIEC (2021)

Os principais destinos da carne bovina brasileira em 2020 são mostrados na Figura 5, com os principais importadores China, Hong Kong e Estados Unidos, totalizando 723.656, 219.933 e 138.783 toneladas, respectivamente. O movimento total do agronegócio da pecuária em 2021 foi de R\$913,14 bilhões, incluindo todos os elos da cadeia produtiva, desde os insumos gastos com a produção até as despesas relacionadas com nutrição, sanidade e melhoramento genético do rebanho. O faturamento total dos frigoríficos nesse ano foi de R\$220,12 bilhões sendo que R\$49.335,4 milhões foram obtidos com exportações (ABIEC, 2022).

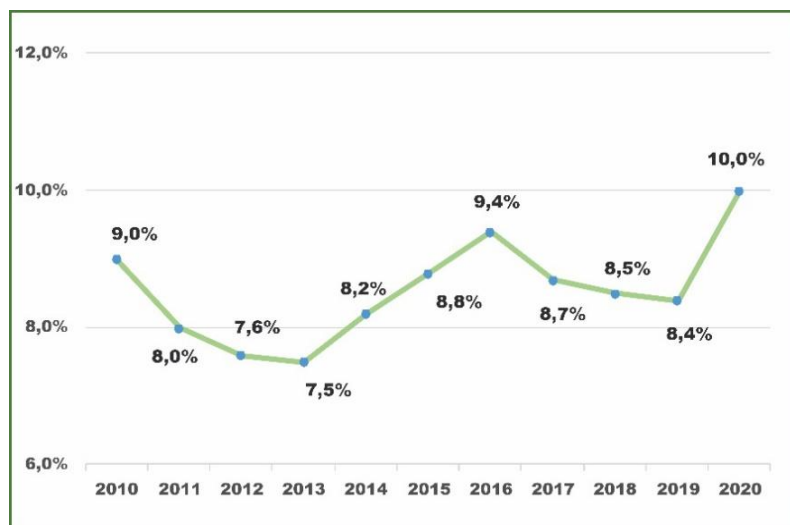
A disseminação de tecnologia e melhorias implementadas na cadeia produtiva da carne bovina ressaltaram a solidez e a importância desta atividade para a economia nacional, representando 10 % do PIB total do país em 2020, com poucas variações nos últimos 10 anos (Figura 6). O setor é responsável pela manutenção de 4,5 milhões de empregos, movimentando cerca de R\$65 bilhões em salários (ABIEC, 2020).

Figura 5 - Principais destinos da carne bovina brasileira em 2021. Valores em mil TEC



Fonte: Adaptado de ABIEC (2020)

Figura 6 - Variação do PIB da pecuária de corte em um período de 10 anos



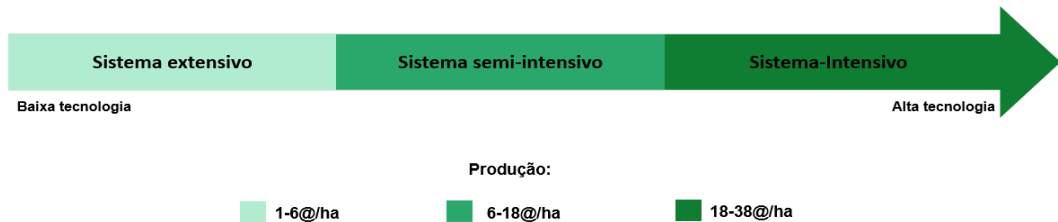
Fonte: Adaptado de ABIEC (2021)

2.4. Sistemas de criação de gado bovino

Atualmente, os sistemas de criação de gado bovino no Brasil são denominados extensivo, intensivo e semi-intensivo e podem ser divididos de acordo com o nível de tecnificação da produção, capacidade de suporte e produtividade por hectare (Figura 7). Devido ao favorecimento do clima tropical e da grande disponibilidade de terras e recursos hídricos, o sistema de criação extensivo é o mais adotado no Brasil (BRAGA et al., 2015). Esse sistema é o menos tecnificado, exige pouca mão-de-obra e tem menor custo de produção, sendo os

animais criados a pasto e a alimentação constituída, principalmente, por forragens e suplementação mineral (DE ABREU; LOPES, 2005; BATISTELLI et al., 2022). O desempenho dos animais criados dessa forma não é constante e sofre grandes declínios dependendo da época do ano devido à baixa produtividade das forrageiras, minimizando a capacidade de suporte das áreas destinadas para criação (BUENO; JÚNIOR; VILELA, 2002).

Figura 7 - Níveis de tecnologia empregados nos diferentes sistemas de produção



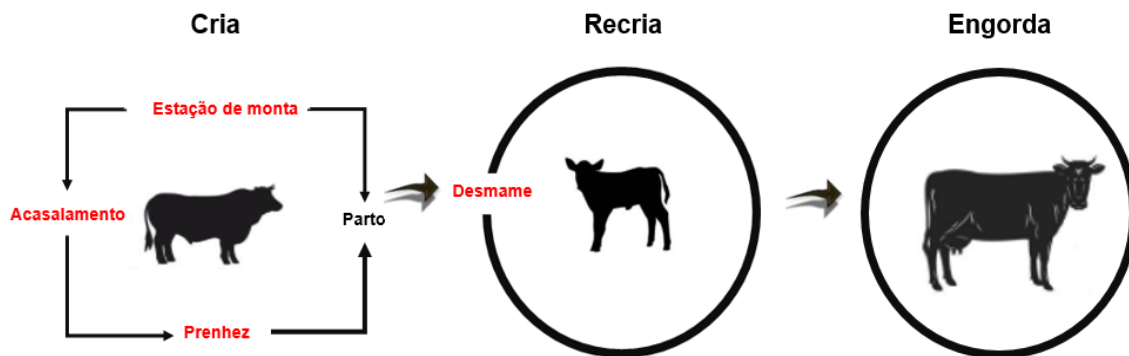
Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABIEC (2021)

O sistema semi-intensivo é definido como médio tecnificado e tem sido adotado como forma de intensificar a produtividade para abater animais precoces. Nele, os animais também são criados a pasto, recebendo suplementação mineral e rações concentradas com alta capacidade de suporte, principalmente em períodos de seca, mantendo a produção constante independente da época do ano (CEZAR et al., 2005; BERTI, 2012). Já o sistema intensivo tem alto nível de tecnologia, exige mão-de-obra especializada e elevado investimento. Nesse sistema, os animais são criados estabulados e com rígido controle de alimentação, sendo empregadas técnicas de melhoramento genético resultando na criação de animais de alta performance. As principais vantagens desse sistema são a diminuição do ciclo de vida dos animais e das áreas necessárias para criação, controle sanitário eficaz e alta produtividade durante todos os meses do ano (CEZAR et al., 2005; FACHINETTO, 2015).

No sistema intensivo de produção, estão inseridos os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que buscam maximizar o uso da terra agregando os recursos e benefícios de uma atividade a outra (DE MELLO et al., 2004). Essas integrações agregam benefícios ambientais e financeiros ao produtor, pelo equilíbrio das características químicas, físicas e biológicas do solo, atuando na recuperação de áreas degradadas, produção de alimentos aos animais, controle biológico de pragas e aumento da produtividade por área (DE OLIVEIRA FILHO, 2015; ZONTA et al., 2016). Além desses benefícios, do ponto de vista pecuário, a ILPF proporciona microclima favorável ao aumento do conforto térmico, minimizando o stress e proporcionando bem-estar aos animais (ALVES; KARVATTE JUNIOR, 2019).

O ciclo de produção da pecuária bovina envolve os segmentos de cria, recria e engorda dos animais, tendo início no período de monta e sendo finalizada com o boi terminado, pronto para a comercialização, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Ciclo de produção de bovinos de corte no Brasil



Fonte: Adaptado de Euclides Filho (2008)

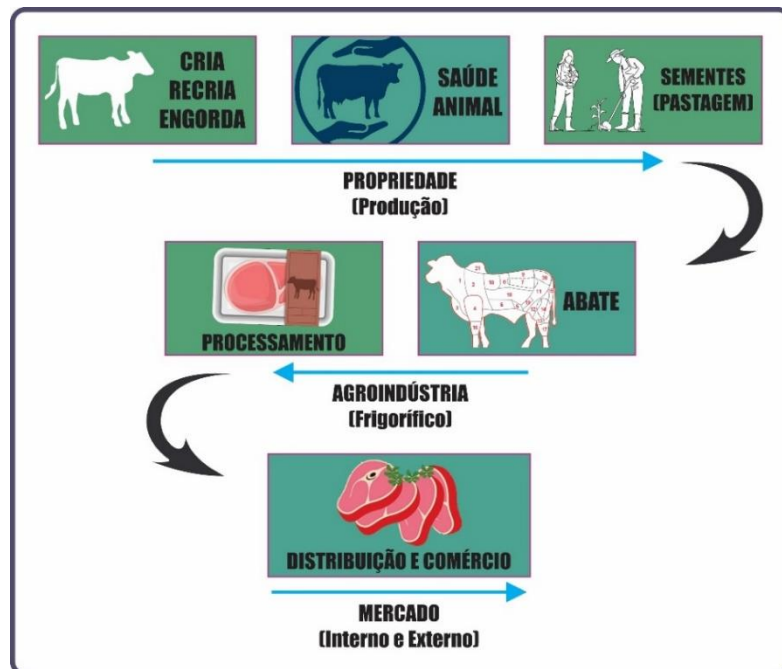
De acordo com Cezar et al. (2005), a fase de cria, primeira fase do ciclo produtivo, corresponde ao rebanho de fêmeas para reprodução e termina com os bezerros sendo desmamados entre 6 e 9 meses de idade. A fase de recria tem início com o bezerro desmamado e finaliza entre 15 e 18 meses com o boi magro ou garrote. A fase de engorda inicia com o garrote e é finalizada com o boi gordo pronto para o abate. A duração da fase de engorda depende do sistema de produção adotado. A partir da adoção dos sistemas de produção intensivos e semi-intensivos, o número de animais abatidos com mais de 36 meses diminuiu radicalmente, representando apenas 10,94 % do total de abates em 2021 (TRAMONTINI; CARDOZO; DE OLIVEIRA ARIEIRA, 2018; ABIEC, 2022).

2.5. Cadeia produtiva da carne bovina no Brasil

No final dos anos 90, houve avanço da profissionalização da pecuária no Brasil, fazendo com que a cadeia produtiva da carne bovina iniciasse um forte processo de reestruturação, influenciada pelo aumento exponencial das exportações (BERNARDINO DE CARVALHO; DE ZEN, 2017). Dessa forma, foram promovidos grandes processos de tecnificação, a partir da disseminação de diversos níveis de tecnologia em todos os elos da cadeia produtiva, desde as boas práticas de criação até os procedimentos adotados para comercialização do produto final (MALAFAIA et al., 2021).

A grande onda tecnológica promoveu a heterogeneidade da cadeia, sendo que, atualmente, possui desde produtores e frigoríficos altamente tecnificados, que cumprem os requisitos máximos exigidos para comercialização do produto no mercado externo, até produtores e frigoríficos que fazem utilização de técnicas simples, muitas vezes ficando abaixo dos padrões sanitários exigidos pelo mercado interno (SOUZA FILHO; ROSA; VINHOLIS, 2008; MALAFAIA et al., 2021). Hoje em dia, a cadeia produtiva da carne bovina pode ser dividida em três segmentos principais: propriedade rural, agroindústria de beneficiamento e consumidor final, como visto na Figura 9.






Figura 9 - Elos do processo produtivo da carne bovina



Fonte: Adaptado de Casagrande et al. (2021)

A propriedade rural, primeiro elo da cadeia produtiva, é responsável pelas atividades de cria, recria e engorda dos animais, à qual cabem os procedimentos adequados de nutrição, saúde, sanidade e bem-estar animal. Todas essas atividades devem ser realizadas de acordo com as Boas Práticas de Produção que, segundo Ronca e Bettarello (2015), têm as seguintes diretrizes:

- 🐾 Fornecimento adequado de água aos animais
- 🐾 Uso racional de produtos veterinários e destinação correta de resíduos
- 🐾 Calagem e adubação de solos em pastagem

-  Manejo rotacional de pastagens
-  Uso racional de irrigação em pastagens
-  Sombreamento de pastagens
-  Manejo para o bem-estar animal
-  Integração entre lavoura e pecuária

Essas diretrizes agregam benefícios à produção por meio da promoção de bem-estar animal, aumento dos índices zootécnicos e da eficiência produtiva, minimização dos riscos à saúde dos animais e dos consumidores, conservação da água, conservação e melhoria da estrutura do solo, diminuição da contaminação ambiental e da degradação das áreas de pastagens, aumento da diversidade biológica, produção de pastos mais nutritivos e diminuição da pressão para aberturas de novas áreas de pastagens (RONCA; BETTARELLO, 2015).

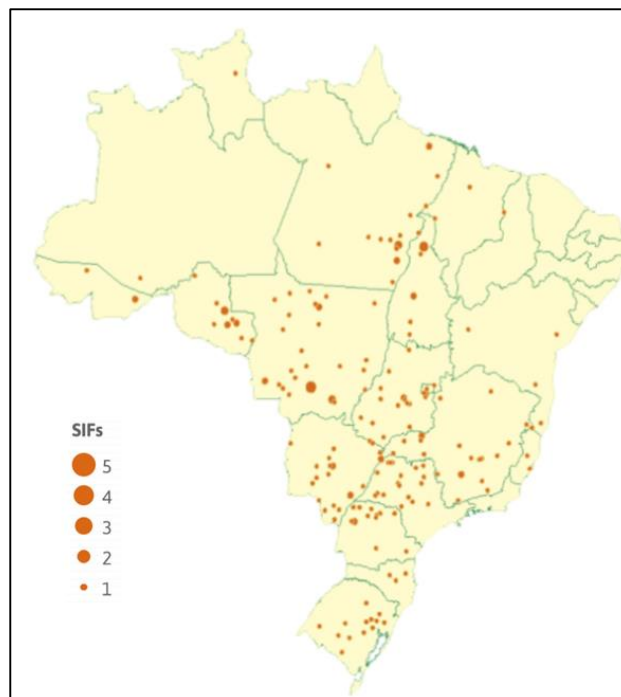
O primeiro elo da cadeia produtiva também é responsável pela aplicação de técnicas de melhoramento genético, visando a adequação dos genótipos dos animais aos interesses da produção, com o intuito de intensificar o sistema e garantir o aumento da produtividade (ROSA; MENEZES; DO EGITO, 2013). Outro ponto importante que tem início neste elo é a rastreabilidade dos animais, um dos principais requisitos para aceitação da carne bovina brasileira em mercados de nações desenvolvidas, como países da Europa e América do Norte (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2012).

A rastreabilidade tem como objetivo garantir o acompanhamento individual de todos os animais que fazem parte do rebanho brasileiro, em todos os elos da cadeia produtiva, garantindo além de sua identificação, informações como raça, origem geográfica, manejo, estado sanitário e possíveis intercorrências que possam ter acontecido durante sua vida (HAMER; SCHMITZ; ORSOLIN, 2007). O processo de rastreabilidade no Brasil teve início na década de 1990. Em 2002, foi criado o Sistema Brasileiro de Identificação Individual de Bovinos e Bubalinos (SISBOV), responsável a partir de então pela rastreabilidade dos animais por meio da implantação de dispositivos como brincos ou chips, garantindo sua identificação e acompanhamento durante toda a cadeia produtiva (CASAGRANDA et al., 2021).

O segundo elo da cadeia produtiva da carne bovina no Brasil é denominado agroindústria e suas atividades têm início com o transporte dos animais da fazenda para os frigoríficos, onde ocorrem as etapas de abate, processamento da carne, distribuição para o atacado e comercialização do produto final. Para garantir a qualidade dos produtos processados, existem o Sistema de Inspeção Federal (SIF), o Sistema de Inspeção Estadual (SIE) e o Sistema de Inspeção Municipal (SIM), responsáveis por avaliar aspectos como a segurança e a

procedência do alimento, buscando estabelecer um padrão, para minimizar riscos de contaminações ocasionadas por técnicas precárias de higiene durante o processamento (SUMMIT AGRO, 2020). De acordo com dados fornecidos pela ABIEC (2022), 53 % dos abates realizados foram fiscalizados pelo SIF, 16 % pelo SIE e 4 % pelo SIM. Do total de abates, 26 % foram procedidos sem nenhum tipo de fiscalização em 2021. Todos os estabelecimentos fiscalizados pelo SIF estão habilitados para exportação de seus produtos. Atualmente, as exportações são dominadas por três grandes empresas do ramo, JBS, Marfrig e Minerva (CASAGRANDA et al., 2021). A Figura 10 mostra a distribuição dos frigoríficos com SIF ativo no ano de 2021.

Figura 10 - Distribuição dos frigoríficos registrados no SIF em 2021



Fonte: Adaptado de ABIEC (2022)

Além dos cuidados adotados durante o processamento da carne, o manejo pré-abate deve receber bastante atenção, pois estudos mostram que a forma como o animal é conduzido para o abate pode influenciar diretamente no aproveitamento da carcaça e na qualidade do produto final (DA COSTA; QUINTILIANO; TSEIMAZIDES, 2014).

O terceiro elo da cadeia produtiva é representado pelo consumidor final, aquele que tem poder decisivo sobre a aceitabilidade do produto ofertado. A partir da década de 1990, com o surgimento de algumas enfermidades como a Encefalopatia Espongiforme Bovina, conhecida como doença da vaca louca, os consumidores, principalmente aqueles de países desenvolvidos,

passaram a exigir certos padrões visando o consumo de alimentos seguros (DA SILVA et al., 2021). Progressivamente, além da preocupação sanitária, questionamentos relacionados com os impactos socioambientais causados pela produção de carne bovina ganharam evidência, culminando no aumento do protecionismo dos países importadores e na crescente exigência por parte dos consumidores (EUCLIDES FILHO, 2013; DA SILVEIRA; AREND; DEPONTI, 2015). Com isso, os produtores passaram a ter que cumprir uma série de requisitos mínimos relativos a questões sociais e ambientais, como também a assuntos referentes a saúde, sanidade e bem-estar animal, para terem acesso a mercados de consumidores mais seletos (REGANOLD et al., 2011). Dessa forma, é possível inferir que os produtores que apresentem práticas de manejo sustentáveis atreladas a características de valor agregado tendem a conquistar cada vez mais espaço no mercado (EUCLIDES FILHO, 2013).

2.6. Qualidade da carne bovina

A qualidade da carne bovina pode ser determinada por um conjunto de fatores que englobam suas características físico-químicas (temperatura, pH e força de cisalhamento ou maciez), sensoriais (cor, suculência, aroma e sabor), nutricionais (proteínas, vitaminas, minerais e ácidos graxos) e sanitárias (ausência de patógenos), além dos aspectos éticos concernentes a sua produção (DE PAULA et al., 2013). Com a crescente conscientização acerca das consequências de seus hábitos alimentares, os consumidores estão cada vez mais críticos em relação ao seu consumo, fazendo com que todos os elos produtivos da cadeia da pecuária de corte adotem medidas que visem manter determinados padrões de qualidade (DE ABREU; DE OLIVEIRA; BALDUÍNO, 2021).

O pH, importante característica físico-química da carne, exerce influência direta em parâmetros como cor, maciez, capacidade de retenção de água e suscetibilidade à proliferação de microrganismos (DE PAULA et al., 2013). O pH está diretamente relacionado com a quantidade de glicogênio presente no músculo animal no momento do abate. Essa, por sua vez, é totalmente influenciada pelo manejo pré-abate, já que animais submetidos a altas taxas de stress nesse período apresentam deficiência desse hormônio, acarretando aumento do pH e da temperatura final do músculo, resultando na carne de coloração escura, trazendo grandes implicações econômicas (DE OLIVEIRA ROÇA, 2012b; MELO et al., 2016). A força de cisalhamento, parâmetro que indica o grau de maciez do produto, é um dos principais atributos de qualidade reconhecidos pelos consumidores (ANDRIGHETTO et al., 2008) e pode ser afetada pelo conteúdo de ácidos graxos presentes no alimento, estando relacionado com idade,

genótipo, dieta animal, sistema de criação e tipo de corte (SAÑUDO et al., 1998; MARTÍNEZ-CEREZO et al., 2005; PARTIDA et al., 2007; GUERRERO et al., 2013).

Os parâmetros sensoriais da carne bovina são as características de maior impacto para o alimento, uma vez que podem ser avaliadas pelos consumidores no ato da aquisição, sendo um importante fator de decisão, pois através delas é estimada, inicialmente, a qualidade da carne (ABOAH; LEES, 2020). Atributos de cor, sabor, aroma e suculência podem sofrer interferência de diversos fatores, como, por exemplo, a coloração da carne ser afetada pela deficiência na ingestão de Fe durante a alimentação animal (PATEL et al., 2019), enquanto a suculência ser afetada tanto pelo conteúdo de ácidos graxos quanto pelo grau de marmoreio do corte. Já o aroma e o sabor podem ser afetados pelo conteúdo de lipídeos e aminoácidos presentes no músculo. Vale ressaltar que esses parâmetros também podem ser afetados por fatores que antecedem o abate, como idade, raça, sexo, alimentação e manejo animal (DE OLIVEIRA, 2020).

Os fatores nutricionais da carne bovina são considerados importantes atributos de qualidade devido ao seu alto índice de proteínas de elevado valor biológico, aminoácidos e ácidos graxos essenciais, além de vitaminas e minerais que desempenham as mais variadas funções no organismo humano (RIBEIRO, 2013). O principal fator que afeta a presença desses componentes no músculo é a alimentação precária e a ausência de suplementação na dieta dos animais (PAULINO et al., 2004). Além de causar deficiência de compostos de interesse econômico e fisiológico no produto final (PARK et al., 2018; MLA, 2021a), o não cumprimento das exigências diárias de cada um dos nutrientes na alimentação animal pode comprometer sua saúde e prejudicar o desempenho e a produtividade, afetando fatores como índice de engorda e idade de abate, fazendo com que os animais sejam abatidos tardiamente, o que afeta os atributos sensoriais desejáveis na carne bovina (EUCLIDES FILHO; CORRÊA; EUCLIDES, 2002).

A sanidade é tida como um dos principais atributos de qualidade da carne bovina, uma vez que influencia diretamente a saúde do consumidor (NASCIMENTO et al., 2018; SARDEIRO et al., 2021). Os focos de contaminações na cadeia produtiva da carne bovina situam-se nos procedimentos de abate, armazenamento e distribuição (SILVA; BUENO, 2018), sendo as bactérias *Escherichia coli* e *Salmonella* consideradas de alta prioridade de controle devido a sua taxa de incidência e gravidade para a saúde humana (ANTIC et al., 2021). Além dos focos de contaminações durante o processamento, existem também as doenças que podem acompanhar o animal durante a vida, como a Febre Aftosa, a Encefalopatia Espongiforme Bovina, a Brucelose e a Tuberculose Bovina, as quais comprometem a qualidade do produto, trazendo implicações econômicas para a cadeia, como, por exemplo, a redução no consumo e

as sanções internacionais (VERBEKE et al., 2010; VALENTE; DO VALE; BRAGA, 2011; ELIAS; DE LIMA; ORTELAN, 2018; MLA, 2021b).

Com a elevada facilidade de acesso aos mais diversos tipos de informações, os consumidores estão cada vez mais atentos acerca dos impactos causados por seu hábitos alimentares e, com isso, os fatores extrínsecos ligados à produção como o bem-estar animal e a sustentabilidade ambiental também são considerados quando o assunto é a qualidade do produto final (BRYANT; BARNETT, 2018). Existem inúmeros estudos realizados em diferentes partes do mundo que demonstram que os consumidores estão dispostos a pagar valores extras por produtos que possuam esses atributos de qualidade (VAN LOO et al., 2014). De acordo com a Organização Mundial de Saúde Animal (OIE), os princípios que melhor descrevem o bem-estar animal são: garantir condições que evitem fome, sede e desnutrição; garantir condições que evitem medo e angústia; garantir condições que evitem desconforto físico e térmico e garantir condições que evitem dor, injúrias e doenças (OIE, 2021). Em relação à sustentabilidade ambiental, as principais ações que devem ser adotadas são mitigação de gases de efeito estufa, conservação do solo e dos recursos hídricos, minimização do desmatamento e manejo correto dos resíduos gerados (PERAZZOLI; KUNZE, 2018). A incorporação de boas práticas de manejo que incluam a garantia do bem-estar animal e da sustentabilidade ambiental proporcionam melhora nos índices econômicos da produção pela minimização dos desperdícios que levam à perda do produto final e ao esgotamento dos recursos naturais (DA SILVA et al., 2019; MALAFAIA et al., 2019).

2.7. Certificações: garantia da qualidade e agregação de valor à cadeia produtiva

A progressiva conscientização dos consumidores acerca dos atributos intrínsecos e extrínsecos que conferem qualidade e segurança aos alimentos geraram preocupação, resultando no aumento da pressão sobre todos os elos da cadeia produtiva da carne bovina. A garantia da qualidade dos produtos depende da adoção de determinados padrões de produção, que possam ser comprovados por meio da adesão de sistemas de certificação (PORPINO; BOLFE, 2020). As certificações são a base para a manutenção do aumento exponencial das exportações, uma vez que os mercados importadores adotaram barreiras não tarifárias ao comércio, que visam a restrição do fluxo do comércio internacional devido ao não cumprimento de determinado requisito técnico, sanitário ou socioambiental (WAGNER NETO, 2005).

Os sistemas de certificações realizam a avaliação de um processo ou produto visando a garantia do cumprimento de padrões estabelecidos, atendendo a requisitos específicos de

determinado nicho de mercado (DA SILVA, 2012). As certificações podem ser de caráter obrigatório, como no caso do SIF, ou voluntárias que, por sua vez, são vistas como um diferencial e agregam valor à cadeia produtiva (SOARES; HUNGARO, 2021).

Os principais selos de certificações adotados pela pecuária de corte brasileira compreendem vários aspectos que englobam o processo de fabricação da carne, como origem geográfica e genética dos animais, processos orgânicos de produção, aspectos socioambientais envolvidos na cadeia, sanidade animal e segurança no processo de industrialização. A Tabela 2 apresenta exemplos de alguns selos de certificações adotados pela cadeia produtiva da carne bovina no Brasil.

As certificações, sejam elas compulsórias ou voluntárias, são uma forma de garantir a qualidade da carne bovina uma vez que elas atestam que esse produto foi submetido a rigorosos padrões de produção e avaliação de conformidade, desde o campo até a gôndola (SORNBERGER; REDIVO; REDIVO, 2010). As certificações ampliam as oportunidades de negócios para as empresas adeptas, minimizando os efeitos das barreiras não tarifárias, uma vez que atributos como sanidade, bem-estar animal, ambiental e social são comprovados por meio da adesão desse mecanismo (RUVIARO; BARCELLOS; DEWES, 2014; WEBB, 2018). É muito importante que todos os elos produtivos da cadeia possuam as certificações cabíveis a ele, para que de fato o produto possa ter garantia de certificação. Para que isso seja concretizado é importante que haja a integração verticalizada da cadeia, possibilitando o controle total de todas as operações, garantindo que todas as atividades sejam realizadas com base em padrões pré-determinados que garantam a qualidade do produto final, bem como a eficiência máxima dos métodos de produção (BURMANN, 2016).

Tabela 2 - Principais selos de certificação adotados no Brasil

Natureza da certificação	Marca registrada ®	Referência
Genética	Carne Nelore Certificada, Carne Certificada Angus, Carne Certificada Hereford, Carne Charolês Certificada, Carne Braford Certificada, Carne Devon Certificada, Carne Wagyu Certificada	(CNA, 2022)
Socioambientais	Rainforest Alliance, ISO 14001 - Environmental Management System Sustainable Agriculture Network (SAN) Carne Carbono Neutro	(RAINFOREST ALLIANCE, 2017; ISO, 2015; NEWTON et al., 2015; ALVES et al., 2018)
Origem geográfica	Pampa Gaúcho da Campanha Meridional Alianza Del Pastizal Rebanho Xingu Mato Grosso Certified Beef	(SEBRAE, 2018; BENCKE, 2022; BEEFPOINT, 2021; CANAL RURAL, 2016)
Produção orgânica	Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica (SisOrg) IBD Certified Orgânic	(PILA, 2013; IBD, 2022)
Rastreabilidade	Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Bovinos e Bubalinos (SISBOV)	(BEEFPOINT, 2021)
Processo de Industrialização	ISO 22000 - Food Safety Management; Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC); Sistema de Inspeção Federal (SIF)	(ISO, 2022; US FDA, 1997; BRASIL, 2022a)
Sanidade animal	Reconhecimento internacional de zonas livres de febre aftosa, fornecido pelo World Organization for Animal Health Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal, fornecido pelo MAPA	(OIE, 1997; BRASIL, 2022b)

Fonte: Elaborado pela autora utilizando as informações das fontes citadas

2.8. Monitoração do status mineral do animal

Os minerais são importantes nutrientes para a alimentação animal desempenhando diversas funções em seu organismo, desde estrutural, como no caso do Ca, até cofatores enzimáticos, como no caso do Se. Os minerais na alimentação bovina são classificados de

acordo com a sua exigência, sendo os macrominerais aqueles que necessitam de maior ingestão diária como Ca, Cl, Mg, Na, P e S e os microminerais aqueles que possuem menor exigência de ingestão diária como Co, Cr, Cu, Fe, I, Mn, Ni, Se e Zn (SUTTLE, 2010; RECH, 2016; GONZÁLEZ; DA SILVA, 2019).

Os minerais possuem pequena participação ativa no crescimento e ganho de peso animal, porém, essa classe de nutrientes auxilia em todos os processos bioquímicos que ocorrem no organismo (Tabela 3), sem os quais não seria possível a garantia de índices zootécnicos adequados (RAPOSO DE MEDEIROS; COSTA GOMES; BUNGENSTAB, 2015).

A exigência dos minerais na alimentação animal varia com a fase da vida em que o animal se encontra (gestação, lactação, crescimento, engorda ou terminação), idade, sexo, raça e interação entre os minerais (NRC, 1996; DANTAS; NEGRÃO, 2010).

Além de desempenhar importantes funções no metabolismo, a importância de realizar o monitoramento do status mineral do animal justifica-se em razão da influência de alguns minerais em parâmetros de grande peso econômico, como é o caso do Fe, que está diretamente relacionado com a coloração da carne, e do Zn, que está ligado ao ganho de peso diário e ao peso final da carcaça (PATEL et al., 2019). Elementos como Ca, Mg e P compõem o conteúdo mineral do osso bovino, que corresponde a 40 % do peso corporal do animal (RAPOSO DE MEDEIROS; COSTA GOMES; BUNGENSTAB, 2015).

Tabela 3 - Minerais essenciais e respectivas funções no organismo

Macro minerais	Funções
Cálcio	Controle da excitabilidade de nervos e músculos e da contração muscular. Importante na coagulação do sangue. Estimula a síntese de proteína muscular. Regula o metabolismo celular através da ativação da calmodulina.
Fosfóro	Componente dos fosfolipídios da membrana celular, do ATP, da fosfocreatina, do DNA, do RNA e de importantes coenzimas.
Magnésio	Ativação de enzimas envolvidas com as transformações do ATP. Importante para o metabolismo de carboidratos e participa na fosforilação oxidativa. Constituinte de ossos e dentes.
Sódio, Potássio e Cloro	Manutenção da pressão osmótica e do equilíbrio ácido-base do organismo. Participam da bomba Na/K ATPase. Metabolismo hídrico. Transmissão de impulso nervoso. Transporte ativo de glicose e aminoácidos (Na). Produção de HCl no estômago e regulação do pH sanguíneo (Cl).
Enxofre	Componente de aminoácidos (metionina e cistina), cartilagens (sulfato de condroitina, biotina, tiamina, insulina e coenzima A). Importante para as pontes de S nas ligações das cadeias peptídicas.
Micro minerais	Funções
Iodo	Constituinte do hormônio tiroxina e outros compostos ativos da tireoide (mono, di e triiodotironina). Atua no controle da taxa metabólica.
Ferro	Componente da hemoglobina, da mioglobina, do citocromo, da actina e da miosina. Presente em várias metaloenzimas.
Cobre	Participa do metabolismo do ferro (ceruloplasmina), formação da elastina e do colágeno, além de manter a integridade do sistema cardiovascular. Importante para a formação do osso, integridade do sistema nervoso central (formação da mielina que reveste as fibras nervosas), hematopoiese e pigmentação dos pelos.
Cobalto	Constituinte da vitamina B12
Manganês	Ativação de enzimas na síntese de polissacarídeos e glicoproteínas. Importante para o metabolismo do piruvato e síntese de ácidos graxos, colesterol e sulfato de condroitina.
Zinco	Constituinte de diversas enzimas, componente da insulina, e de parte da configuração do DNA e RNA.
Selênio	Componente da enzima glutatona peroxidase.
Molibdênio	Faz parte da enzima xantina oxidase (reações de óxido redução).
Cromo	Participa do metabolismo de carboidratos e lipídeos Fator de tolerância à glicose.

Fonte: Adaptado de Branco (2021)

Posto que a carne bovina representa uma das melhores fontes de minerais na alimentação humana, principalmente de Fe, P, Se e Zn, a monitoração do status mineral durante a vida do animal também contribui com a manutenção da qualidade nutricional do produto disponibilizado ao consumidor. Porções de 100 g de carne bovina podem contribuir com a ingestão diária recomendada de 10 % para Fe, 47 % para P e 30 % para Zn (ANVISA, 2005; NEPA, 2011). Importante fonte na alimentação humana, a carne bovina contém cerca de 0,38 µg/g de Se (DOS SANTOS; DA SILVA JÚNIOR; MUCCILLO-BAISCH, 2017) contribuindo com cerca de 100 % da ingestão diária recomendada para esse mineral (ANVISA, 2005).

Apesar de trazer grandes vantagens técnicas e econômicas, a suplementação mineral corresponde a 40 % dos custos operacionais da pecuária bovina (REIS, 2019), representando uma importante fatia nos gastos totais. A suplementação mineral nem sempre é necessária, uma vez que a exigência metabólica de um mineral, por si só, não implica em suplementação (MALAFAIA et al., 2014). Outro ponto relevante é que a suplementação indiscriminada de minerais pode trazer prejuízos à saúde do animal, uma vez que a absorção de determinado mineral pode ser diminuída na presença de elevado teor de elementos com ação antagonista, como é o caso do Cu e do Mo, por exemplo (RAPOSO DE MEDEIROS; COSTA GOMES; BUNGENSTAB, 2015).

Tendo em vista os argumentos apresentados, é evidente que a monitoração do status mineral dos animais apresenta vantagens e benefícios em todos os elos da cadeia produtiva, desde a promoção de saúde e bem-estar aos animais, otimização de recursos financeiros até, finalmente, a qualidade sensorial e nutricional da carne bovina.

2.9. Pelos: matriz alternativa e não invasiva

Os pelos são estruturas queratinizadas (UNIFAL, 2022) constituídas de proteínas (65-95 %), água (15-35 %), lipídeos (1-9 %) e matéria mineral (0,25-0,95 %) (HARKEY, 1993). A fibra capilar possui unidades externas estruturais chamadas cutícula, córtex e medula que desempenham funções específicas como proteção e resistência, além de conferirem brilho aos fios (WAGNER, 2006).

A parte interna da fibra capilar é formada pelo folículo piloso onde são originados os pelos. As estruturas que desempenham importantes funções dentro do folículo piloso são bulbo capilar, papila dérmica, glândula sebácea e haste capilar, responsáveis pelo transporte de nutrientes, crescimento, lubrificação e suporte dos fios (DOMINGUES, 2015).

O crescimento dos pelos é dividido em 3 fases: anágena, quando ocorre o crescimento ativo dos fios; catágena, quando ocorre a transição dos fios e inicia-se o processo de repouso e, finalmente, a fase telógena, quando o crescimento cessa e os pelos ficam retidos na porção superficial do folículo piloso (HARKEY, 1993). Os pelos são metabolicamente ativos durante a fase de crescimento, registrando os eventos metabólicos ocorridos nesse período. A partir da fase catágena, o pelo torna-se metabolicamente inativo e seu comprimento pode representar o status mineral de longos períodos de tempo (HOPPS, 1977; PATRA et al., 2007).

A incorporação dos elementos químicos nos pelos pode ocorrer pela deposição dos elementos químicos presentes nos fluidos corporais no bulbo capilar ou pela exposição crônica a determinados tipos de contaminantes, como metais tóxicos, por exemplo (DOMINGUES, 2015). A distribuição dos elementos não ocorre de forma homogênea podendo variar de acordo com a cor dos pelos e local do corpo onde foi realizada a amostragem (BENCZE, 1990). Outros fatores que influenciam o teor de elementos químicos nos pelos são idade, estágio de crescimento, sexo, raça, contaminações e origem geográfica (COMBS, 1987).

Os pelos têm sido empregados como matriz analítica para as mais diversas finalidades, na tricologia forense para a resolução de crimes, tricologia na produção animal para caracterização de espécies e tricologia médica aplicada à medicina ortomolecular (MARTINS et al., 2018). Estudos envolvendo a utilização de pelos buscaram desenvolver um método alternativo para avaliação de minerais no organismo humano, bem como em várias espécies de animais.

O pelo bovino foi empregado para avaliar o estado nutricional de rebanhos considerando suas vantagens de coleta e armazenamento, quando comparado com outras matrizes como carne, leite ou urina (MC DOWELL et al., 1982). Diferenças entre o conteúdo mineral do pelo de bovinos saudáveis e bovinos infestados com *Boophilus microplus* foram avaliados por NAA (ARMELIN et al., 1998). Estudos utilizaram o pelo bovino como marcador da exposição a metais tóxicos em diferentes áreas industriais (PATRA et al., 2006; 2007). A composição mineral do pelo de gado leiteiro foi comparada com a composição mineral do leite, obtendo correlação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para alguns elementos químicos (GABRYSZUK et al., 2010). Guo et al. (2010) utilizaram as razões dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio no pelo da cauda bovina para discriminar gado proveniente de diferentes regiões geográficas. Variações observadas nas razões isotópicas de carbono e nitrogênio nos pelos foram atribuídas a mudanças na dieta dos animais (OSORIO et al., 2011). Szigeti et al. (2015) investigaram a variação da composição mineral dos pelos coletados em diferentes regiões do corpo de bovinos criados nas mesmas condições. Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn foram

determinados em pelos bovinos por ICP-OES para avaliar o melhor método de preparo de amostra para essa matriz (MERCAN; NURHAYAT, 2019).

Além do pelo bovino, estudos reportaram a utilização de pelos de equinos como ferramenta para avaliar a saúde de cavalos, através da determinação de elementos como Cu, Fe, Mn e Zn (ARMELIN et al., 2001). Ikemoto et al. (2004) correlacionaram as frações de massa de elementos químicos determinados nos pelos e em tecidos de três diferentes espécies de focas. Pelos de cães foram utilizados como instrumento para identificar o acúmulo de Cu no fígado, associando-o a doenças hepáticas (BODE et al., 2008). Roug et al. (2015) buscaram comparar as concentrações de Se, Cu, Zn, Fe e Mn em amostras de pelos, sangue e fígado de veados-mula. Holasová et al. (2017) determinaram Cu, Zn, Mn e Se no pelo de camelídeos da América do Sul com o intuito de estabelecer um método alternativo para a avaliação de micronutrientes no corpo, causando estresse mínimo aos animais.

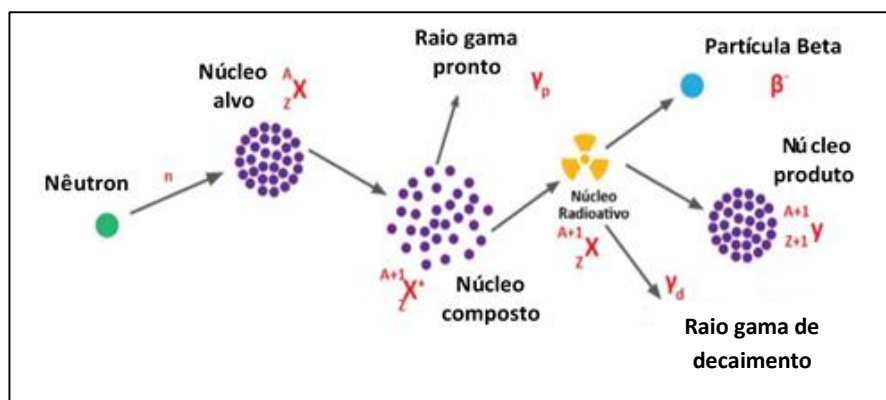
Pelos também foram empregados para avaliação dos níveis de metais tóxicos em cães que desenvolveram neoplasias mamárias (BADEA et al., 2018). Estudos ecotoxicológicos realizados por Treu et al. (2018) buscaram correlacionar as concentrações de Hg encontradas no tecido e no pelo de raposas do ártico da Islândia. O pelo da cauda foi utilizado como um potencial bioindicador para avaliação do status mineral em elefantes em pesquisas realizadas por Sach et al. (2020), buscando identificar a matriz biológica que mais refletisse a ingestão elementar desses animais. Rudnicki-Velasquez et al. (2021) avaliaram a bioacumulação de ^{210}Po nos pelos de gatos de várias raças buscando determinar se fatores como raças, comprimento dos pelos, sexo, idade, peso e alimentação influenciam nas concentrações desse radionuclídeo.

2.10. Análise por ativação neutrônica (NAA)

A análise por ativação neutrônica é uma técnica de determinação química que se baseia em eventos físicos. Ela é fundamentada na produção de radionuclídeos gerados por meio de reações nucleares que ocorrem entre nêutrons térmicos e átomos de elementos químicos presentes na amostra. Quando o nêutron incidente é capturado pelo núcleo alvo presente na amostra, cria-se um núcleo composto extremamente instável. Na busca por estabilidade, o núcleo composto rapidamente emite um raio gama pronto liberando parte do excesso de energia, porém, permanecendo radioativo. O núcleo radioativo passa pelo processo de decaimento, conforme a meia-vida característica para cada elemento químico, emitindo partículas beta e raios gama. O processo de emissão de radioatividade ocorre até o núcleo radioativo alcançar a

estabilidade. A sequência descrita pode ser visualizada na Figura 11. Na NAA, a radiação gama emitida durante o processo de decaimento é detectada. Como cada elemento químico emite radiação gama de energia específica, torna-se possível realizar sua quantificação (EHMANN; VANCE, 1993; ALFASSI, 1994).

Figura 11 - Representação da interação do nêutron com o núcleo alvo



Fonte: Adaptado de Tappiz e Bonetto (2017)

A NAA pode ser classificada de acordo com os procedimentos analíticos adotados nas etapas de preparo, irradiação e detecção da atividade induzida. A análise por ativação neutrônica instrumental (INAA) é a modalidade mais adotada, uma vez que não é necessário submeter as amostras a tratamentos químicos preliminares, ou seja, o preparo para irradiação envolve apenas as etapas de limpeza, secagem e moagem das amostras (TAGLIAFERRO, 2003). Por apresentar poucas fontes de erro, a NAA pode ser utilizada com segurança para validar resultados obtidos por técnicas que dependem de procedimentos de solubilização de amostras (FLORES et al., 2012).

Além da classificação do método de acordo com as condições analíticas empregadas, a NAA também pode ser classificada segundo o método empregado para padronização dos resultados. A forma mais comum de padronização envolve a utilização de padrões de alta pureza para todos os elementos que serão determinados. Uma forma alternativa para a padronização é o emprego de métodos paramétricos que utilizam a equação fundamental da ativação, como o método k_0 , que pode ser facilmente executado com auxílio do software Quantu (BACCHI; FERNANDES; DE OLIVEIRA, 2000). O método k_0 minimiza o tempo e o custo das análises, não limitando as determinações apenas aos elementos para os quais padrões foram adicionados ao lote analítico (DE CORTE, 2001).

A NAA permite a determinação simultânea de muitos elementos químicos em uma única análise, dependendo das características da matriz e das condições adotadas no preparo, irradiação e detecção (IAEA, 1990). A detecção da atividade induzida é realizada por espectrometria gama de alta resolução utilizando detectores de cristais de germânio hiperpuro. Devido à possibilidade de determinar um grande número de radionuclídeos, com diferentes tempos de meia-vida, é necessário que sejam realizadas várias medições, para otimizar os resultados e eliminar interferentes.

Pelo alto rigor metrológico, a NAA foi reconhecida em 2007 como método primário de medição na 13th Meeting of the Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry, Bureau International des Poids et Mesures - CCQM/BIPM, Paris, França. Segundo o Joint Committee for Guides in Metrology, um método primário de medição realiza a medida de um mensurando sem a necessidade de utilizar uma referência a um padrão ou grandeza de mesmo tipo (JCGM, 2021). O reconhecimento da NAA como método primário de medição foi discutido em duas publicações que demonstram seu alto desempenho e rigor metrológico (BODE; GREENBERG; FERNANDES, 2009; GREENBERG; BODE; FERNANDES, 2011).

2.11. Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)

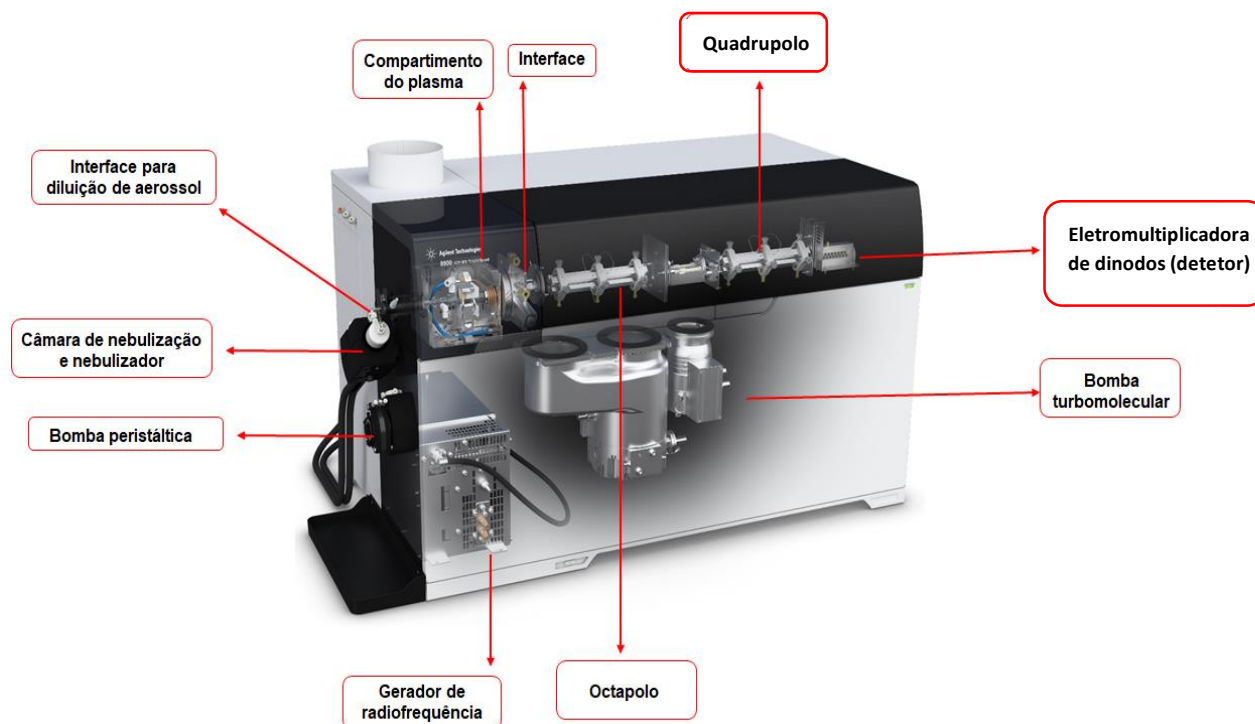
A espectrometria de massas é uma técnica isotópica multielementar amplamente difundida devido à alta sensibilidade, limite de detecção e quantificação na faixa de subparte por trilhão, rápida aquisição de dados e necessidade de pequenos volumes de amostras (SAHOO et al., 2014).

Diferentemente da análise por ativação neutrônica, a técnica de espectrometria de massas envolve a transformação química das amostras através da conversão de uma amostra orgânica ou inorgânica em uma forma adequada à análise química, empregando para isso ácidos ou soluções ácidas (SANTOS JUNIOR et al., 2019). O espectrômetro é constituído por bomba peristáltica, gerador de radiofrequência, sistema de introdução de amostras, plasma, interface, quadrupolo, octapolo, eletromultiplicadora de dinodos (detector) e bomba turbomolecular (LORENÇATTO, 2020), como mostra a Figura 12.

A técnica é baseada na formação e separação de íons carregados positivamente e posterior medição em razão da massa/carga (m/z) (KATO, 2019). De maneira geral, uma solução aquosa é introduzida no equipamento e nebulizada, formando um aerossol.

O aerossol é transportado para o plasma de argônio onde, devido ao fornecimento de temperatura, passa pelos processos de dessolvatação, decomposição, vaporização, atomização e ionização. Os íons produzidos são direcionados ao analisador de massas através de dois cones focalizados por lentes iônicas, onde serão medidos em razão m/z (LORENÇATTO, 2020).

Figura 12 - Sistema ICP-MS



Fonte: Adaptado de Agilent (2016)

Apesar das grandes vantagens fornecidas pelo equipamento, as interferências poliatômicas constituem um problema sensível. Em razão disso, o surgimento de instrumentos equipados com quadrupolos e células de reação/colisão tem buscado o aumento da seletividade química das reações e melhora dos resultados (LORENÇATTO, 2020).

O quadrupolo funciona como um filtro de massas, à medida que os íons chegam são instantaneamente filtrados em razão da m/z . Os instrumentos equipados com triplo quadrupolo possuem maior seletividade e sensibilidade. Nestes equipamentos, o primeiro quadrupolo é definido para a razão m/z do analito de interesse, dessa forma apenas o analito e as interferências em sua m/z seguem para a cela de reação. Na cela de reação, após reagirem com o gás inerte, normalmente o hélio, as interferências mudam de m/z ou são neutralizadas. O segundo quadrupolo localizado após a cela de reação rejeita íons produto de interferência, que reagiram

e mudaram de massa ou perderam carga, deste modo, somente o analito de interesse é mensurado. Assim sendo, o triplo quadrupolo elimina interferências isobáricas, melhorando os limites de detecção e quantificação da técnica (BALCAEN et al., 2015).

Como fontes de erro na espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS), têm-se pureza dos reagentes, incerteza dos padrões analíticos, curva de calibração, calibração dos instrumentos volumétricos e balanças de precisão (SANTOS JUNIOR et al., 2019).

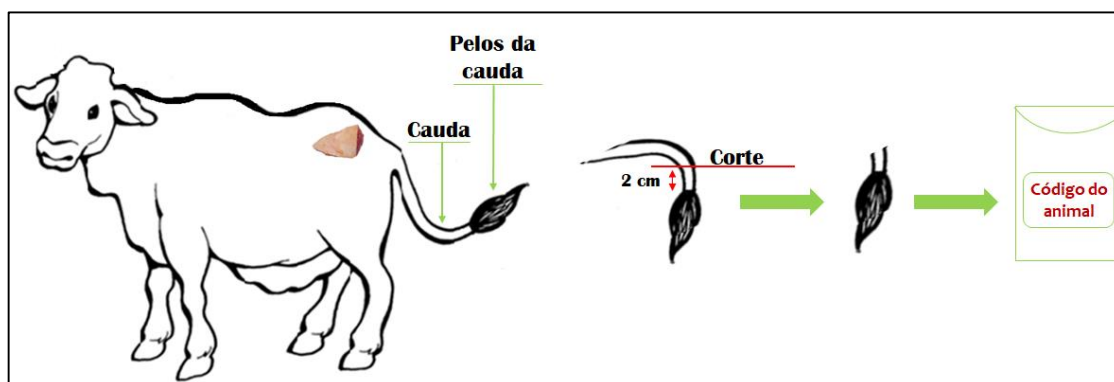
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Amostragem

As amostras de pelos de cauda e de picanha bovina foram cedidas pela Beef Passion, produtora de carne bovina que opera em sistema vertical de produção, sendo responsável pelos processos de inseminação, cria, recria, engorda, abate e comercialização do produto final, o que facilita a rastreabilidade dos animais em todos os elos da cadeia produtiva. Os processos de inseminação e cria ocorreram nas fazendas “Cantinho do Céu” no município de Cassilândia e “Bom Sucesso” no município de Alcinópolis, ambas no Mato Grosso do Sul. Após o desmame dos bezerros, os garrotes, como passam a ser chamados, foram enviados ao “SPA bovino” da Beef Passion “Recanto Vó Cidinha” no município de Nhandeara, no interior paulista, onde ocorreram as fases de recria e engorda. Inicialmente, os animais foram criados de forma extensiva com suplementação de dieta a pasto até atingirem peso e características ideais para serem confinados. Após o período de engorda em confinamento, que variou de 8 a 15 meses, os animais foram encaminhados para abate ao Frigorífico Olhos D’Água no município de Ipuã, SP.

A amostragem foi realizada entre os meses de outubro e dezembro de 2019, diretamente no Frigorífico Olhos D’Água. Todas as amostras coletadas foram codificadas, garantindo a segurança do processo de amostragem. A coleta das amostras de pelos de cauda foi realizada como mostra a Figura 13. A picanha foi o corte escolhido para essa avaliação considerando seu alto valor agregado que favorece a rastreabilidade da cadeia produtiva, bem como o baixo teor de gordura intramuscular que contribui para a homogeneidade das amostras, tornando-as adequadas para as análises químicas.

Figura 13 - Procedimento realizado para coleta das amostras de pelos de cauda



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

No total, foram coletadas amostras de 20 animais abatidos, pertencentes aos cruzamentos genéticos $\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore (n=10) e $\frac{1}{4}$ Angus x $\frac{1}{4}$ nelore x $\frac{1}{2}$ Wagyu (n=10), como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Amostras de picanha e de cauda bovina coletadas no Frigorífico Olhos D'Água no município de Ipuã, São Paulo

Código do Animal	Raça	Sexo	Idade de Abate
317	Angus	Macho	25 meses
3080	Angus	Macho	28 meses
3355	Angus	Macho	22 meses
3362	Angus	Macho	22 meses
141	Angus	Macho	27 meses
103	Wagyu	Macho	39 meses
352	Wagyu	Macho	37 meses
437	Wagyu	Macho	36 meses
513	Wagyu	Macho	36 meses
544	Wagyu	Macho	35 meses
395	Angus	Fêmea	25 meses
451	Angus	Fêmea	24 meses
3102	Angus	Fêmea	27 meses
3166	Angus	Fêmea	25 meses
3170	Angus	Fêmea	26 meses
691	Wagyu	Fêmea	45 meses
119	Wagyu	Fêmea	39 meses
138	Wagyu	Fêmea	39 meses
278	Wagyu	Fêmea	38 meses
481	Wagyu	Fêmea	37 meses

3.2. Tratamento das amostras

As amostras de pelos de cauda foram imersas em água corrente para retirada de impurezas visíveis, como fezes, sangue e terra. Os pelos da vassoura da cauda foram aparados do rabo utilizando tesoura com lâmina de titânio, para evitar possíveis contaminações com ferro e outros elementos presentes no aço inoxidável. A lavagem dos pelos foi realizada em duas etapas segundo o método proposto por Ohmori (1984), utilizando água deionizada e acetona padrão analítico. Para isso, os pelos foram depositados em uma bandeja plástica, cuidadosamente, para que se mantivessem alinhados. A água deionizada foi adicionada em quantidade suficiente para que a amostra permanecesse submersa. Em seguida, a água

deionizada foi descartada e acetona padrão analítico foi adicionada, também, em quantidade suficiente para que a amostra permanecesse submersa. O procedimento de limpeza foi repetido duas vezes e as amostras permaneceram em contato com as soluções durante 10 min, como recomendado no método adotado. As amostras foram mantidas em temperatura ambiente e acondicionadas em dessecador contendo sílica durante 24 h. Para verificar a variação dos elementos químicos, formando um registro temporal, os pelos de cauda bovina foram seccionados a cada 1 cm, resultando em 10 amostras de 1 cm para cada animal. As duzentas amostras resultantes desse processo tiveram seu tamanho reduzido para garantir melhor homogeneidade e representatividade do material.

As amostras de picanha tiveram a capa de gordura retirada, para evitar a produção de resíduos orgânicos que não são decompostos por HNO_3 , aumentar a homogeneidade das amostras e melhorar as condições de moagem (SANTOS JUNIOR et al., 2019). Após isso, as amostras foram picadas em pequenos pedaços, mantidas em congelador a $-18\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h e, em seguida, liofilizadas em equipamento modelo SNL216V (Thermo Electron Corporation, USA), operando à temperatura de $-52\text{ }^\circ\text{C}$ e pressão na câmara de vácuo de 10 mbar durante 72 h. Após a liofilização, as amostras foram submetidas ao procedimento de moagem em moinho de bolas planetário modelo PM 400 (Fritsch, Alemanha) utilizando câmara de alumina.

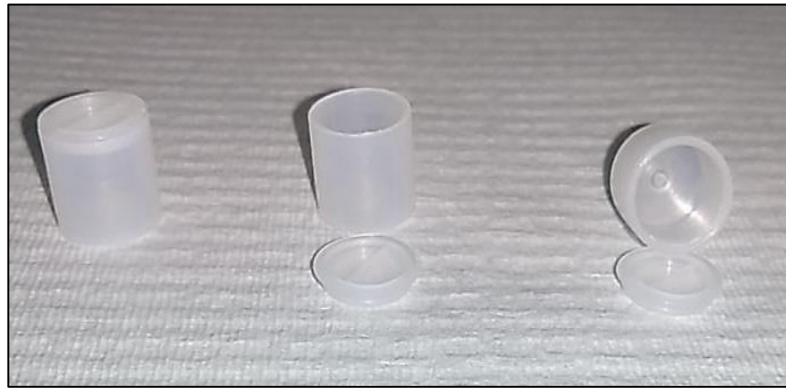
3.3. Análise por ativação neutrônica (NAA)

A determinação dos elementos químicos por NAA foi realizada no Laboratório de Radioisótopos (LRi), do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo (CENA/USP). Porções analíticas de 100 mg das amostras de pelos e 300 mg das amostras de carne foram pesadas em cápsulas de polietileno de alta densidade tipo T, com 9 mm de altura (Figura 14), específicas para irradiação com nêutrons, produzidas pela empresa Posthumus Plastics, Beverwijk, Holanda. Após o procedimento de pesagem das amostras, as cápsulas de polietileno foram seladas com bastão de quartzo incandescente. Ao todo, foram irradiados 7 lotes de amostras de pelos de cauda, identificados como XP, XQ, XV, XW, XX, YB e YC e 3 lotes de amostras de carne bovina, identificados como WA, WE e WG.

Para controle da qualidade dos procedimentos analíticos, foram incorporados aos lotes de amostras, ao menos dois materiais de referência certificados, dentre eles RM 8414 - Bovine Muscle Powder e SRM 1577c - Bovine Liver, produzidos pelo National Institute of Standards and Technology (NIST), Estados Unidos, e IAEA-336 Trace and Minor Elements in Lichen, produzido pela International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena. Em conjunto com as

amostras, foram enviadas para irradiação cápsulas vazias (branco analítico) para medir possíveis contaminantes, como o Cr, Br, Na e Zn presentes na matriz de polietileno e realizar as devidas correções dos resultados quando necessário.

Figura 14 - Cápsulas de polietileno de alta pureza e densidade, tipo T com 9 mm de altura, específicas para irradiação com nêutrons



Visando monitorar o fluxo de nêutrons térmicos, fios de uma liga de Ni-Cr com massa aproximada de 10 mg (Figura 15), com frações de massa conhecidas dos elementos Ni e Cr e homogeneidade comprovada (FRANÇA; FERNANDES; BACCHI, 2003) foram intercalados entre as cápsulas das amostras, materiais de referência certificados e brancos analíticos. Os lotes assim preparados foram enviados ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEN), São Paulo/SP, para serem irradiados durante 4 h no Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1, sob fluxo de nêutrons térmicos da ordem de $10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Figura 15 - Monitores de Ni-Cr utilizados para medir o fluxo de nêutrons térmicos



A medição da atividade induzida foi realizada no Laboratório de Radioisótopos (CENA/USP) por espectrometria gama de alta resolução, utilizando detectores semicondutores de germânio hiperpuro, do tipo coaxial, com 45 e 50 % de eficiência relativa no fotopico 1332 keV do ^{60}Co , fabricados pela Ortec, que podem ser vistos na Figura 16. Visando a detecção de radionuclídeos com diferentes tempos de meias-vidas, a medição da atividade induzida das amostras, materiais de referência certificados e branco analítico foram realizadas com tempos de decaimento de 3, 7, 15 e 30 dias, e tempos de contagem de 30 min, 1 h, 2 h e 4 h para as amostras de pelos e 15 min, 30 min, 1 h e 2 h para as amostras de carne, respectivamente. A detecção da atividade induzida dos monitores de fluxo de nêutrons térmicos ocorreu 35 dias após a irradiação.

Figura 16 - Espectrômetros gama de alta resolução. 1. Detector modelo GEM45190, com eficiência de 45 %. 2. Detector modelo GMX50220, com eficiência de 50 %. 3. Detector modelo GEM50P4-83, com eficiência de 50 %



As quantificações das frações de massa dos elementos químicos presentes nas amostras, materiais de referência certificados e branco analítico foram realizadas pelo método de padronização k_0 , proposto por Bacchi, Fernandes e de Oliveira (2000). Esse método de padronização utiliza para os cálculos parâmetros como a intensidade de emissão dos raios gama, a seção de choque do elemento químico, a abundância isotópica do elemento químico e sua massa atômica, o que reduz as etapas da sequência analítica, uma vez que esse método de padronização dispensa o preparo e a análise de padrões individuais para cada elemento químico

de interesse (DE CORTE, 2001). As análises espectrais e todos os cálculos envolvidos nessa operação foram realizados com o software Quantu desenvolvido por Bacchi e Fernandes (2003).

3.4. Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)

A determinação dos elementos químicos por TQ-ICP-MS foi realizada no Laboratório de Radioisótopos (LRI), do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo (CENA/USP). Todos os reagentes utilizados eram de grau analítico e o HNO_3 foi purificado em sistema de destilação sub-boiling Milestone subCLEAN PTFE.

Para a dissolução das amostras de pelo bovino, foi utilizado o procedimento de digestão assistido por radiação micro-ondas, exposto por Batista et al. (2009). Porções analíticas de 50 mg foram cuidadosamente pesadas e transferidas para tubos de politetrafluoretileno (PTFE) específicos para digestão em forno micro-ondas. A essa massa, foram adicionados 5 mL de HNO_3 20 % (v/v), os tubos foram fechados e as amostras permaneceram em contato com a solução durante 12 h, num procedimento conhecido como pré-digestão. Após esse período, 2 mL de H_2O_2 30 % (m/m) foram adicionados à mistura ácida. Os tubos foram novamente fechados e homogeneizados durante 1 min em vortex e, então, colocados em forno micro-ondas, modelo Ethos Up® fabricado pela Milestone (Figura 17), onde a digestão foi realizada a 200 °C e 1800 W de potência durante 45 min.

Para a dissolução das amostras de carne foi utilizado o procedimento de digestão proposto pela Milestone. Porções analíticas de 250 mg foram pesadas e transferidas para tubos de PTFE onde 4 mL de HNO_3 65 % (m/m) foram adicionados para pré-digestão. Após 12 h, 1 mL de H_2O_2 30 % (m/m) foi adicionado à mistura ácida e os tubos foram novamente fechados e homogeneizados durante 1 min em vortex e, então, colocados em forno micro-ondas, modelo Ethos Up®, onde foram submetidos ao procedimento de digestão a 200 °C e 1800 W de potência durante 35 min.

Para garantir a qualidade do procedimento analítico, em conjunto com as amostras, dois brancos e dois materiais de referência certificados foram incluídos em cada lote de amostras, dentre eles RM 8414 - Bovine Muscle Powder e SRM 1577c - Bovine Liver e IAEA-336 Trace and Minor Elements in Lichen, produzido pela International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena.

As soluções resultantes foram avolumadas a 30 mL para as amostras de pelos e a 50 mL para as amostras de carne, para obter concentração de ácido residual inferior a 3 %. As soluções foram preparadas com água deionizada (18,2 M Ω cm e 4,0 μ g L⁻¹ TOC a 24,8 °C) obtida com o sistema de purificação de água ultrapura Milli-Q IQ 7000.

Figura 17 - Micro-ondas Milestone, modelo Ethos Up® com 44 posições



As soluções-padrão contendo 1000 mg L⁻¹ de cada elemento químico foram adquiridas da Sigma-Aldrich e Inorganic Ventures, Estados Unidos. Dois conjuntos de padrões multielementares foram preparados para a calibração do equipamento, de acordo com as concentrações esperadas para os diferentes elementos químicos nas amostras. O primeiro para Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, La, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Se, Sr, V e Zn, com concentrações variando de 0,01 μ g L⁻¹ a 500 μ g L⁻¹, e o segundo para Fe, K, Mg e Na, com concentrações variando de 0,5 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹. As medições foram realizadas em um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado triplo quadrupolo, Agilent 8900 (Figura 18). Os parâmetros operacionais do TQ-ICP-MS foram potência (RF) de 1550 W, fluxo de gás de plasma de 15 L min⁻¹, fluxo de gás nebulizador de 0,5 L min⁻¹, modo célula de reação usando He como gás reativo (5,5 mL min⁻¹) e Ar como gás auxiliar. Com o intuito de monitorar possíveis interferências físicas, foi utilizada solução de padrão interno P/N 5188-6525 da Agilent Technologies, com concentração de 100 μ g mL⁻¹ contendo ²⁰⁹Bi, ⁷²Ge, ¹¹⁵In, ⁶Li, ¹⁷⁵Lu, ¹⁰³Rh, ⁴⁵Sc e ¹⁵⁹Tb.

Para garantir a qualidade analítica das detecções, foram intercaladas com as amostras três alíquotas do material de referência certificado SRM 1643d - Trace Elements in Water, produzido pelo National Institute of Standards and Technology (NIST), Estados Unidos, com o objetivo de identificar possíveis contaminações e instabilidades provenientes do sistema de detecção.

Figura 18 - TQ-ICP-MS, modelo 8900® fabricado pela Agilent Technologies



3.5. Análise estatística

Os valores do En score (ISO, 2015) e da recuperação (US FDA, 2020) foram calculados para os elementos químicos certificados nos materiais de referência utilizados. Foram calculados a média e o respectivo desvio padrão das frações de massa dos elementos químicos determinados nos quatro grupos estudados e diferenças univariadas entre os resultados foram avaliadas utilizando o teste de Wilcoxon em nível de confiança de 95 %. Para a obtenção das correlações entre os resultados obtidos, foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA). Algoritmos de machine learning foram empregados para discriminação dos cruzamentos genéticos. As análises estatísticas foram realizadas com o software SAS OnDemand for Academics, versão 3.8, disponível online e o software Weka versão 3.8.

4. RESULTADOS

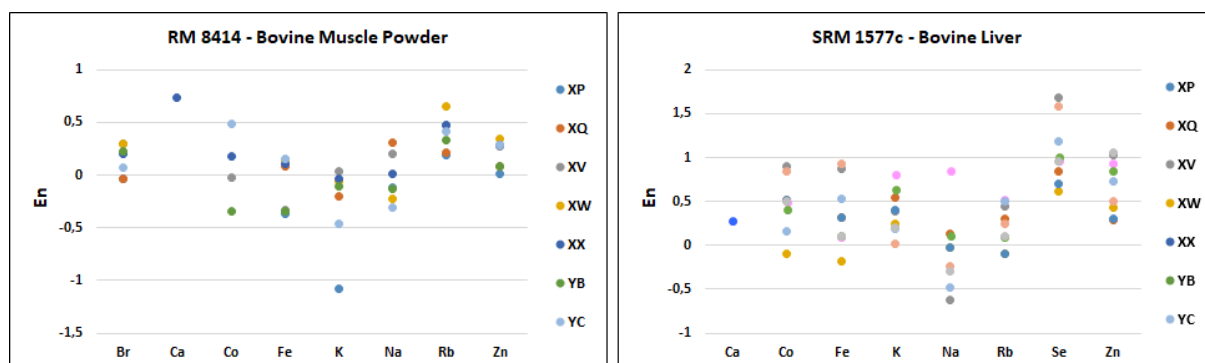
4.1. Análise por ativação neutrônica (NAA)

4.1.1. Análise de pelos de cauda bovina

4.1.1.1. Controle da qualidade analítica

A Figura 19 mostra os valores de En score que permitem demonstrar a qualidade analítica dos resultados. O En score é utilizado para comparar os valores medidos com os correspondentes certificados, considerando as respectivas incertezas expandidas, sendo admissíveis valores entre -1 e 1 (ISO, 2015). Observando-se os dois gráficos da Figura 19, percebe-se que os valores de En score estão dentro dos limites admissíveis para a maioria dos elementos, demonstrando o bom nível de exatidão atingido nas análises. Os elementos Br e Se estão certificados apenas em um dos CRM's, ou seja, RM 8414 e SRM NIST1577c, respectivamente. Os valores certificados para Ca em ambos os CRM's e para Co no RM 8414 estão muito próximos do limite de detecção da técnica analítica e, por isso, não foi possível quantificar esses elementos em todos os lotes de análise. Embora alguns resultados de Zn estejam acima de 1 para o SRM 1577c em dois lotes analisados, para o RM 8414 estiveram dentro dos valores admissíveis. O elemento K apresentou valor menor que -1 para RM 8414 em um dos lotes analisados. Porém, no mesmo lote de análise, o En score para K calculado a partir do valor medido no SRM 1577c estava dentro dos limites. A determinação de Se apresentou alguma deficiência, visto que em quatro dos sete lotes analisados os valores de En score estavam acima de 1, variando de 1,01 a 1,68.

Figura 19 - En score para RM 8414 - Bovine Muscle Powder e SRM 1577c - Bovine Liver analisados por NAA em 7 lotes de amostras de pelos de cauda



4.1.1.2. Perfil elementar dos pelos de cauda bovina

A NAA possibilitou a determinação dos elementos Br, Ca, Co, Fe, K, Na, Rb, Sc, Se e Zn nas amostras de pelos. As frações de massa e desvios-padrão dos elementos químicos determinados nos grupos Angus macho, Angus fêmea, Wagyu macho e Wagyu fêmea (n=50) estão sumarizados na Tabela 5. Os resultados gerais para todas as amostras de pelos analisadas (n=200) estão sumarizados na Tabela 6, que contém os valores mínimos e máximos para cada elemento, média e desvio padrão.

Tabela 5 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg⁻¹) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina de quatro grupos de animais (n=50)

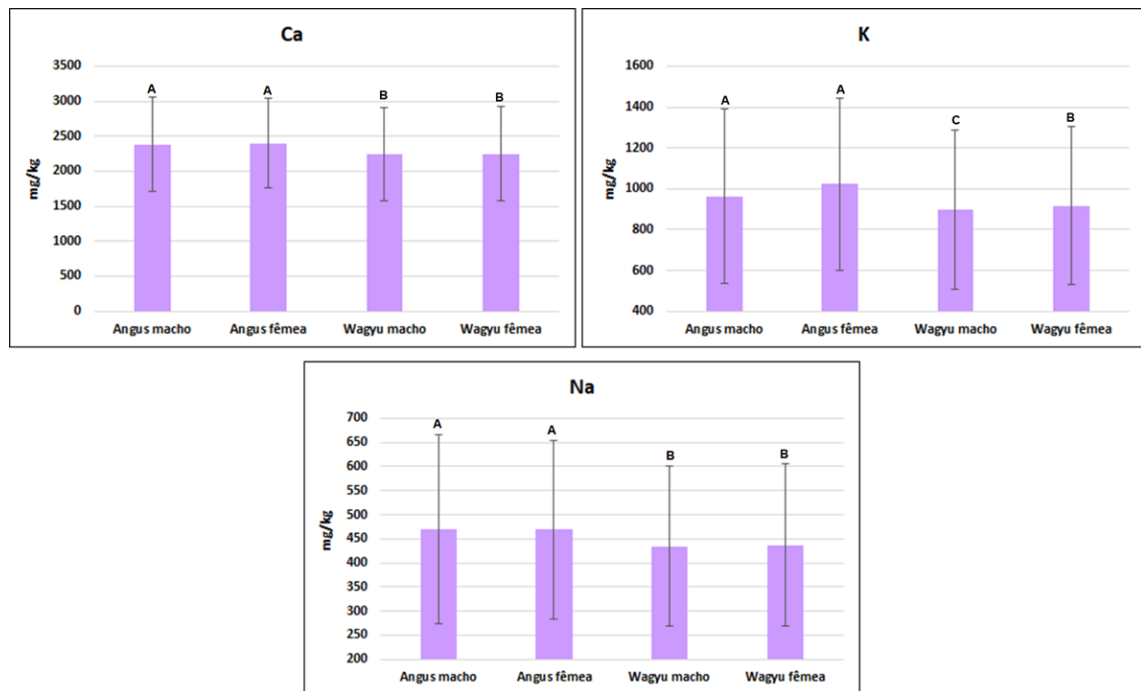
Elementos	Angus macho		Angus fêmea		Wagyu macho		Wagyu fêmea	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Br	0,49	0,23	0,48	0,22	0,44	0,20	0,46	0,22
Ca	2385	680	2402	645	2244	673	2251	668
Co	0,07	0,05	0,07	0,06	0,07	0,05	0,07	0,05
Fe	164	202	146	189	118	159	116	159
K	963	428	1022	421	896	389	917	389
La	0,06	0,03	0,06	0,03	0,07	0,06	0,07	0,06
Na	470	197	469	185	434	166	437	168
Rb	1,7	0,6	1,8	0,6	1,6	0,6	1,7	0,5
Sc	0,007	0,003	0,01	0,006	0,005	0,002	0,02	0,01
Se	0,49	0,09	0,49	0,08	0,46	0,08	0,46	0,09
Zn	119	9	121	9	121	10	122	10

Tabela 6 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão (n=200) das frações de massa (mg kg⁻¹) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina

Elementos	Mínimo	Máximo	Média	DP
Br	0,1	2	0,45	0,22
Ca	1040	4360	2213	674
Co	0,007	0,24	0,07	0,05
Fe	14	1160	113	155
K	131	1930	905	383
La	0,013	0,79	0,07	0,06
Na	168	995	437	164
Rb	0,7	3	1,65	0,58
Se	0,3	1	0,45	0,09
Zn	99	150	121	10

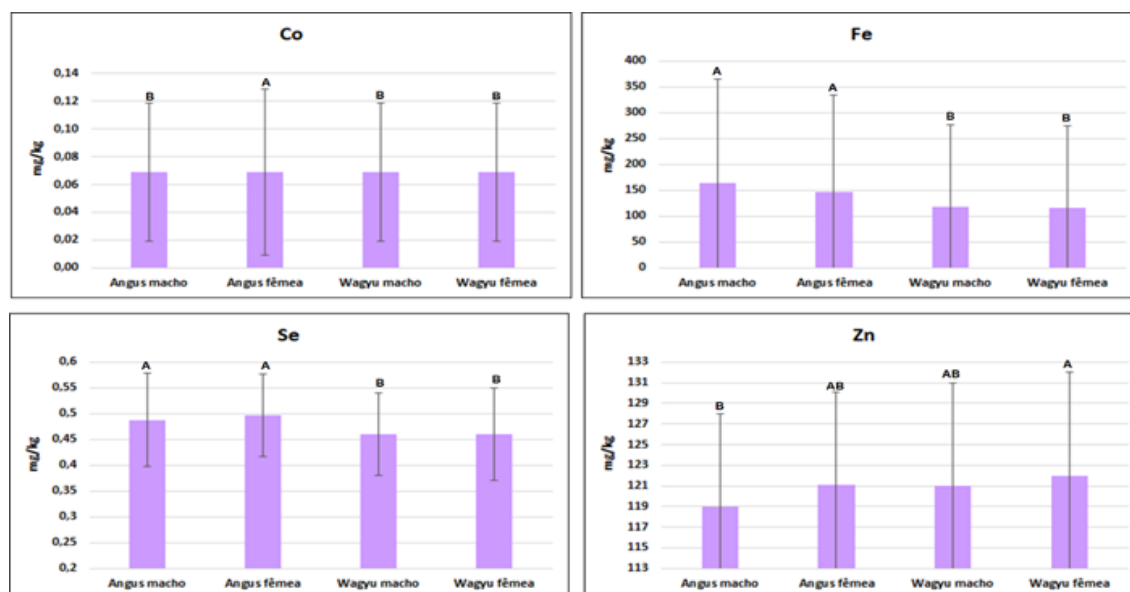
Considerando os macronutrientes, as menores frações de massa médias para Ca ($2244 \pm 673 \text{ mg kg}^{-1}$), K ($896 \pm 389 \text{ mg kg}^{-1}$) e Na ($434 \pm 166 \text{ mg kg}^{-1}$) foram apresentadas pelo grupo Wagyu macho, como mostra a Tabela 5. As maiores frações de massa médias de Ca ($2402 \pm 645 \text{ mg kg}^{-1}$) e K ($1022 \pm 421 \text{ mg kg}^{-1}$) foram apresentadas pelo grupo Angus fêmea, enquanto a maior fração de massa média de Na ($470 \pm 197 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para o grupo Angus macho. Os valores encontrados para esses elementos foram superiores aos reportados por Armelin et al. (1998), que encontraram frações de massa para Ca, K e Na em bovinos saudáveis variando de 838 a 978 mg kg^{-1} , 100 a 265 mg kg^{-1} e 8 a 24 mg kg^{-1} , respectivamente. Neste trabalho, a fração de massa média geral ($n=200$) obtida para Ca, K e Na foi de 2213 mg kg^{-1} , 905 mg kg^{-1} e 437 mg kg^{-1} , respectivamente. Szigeti et al. (2015) reportaram valores para os elementos Ca e Na variando de 1722 a 2406 mg kg^{-1} e de 4165 a 4916 mg kg^{-1} , respectivamente. Os valores médios de Ca encontrados no presente estudo estão dentro da faixa reportada por esses autores. Considerando os valores médios obtidos por grupo, nota-se que Wagyu macho apresentou as frações de massa de Ca e K mais próximas da média geral, enquanto para Na o grupo Wagyu fêmea apresentou fração de massa mais próxima da média geral. A Figura 20 mostra as frações de massa médias dos macronutrientes Ca, K e Na em todos os grupos analisados. O teste de Wilcoxon foi aplicado para verificar diferenças estatisticamente significativas entre os grupos avaliados em nível de confiança de 95 %. As letras nas colunas indicam se há diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para os elementos químicos determinados entre os quatro grupos analisados. Considera-se que colunas com letra em comum não diferem entre si. Observa-se que para os elementos Ca e Na houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes grupos genéticos, com os grupos Angus macho e Angus fêmea diferindo dos grupos Wagyu macho e Wagyu fêmea. Para K, os grupos Angus macho e Angus fêmea diferiram significativamente ($p < 0,05$) dos grupos Wagyu macho e Wagyu fêmea. Para esse elemento, os grupos Wagyu macho e Wagyu fêmea também diferiram entre si ($p < 0,05$).

Figura 20 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Ca, K e Na determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina



Para os microelementos Co, Fe, Se e Zn, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes grupos analisados, conforme mostra a Figura 21. A fração de massa média de Co para os quatro grupos avaliados foi de $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$, com desvio padrão variando de $0,05$ a $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$. O grupo Angus fêmea apresentou o maior desvio padrão para Co, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos outros grupos analisados. A fração de massa de Fe variou de $116 \pm 159 \text{ mg kg}^{-1}$ no grupo Wagyu macho a $164 \pm 202 \text{ mg kg}^{-1}$ no grupo Angus macho. Para Se, a menor fração de massa média foi encontrada para os grupos Wagyu macho e Wagyu fêmea, sendo $0,46 \text{ mg kg}^{-1}$ com desvios-padrão de $0,08$ e $0,09 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto a maior fração de massa foi obtida para os grupos Angus macho e Angus fêmea, sendo $0,49 \text{ mg kg}^{-1}$ com desvios-padrão de $0,08$ a $0,09 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Para os elementos Fe e Se, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes grupos genéticos. Para Zn, o grupo Angus macho apresentou a menor fração de massa média ($119 \pm 9 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto a maior fração de massa média foi observada para o grupo Wagyu fêmea ($122 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$), que diferiu significativamente ($p < 0,05$) do grupo Angus macho.

Figura 21 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Co, Fe, Se e Zn determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina

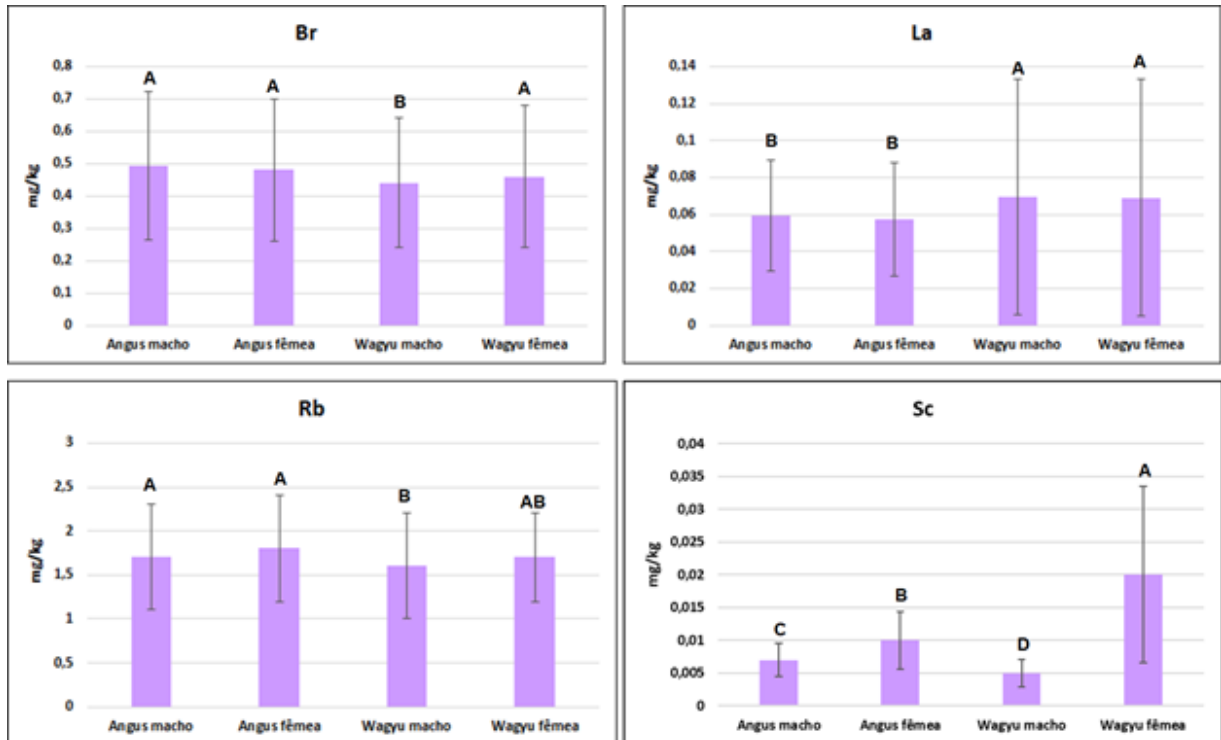


Os valores encontrados para os elementos Co e Fe foram superiores aos reportados por Armelin et al. (1998), que encontraram frações de massa variando de $0,042$ a $0,047 \text{ mg kg}^{-1}$ para Co e de 16 a 20 mg kg^{-1} para Fe. Os valores encontrados por esses autores para Se ($0,47 \pm 0,58 \text{ mg kg}^{-1}$) e Zn ($135 \pm 8 \text{ mg kg}^{-1}$) estão próximos aos valores encontrados neste trabalho. Szigeti et al. (2015) reportaram valores entre $7,02$ e $9,20 \text{ mg kg}^{-1}$ para Se e 80 e 84 mg kg^{-1} para Zn em amostras de pelo bovino. Essas faixas de frações de massa não corroboram os valores aqui apresentados. Em Mercan e Nurhayat (2019), os pelos bovinos apresentaram menores frações de massa de Fe, variando de 36 a 101 mg kg^{-1} . Para Zn, a fração de massa reportada por esses autores variou de 88 a 152 mg kg^{-1} , compreendendo os valores deste trabalho.

As maiores frações de massa médias de Br foram apresentadas pelos grupos Angus macho ($0,49 \pm 0,23 \text{ mg kg}^{-1}$) e Angus fêmea ($0,48 \pm 0,22 \text{ mg kg}^{-1}$). O grupo Wagyu macho diferiu significativamente ($p < 0,05$) de todos os outros grupos (Figura 22). A fração de massa média de La para os grupos Angus macho e Angus fêmea foi de $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$, com desvio padrão de $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$, diferindo significativamente dos grupos Wagyu macho e Wagyu fêmea, que apresentaram fração de massa média de $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$, com desvio padrão de $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$. A menor fração de massa média de Rb foi observada para o grupo Wagyu macho ($1,6 \pm 0,6 \text{ mg kg}^{-1}$), que diferiu significativamente dos grupos Angus macho e Angus fêmea. A maior fração de massa para esse elemento foi de $1,8 \pm 0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ para o grupo Angus fêmea. Para Sc, todos os grupos diferiram significativamente ($p < 0,05$), sendo que as frações de massa

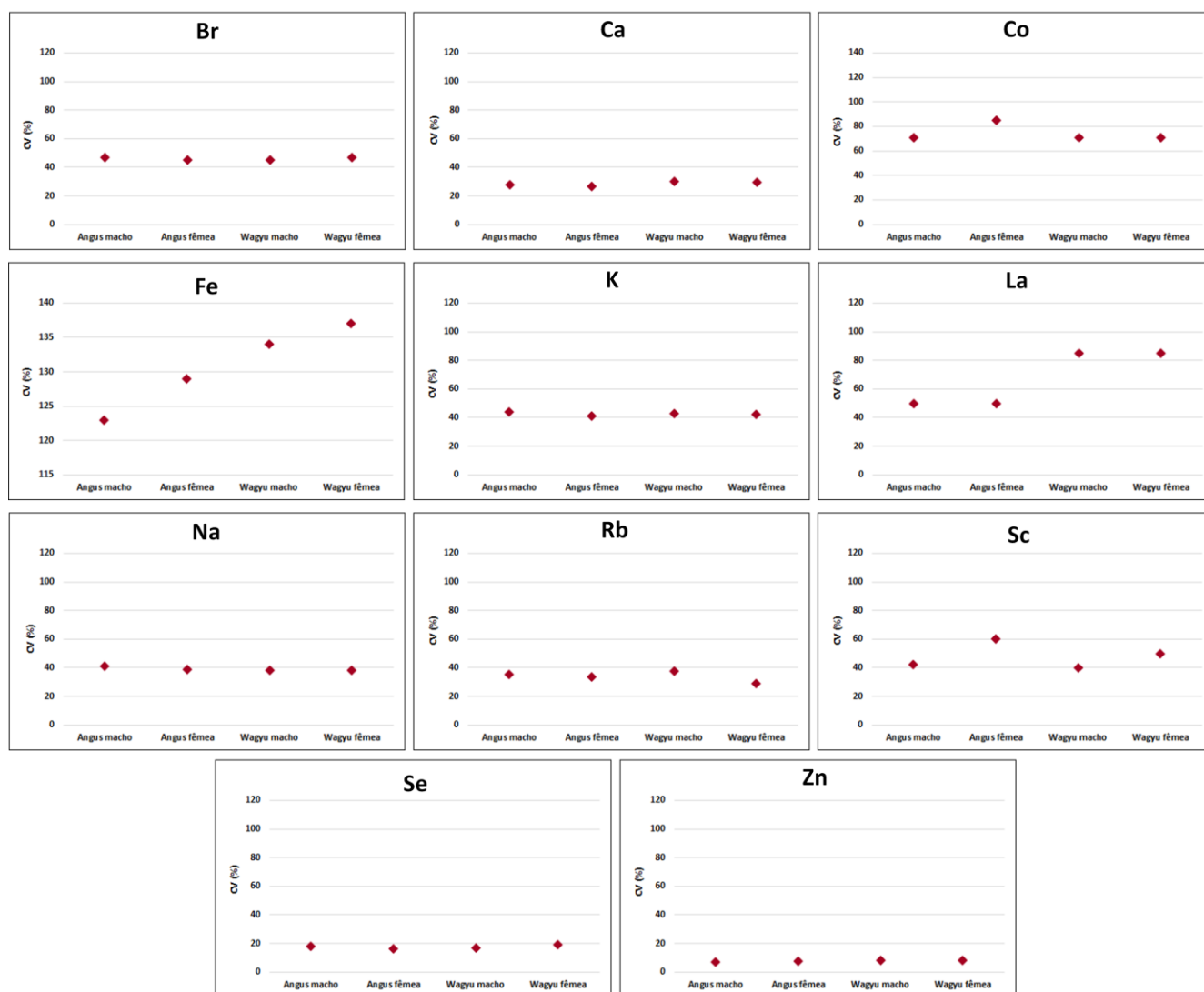
médias para esse elemento variaram de $0,005 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$ para o grupo Wagyu macho até $0,01 \pm 0,006 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea.

Figura 22 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Br, La, Rb e Sc determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina



Houve grande variabilidade dos resultados para os elementos químicos determinados em um mesmo grupo de animal, exceto para Zn. As maiores variações ocorreram para os elementos Br, Co, Fe, La e Sc, como mostra a Figura 23.

Figura 23 - Coeficiente de variação (%) dentro de cada grupo estudado para os elementos Br, Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Sc, Se e Zn determinados por NAA em amostras de pelos de cauda bovina (n = 50)

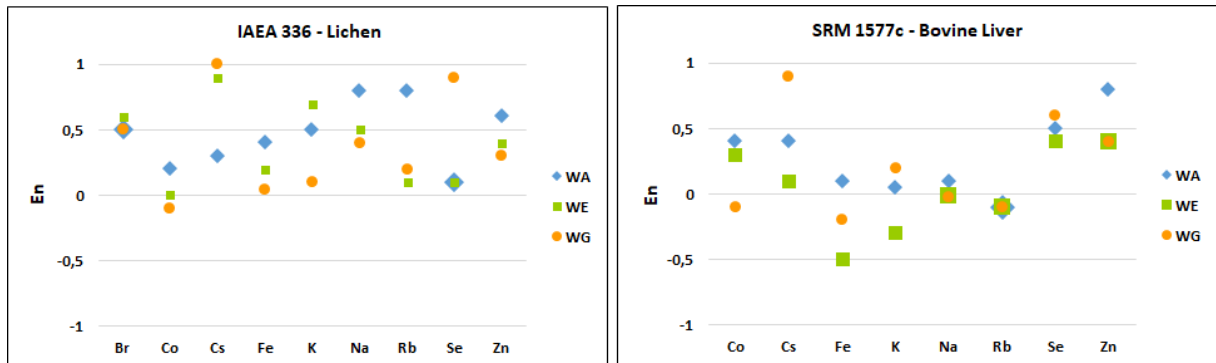


4.1.2. Análise de carne bovina

4.1.2.1. Controle da qualidade analítica

Observando-se os dois gráficos da Figura 24, nota-se que os valores de En score estão dentro dos limites admissíveis -1 e 1, para todos os elementos determinados nos três diferentes lotes de análise, mostrando a concordância entre os valores medidos com os respectivos certificados nos materiais de referência SRM 1577c e IAEA 336. Embora o resultado de Cs esteja no limite máximo para o material de referência IAEA 336 em um dos lotes analisados, para o SRM 1577c, no mesmo lote, o valor foi 0,9.

Figura 24 - En score para SRM 1577c Bovine Liver e IAEA-336 Trace and Minor Elements in Lichen analisados por NAA em 3 lotes de amostras de carne bovina



4.1.2.2. Perfil elementar da carne bovina

A NAA possibilitou a determinação dos elementos Br, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Se e Zn nas amostras de carne. Os resultados médios e o desvio padrão das frações de massa dos elementos químicos determinados para as amostras agrupadas em Angus macho, Angus fêmea, Wagyu macho e Wagyu fêmea (n=5) estão sumarizados na Tabela 7. Os resultados gerais para todas as amostras de carnes analisadas (n=20) estão sumarizados na Tabela 8, que contém os valores mínimos e máximos para cada elemento, média e desvio padrão. Os resultados estão expressos em massa seca, sendo a umidade residual dessas amostras em torno de 60 %.

Tabela 7 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de carne bovina de quatro grupos de animais (n=5)

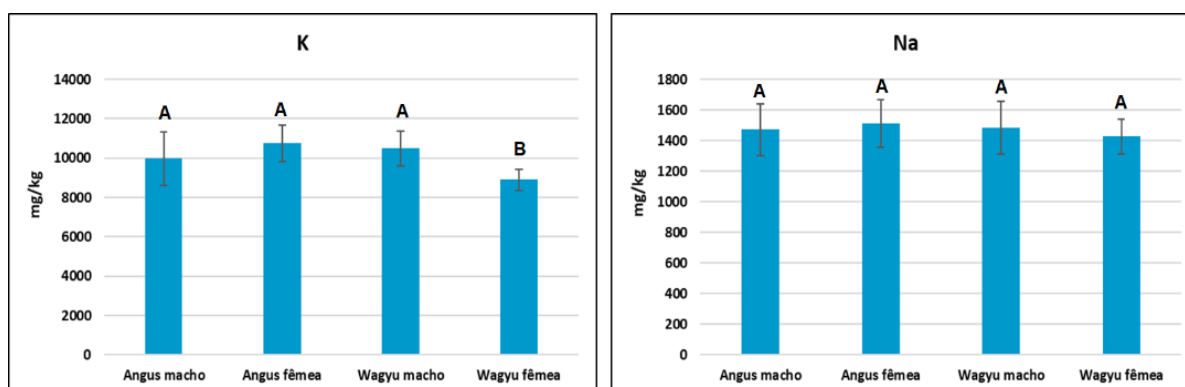
Elementos	Angus macho		Angus fêmea		Wagyu macho		Wagyu fêmea	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Br	1,8	0,1	1,8	0,2	1,8	0,1	1,9	0,3
Co	0,014	0,007	0,010	0,001	0,0103	0,0007	0,010	0,002
Cs	0,15	0,04	0,126	0,025	0,13	0,02	0,12	0,02
Fe	68	10	78	8	80	6	72	6
K	9966	1347	10744	945	10495	886	8899	532
Na	1470	170	1512	155	1483	171	1427	114
Rb	22	5	25	4	23	4	20	2
Se	0,39	0,06	0,38	0,05	0,40	0,05	0,35	0,04
Zn	123	17	123	10	134	13	126	15

Tabela 8 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão (n=20) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por NAA em amostras de carne bovina

Elementos	Mínimo	Máximo	Média	DP
Br	1,5	2,3	1,8	0,2
Co	0,008	0,028	0,011	0,004
Cs	0,09	0,22	0,13	0,03
Fe	59	89	74	9
K	7442	12121	10026	1202
Na	1211	1710	1473	157
Rb	14	30	23	4
Se	0,29	0,49	0,38	0,05
Zn	98	152	126	15

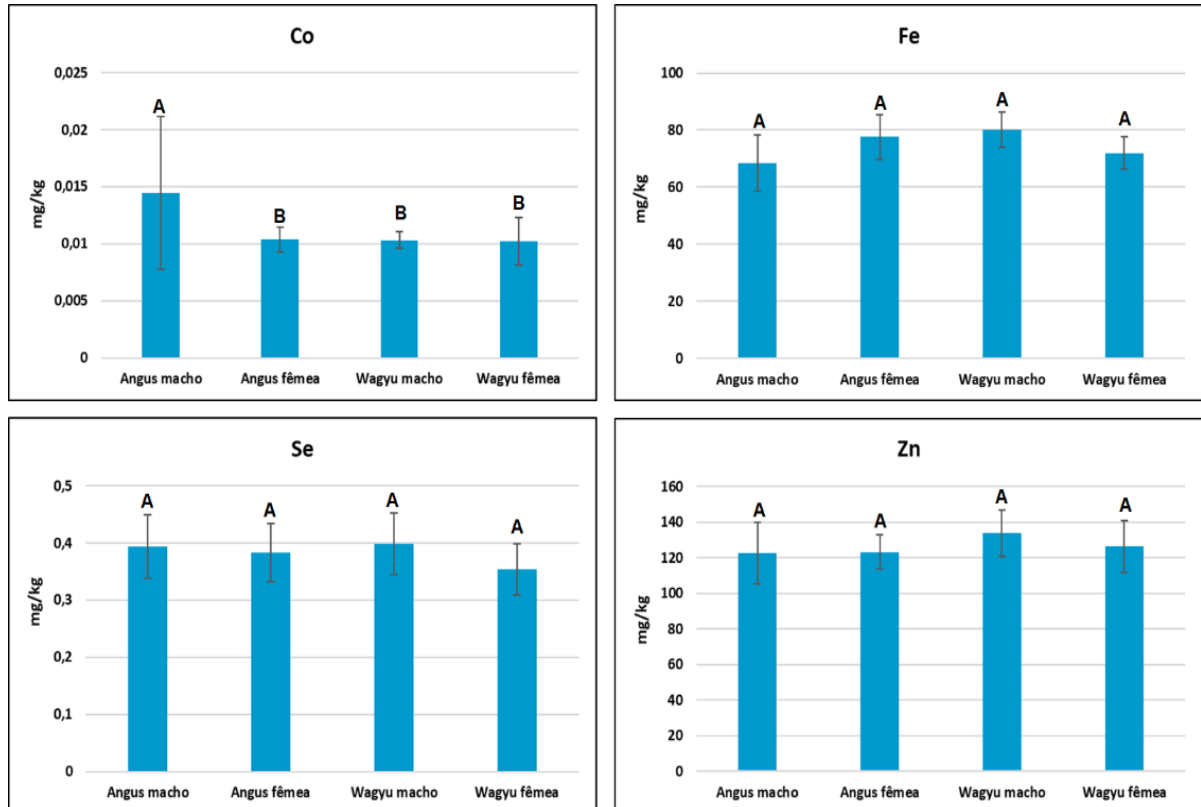
Considerando os macroelementos, as maiores frações de massa médias de K ($10744 \pm 945 \text{ mg kg}^{-1}$) e Na ($1512 \pm 155 \text{ mg kg}^{-1}$) foram observadas para o grupo Angus fêmea (Tabela 5). As menores frações de massa foram encontradas para o grupo Wagyu fêmea, sendo $8899 \pm 532 \text{ mg kg}^{-1}$ e $1427 \pm 114 \text{ mg kg}^{-1}$ para K e Na, respectivamente, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos para o elemento K (Figura 25). Na avaliação de Higuera, Silva e Nogueira (2019), as amostras de carne apresentaram frações de massa superiores às encontradas no presente estudo, sendo $12000 \pm 2000 \text{ mg kg}^{-1}$ para K e $3500 \pm 200 \text{ mg kg}^{-1}$ para Na. Considerando os valores médios obtidos por grupo, nota-se que Angus macho apresentou as frações de massa de K e Na mais próximas da média geral (n=5).

Figura 25 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de K e Na determinados por NAA em amostras de carne bovina



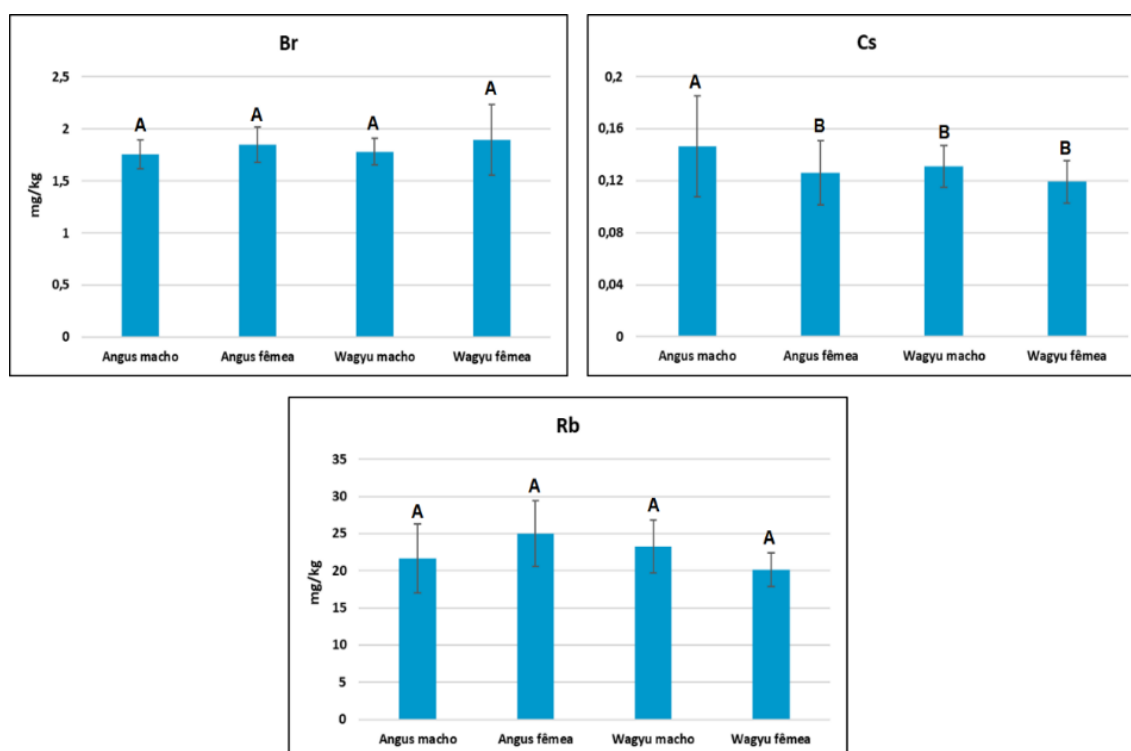
Para os microelementos, o grupo Angus macho apresentou a maior fração de massa média de Co ($0,014 \pm 0,007 \text{ mg kg}^{-1}$), diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos (Figura 26). Para o elemento Fe, a menor fração de massa média foi observada pelo grupo Angus macho ($68 \pm 10 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto a maior fração de massa média foi apresentada pelo grupo Wagyu macho ($80 \pm 6 \text{ mg kg}^{-1}$). Esses valores foram superiores aos reportados por Higuera, Silva e Nogueira (2019), que encontraram $48 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe na carne bovina. Para Se e Zn, o grupo Wagyu macho apresentou as maiores frações de massa, sendo $0,40 \pm 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ e $134 \pm 13 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Angus fêmea apresentou a menor fração de massa de Se ($0,35 \pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto para Zn a menor fração de massa foi observada para os grupos Angus macho e Angus fêmea, sendo 123 mg kg^{-1} com desvio padrão de 10 e 17 mg kg^{-1} , respectivamente. Os valores encontrados para Zn foram próximos aos de Higuera, Silva e Nogueira (2019), que obtiveram fração de massa de Zn para carne bovina de $121 \pm 3 \text{ mg kg}^{-1}$. Os elementos Fe, Se e Zn não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes grupos estudados.

Figura 26 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Co, Fe, Se e Zn determinados por NAA em amostras de carne bovina



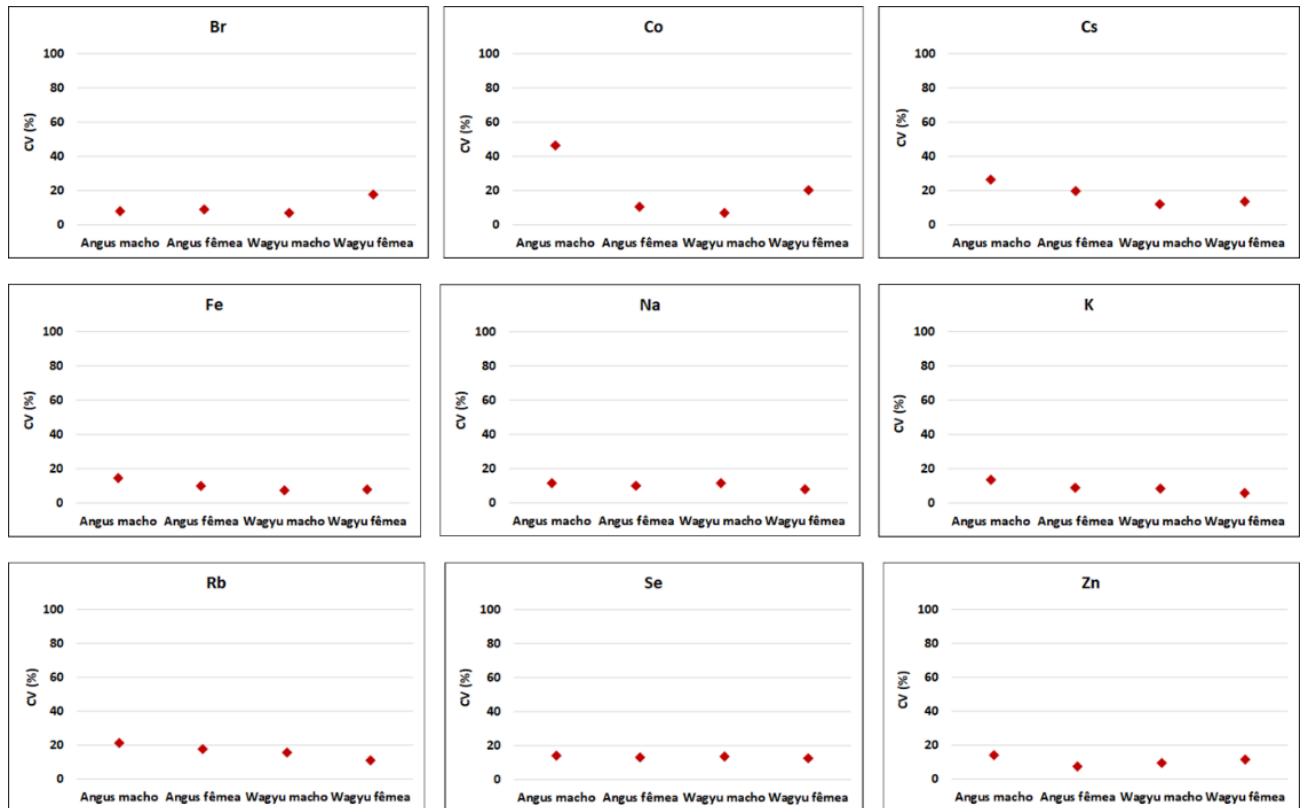
A menor fração de massa média de Br ($1,8 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para os grupos Angus macho e fêmea e Wagyu macho, com desvio padrão variando de 0,1 a 0,2 mg kg^{-1} . O grupo Wagyu fêmea apresentou as menores frações de massa médias para os elementos Cs ($0,12 \pm 0,02 \text{ mg kg}^{-1}$) e Rb ($20 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$). As maiores frações de massa médias de Br ($1,9 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e Rb ($25 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$) foram observadas para os grupos Wagyu fêmea e Angus fêmea, respectivamente. A maior fração de massa média de Cs ($0,15 \pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para o grupo Angus macho, que diferiu significativamente dos demais (Figura 27).

Figura 27 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Br, Cs e Rb determinados por NAA em amostras de carne bovina



A maior variabilidade dos resultados ocorreu para Co e Cs, dentro do grupo Angus macho, com coeficientes de variação de 46 % e 26 %, respectivamente (Figura 28). As menores variações ocorreram para os elementos Fe, K, Na, Se e Zn, com coeficientes de variação menores do que 15 %.

Figura 28 - Coeficiente de variação (%) dentro de cada grupo estudado para os elementos Br, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Se e Zn determinados por NAA em amostras de carne bovina (n = 5)



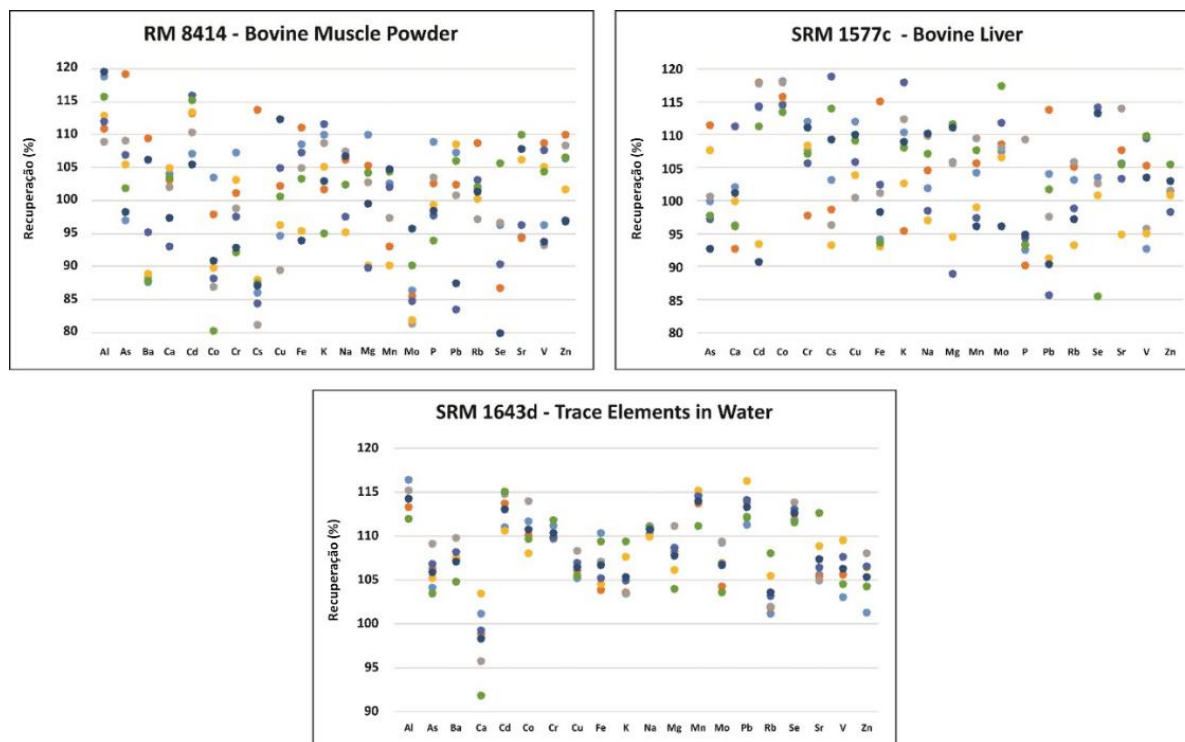
4.2. Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS)

4.2.1. Análise de pelos de cauda bovina

4.2.1.1. Controle da qualidade analítica

Recuperações entre 80 e 120 %, consideradas adequadas de acordo com a Food and Drug Administration (US FDA, 2020), foram alcançadas para os elementos químicos certificados no RM 8414, SRM 1577c e SRM 1643d (Figura 29). Recuperações entre 90 e 110 % em todos os lotes analisados foram obtidas para os elementos As, Ca, Cr, Na, Mg, Mn, P, Rb, Sr, V e Zn no RM 8414, para As, Na, Mn, P, Rb, V e Zn no SRM 1577c e para As, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mo, Rb, V e Zn no SRM 1643d.

Figura 29 - Recuperações (%) para os elementos químicos certificados no RM 8414, SRM 1577c e SRM 1643d determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda



4.2.1.2. Perfil elementar dos pelos de cauda bovina

A TQ-ICP-MS possibilitou a determinação dos elementos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Na, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Se, Sr, V e Zn nas amostras de pelos. As frações de massa médias e desvios-padrão dos elementos químicos determinados nos grupos Angus macho, Angus fêmea, Wagyu macho e Wagyu fêmea (n=50) estão sumarizados na Tabela 9. Os resultados gerais para todas as amostras de pelos analisadas (n=200) estão sumarizados na Tabela 10, que contém os valores mínimos e máximos para cada elemento, média e desvio padrão.

Tabela 9 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina de quatro grupos de animais (n=50)

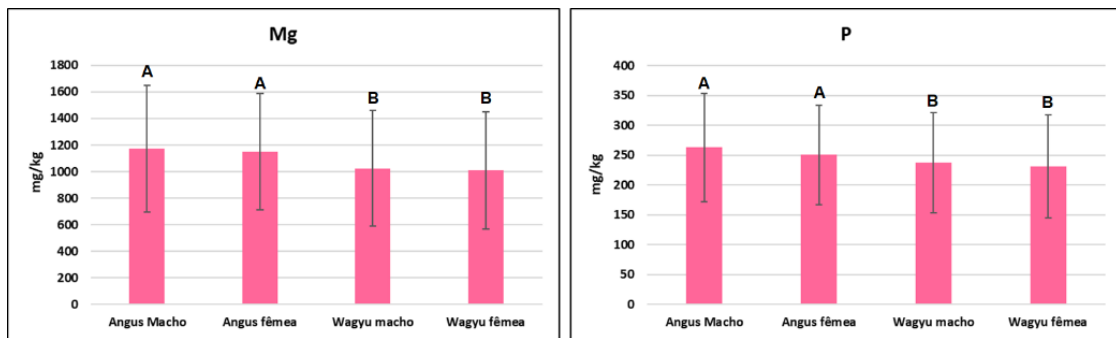
Elementos	Angus macho		Angus fêmea		Wagyu macho		Wagyu fêmea	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Al	38	21	38	20	40	33	40	33
As	0,06	0,03	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05
Ba	7	5	6	4	5	4	5	4
Ca	2412	711	2427	685	2283	699	2292	694
Cd	0,01	0,01	0,006	0,008	0,01	0,01	0,007	0,009
Co	0,07	0,05	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06
Cr	0,33	0,3	0,35	0,3	0,30	0,3	0,34	0,3
Cs	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
Cu	9	2	9	2	8	2	8	2
Fe	173	213	154	200	123	168	122	168
K	943	378	1008	387	874	369	895	371
La	0,06	0,03	0,06	0,03	0,07	0,06	0,07	0,06
Na	479	191	469	182	440	164	445	167
Mg	1174	478	1152	454	1023	436	1008	442
Mn	8	6	7	5	7	5	6	5
Mo	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1
P	263	90	251	90	238	84	231	87
Pb	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Rb	1,7	0,7	1,8	0,6	1,6	0,6	1,7	0,6
Se	0,48	0,09	0,47	0,09	0,45	0,09	0,45	0,09
Sr	18	9	18	8	17	8	16	8
V	1,4	0,6	1,3	0,7	1,2	0,6	1,2	0,6
Zn	123	8,7	125	9,2	125	10	126	10

Tabela 10 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão (n=200) das frações de massa (mg kg⁻¹) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina

Elementos	Mínimo	Máximo	Média	DP
Al	2	205	38	33
As	0,002	0,3	0,07	0,05
Ba	1	24	5	4
Ca	1038	4668	2253	701
Cd	0,0001	0,04	0,01	0,01
Co	0,01	0,2	0,07	0,06
Cr	0,002	1,4	0,3	0,3
Cs	0,001	0,09	0,04	0,02
Cu	2	17	8	2
Fe	13	978	118	165
K	349	1932	885	366
La	0,01	0,35	0,06	0,06
Na	164	953	446	163
Mg	229	2275	1011	431
Mn	1	23	6	5
Mo	0,08	0,9	0,4	0,1
P	56	627	232	85
Pb	0,01	0,9	0,2	0,1
Rb	0,6	3	2	0,6
Se	0,2	0,8	0,4	0,09
Sr	4	54	16	8
V	0,1	3	1	0,6
Zn	104	152	126	10

Considerando os macrominerais, as maiores frações de massa médias de Mg (1174 ± 478 mg kg⁻¹) e P (263 ± 90 mg kg⁻¹) foram observadas para Angus macho, enquanto as menores frações de massa médias de Mg (1008 ± 442 mg kg⁻¹) e P (231 ± 87 mg kg⁻¹) foram observadas para o grupo Wagyu fêmea. Para ambos os elementos, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos genéticos, como pode ser visto na Figura 30. O estudo de Armelin et al. (1998) mostrou frações de massa inferiores a este trabalho para Mg, variando de 148 a 180 mg kg⁻¹. Szigeti et al. (2015) também reportaram frações de massa inferiores para esse elemento, variando de 650 a 912 mg kg⁻¹.

Figura 30 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Mg e P determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina



Considerando os microminerais, para Cu as menores frações de massa médias ($8 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$) foram observadas para os grupos de animais Wagyu e as maiores frações de massa médias ($9 \pm 2 \text{ mg kg}^{-1}$) foram apresentadas pelos grupos de animais Angus. Szigeti et al. (2015) reportaram frações de massa de Cu variando de 5,66 a $7,58 \text{ mg kg}^{-1}$, próximas as encontradas (Tabela 9). Para Mn, o grupo Wagyu fêmea apresentou a menor fração de massa média ($6 \pm 5 \text{ mg kg}^{-1}$) enquanto o grupo Angus macho apresentou a maior ($8 \pm 6 \text{ mg kg}^{-1}$). Nos estudos de Armelin et al. (1998) e Mercan e Nurhayt (2019), foram encontradas frações de massa de Mn inferiores às reportadas neste estudo, sendo $1,86\text{-}6,86 \text{ mg kg}^{-1}$ e $1,92 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Todos os grupos apresentaram a mesma fração de massa média para Mo, sendo $0,4 \pm 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram observadas apenas para Mn, com o grupo Angus macho diferindo de todos os demais grupos (Figura 31).

Os elementos As, Cd e Pb, considerados contaminantes inorgânicos, apresentaram alta variabilidade nos resultados para os diferentes segmentos dos pelos de cauda. Para As, o grupo Angus macho apresentou a menor fração de massa média ($0,06 \pm 0,03 \text{ mg kg}^{-1}$), diferindo significativamente dos demais ($p < 0,05$), como mostra a Figura 32. Para Cd, as frações de massa médias variaram de $0,006 \pm 0,008 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea a $0,01 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus macho. Para este elemento, os dois grupos de animais machos diferiram significativamente dos grupos de animais fêmeas. Para Pb, a fração de massa média para todos os grupos foi de $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$, com desvio padrão de $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ para os grupos Angus e $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ para os grupos Wagyu. Os grupos Angus e Wagyu diferiram significativamente para esse elemento. No estudo de Patra et al. (2007), foram encontradas frações de massa superiores para Cd e Pb, para animais criados em áreas não industriais, variando de 0,31 a $1,67 \mu\text{g g}^{-1}$ para Cd e 1,18 a $6,87 \mu\text{g g}^{-1}$ para Pb.

Figura 31 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Cu, Mn e Mo determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina

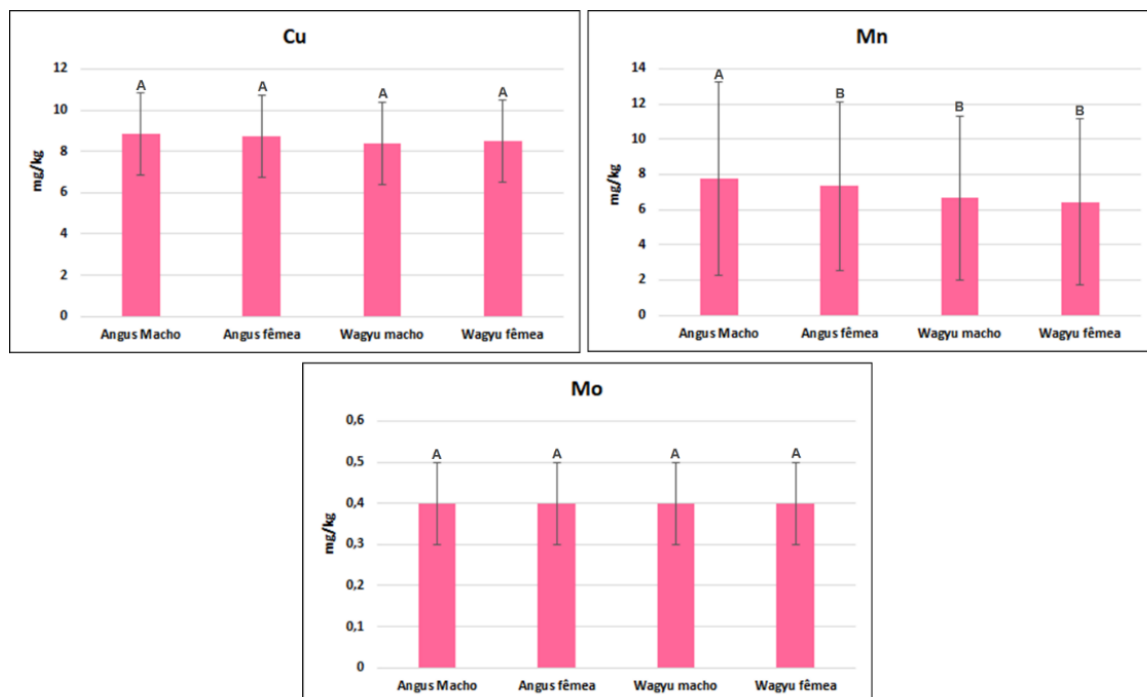
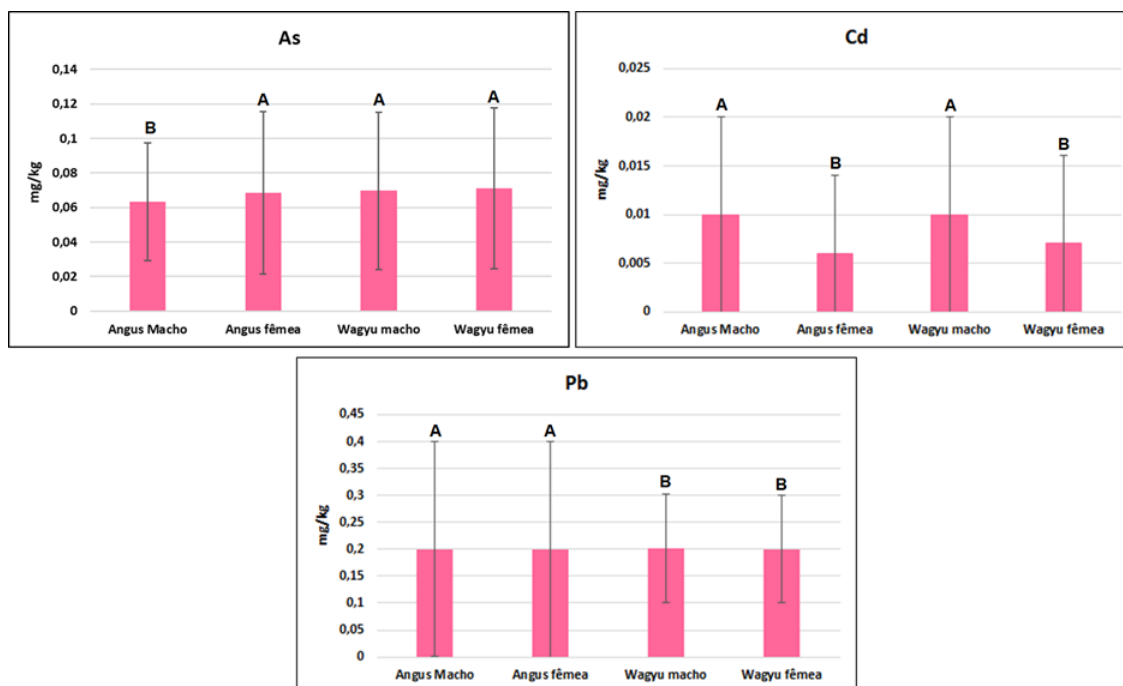
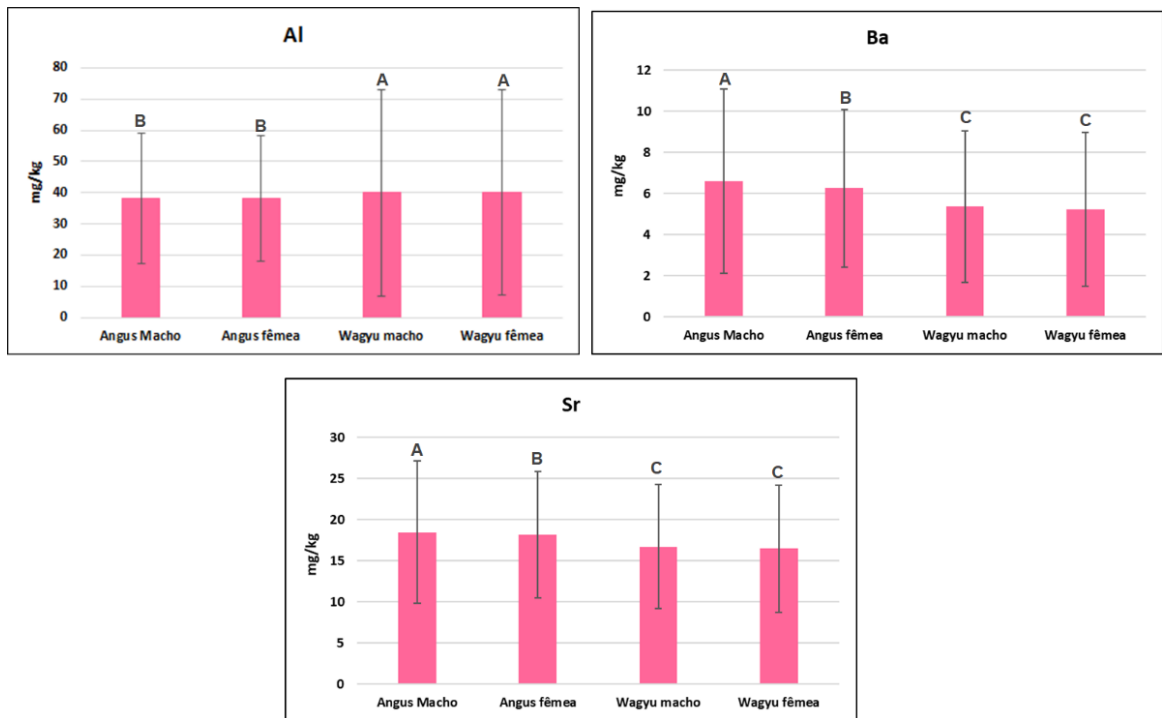


Figura 32 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de As, Cd e Pb determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina



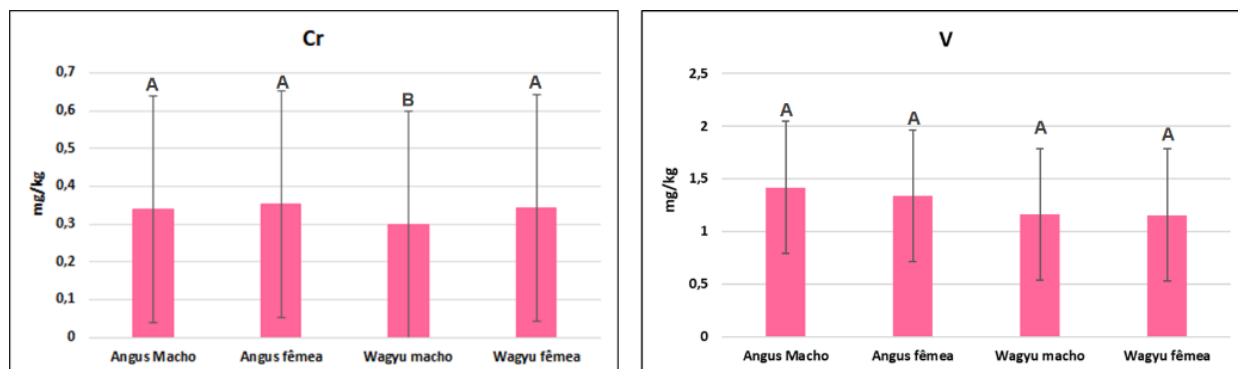
Para os elementos Al, Ba e Sr, as frações de massa médias gerais foram próximas para todos os grupos, entretanto, devido ao alto desvio padrão dos resultados, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$), como mostra a Figura 33.

Figura 33 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Al, Ba e Sr determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina



A maior fração de massa média de Cr ($0,35 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) foi apresentada pelo grupo Angus fêmea e a menor fração de massa média ($0,30 \pm 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para o grupo Wagyu macho, diferindo significativamente dos demais (Figura 34). Os valores de Cr foram superiores aos obtidos por Armelin et al. (1998), que variaram de $0,16$ a $0,18 \text{ mg kg}^{-1}$. Em contrapartida, foram inferiores aos do estudo conduzido por Mercan e Nurhayat (2019). As frações de massa médias de V variaram de $1,2 \pm 0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ para os grupos Wagyu macho e fêmea a $1,4 \pm 0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea, Para esse elemento, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos estudados.

Figura 34 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Cr e V determinados por TQ-ICP-MS em amostras de pelos de cauda bovina

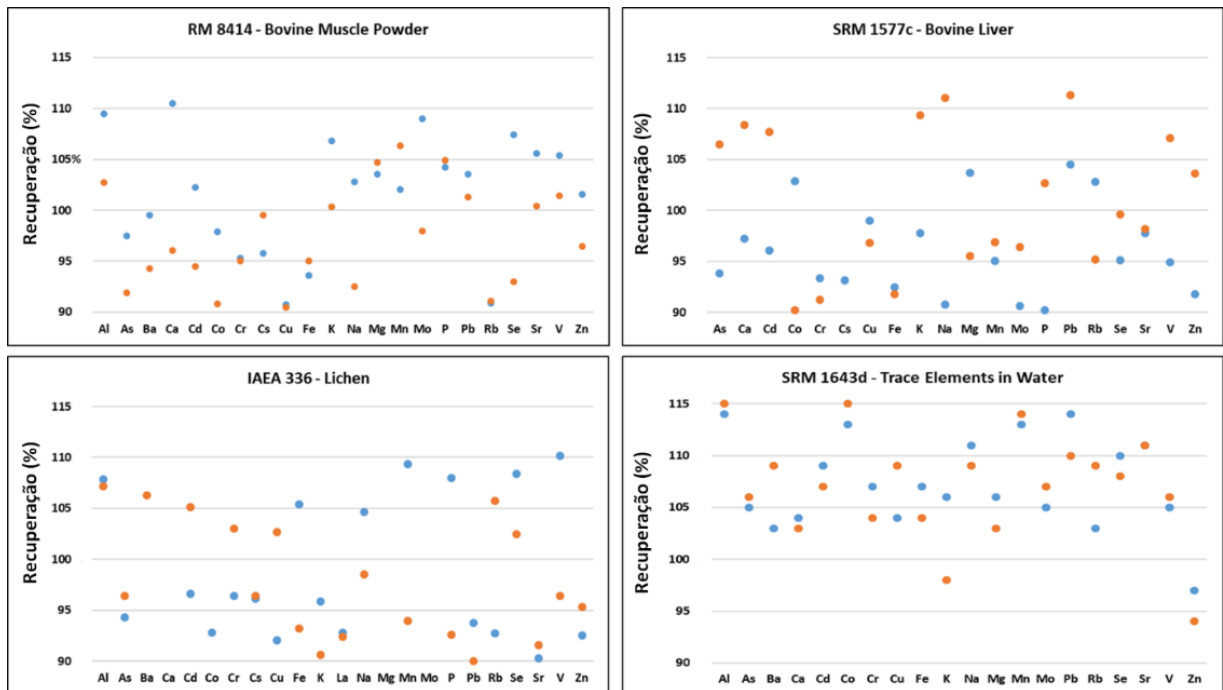


4.2.2. Análise de carne bovina

4.2.2.1. Controle da qualidade analítica

Recuperações entre 80 e 120 % foram alcançadas para os elementos certificados no RM 8414, SRM 1577c, IAEA 336 e SRM 1643d conforme mostrado na Figura 35. Com exceção do elemento Ba em um dos lotes analisados, para o RM 8414 todas as medidas realizadas obtiveram recuperações entre 90 e 110 %. No SRM 1577c, com exceção de Na e Pb em um dos lotes de análise, foram obtidas recuperações entre 90 e 110 %. Para IAEA 336 todas as medidas realizadas obtiveram recuperações entre 90 e 110 %. Recuperações entre 90 e 110 % foram obtidas para os elementos As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mo, Rb, Se, Sr, V e Zn no SRM 1643d.

Figura 35 - Recuperações (%) para os elementos químicos certificados no RM 8414, SRM 1577c, IAEA 336 e SRM 1643d determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina



4.2.2.2. Perfil elementar da carne bovina

TQ-ICP-MS possibilitou a determinação dos elementos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Na, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Se, Sr, V e Zn nas amostras de carne bovina. Os resultados médios e o desvio padrão das frações de massa dos elementos químicos determinados nos grupos Angus macho, Angus fêmea, Wagyu macho e Wagyu fêmea (n=5) estão sumarizados na Tabela 11. Os resultados gerais para todas as amostras de carne bovina analisadas (n=20) estão sumarizados na Tabela 12, que contém os valores mínimos e máximos, média e desvio padrão para cada elemento.

Tabela 11 - Frações de massa médias e desvios-padrão (mg kg⁻¹) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina de quatro grupos de animais (n=5)

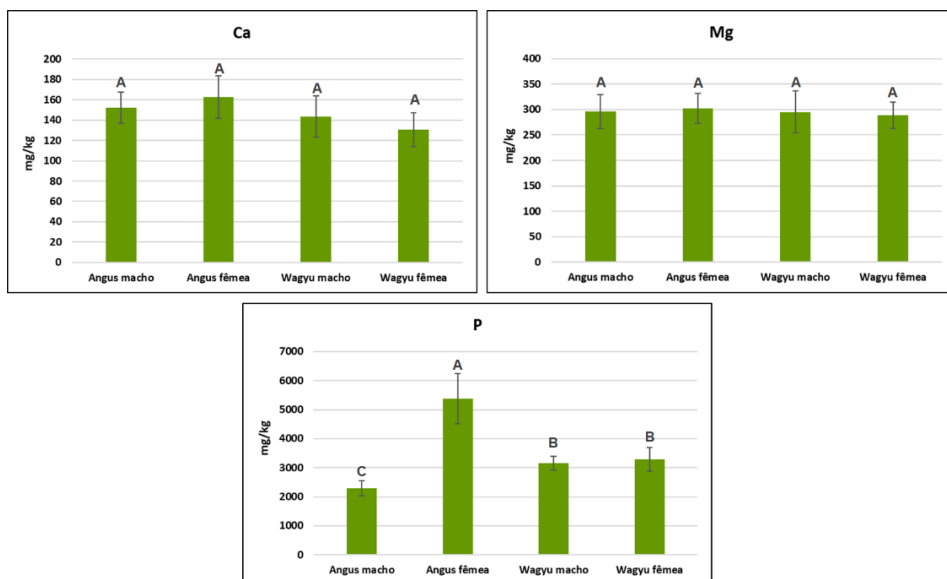
Elementos	Angus macho		Angus fêmea		Wagyu macho		Wagyu fêmea	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Al	31	9	29	35	28	24	39	24
As	0,016	0,004	0,03	0,02	0,02	0,01	0,014	0,008
Ba	0,034	0,025	0,071	0,095	0,030	0,012	0,038	0,029
Ca	152	15	163	21	144	20	131	17
Cd	0,0022	0,0002	0,0029	0,0008	0,0022	0,0006	0,0026	0,0003
Co	0,012	0,006	0,010	0,001	0,009	0,001	0,009	0,002
Cr	0,19	0,30	0,032	0,007	0,036	0,006	0,026	0,003
Cs	0,15	0,03	0,14	0,03	0,14	0,02	0,13	0,01
Cu	1,4	0,2	2,6	0,9	1,7	0,6	1,9	0,8
Fe	64	7	73	9	76	5	66	4
K	10063	1152	11152	809	10133	782	8576	669
La	0,0030	0,0003	0,0025	0,0002	0,0030	0,0003	0,0032	0,0001
Na	1414	155	1530	157	1416	99	1398	183
Mg	296	33	302	29	296	42	289	26
Mn	0,44	0,01	0,36	0,05	0,39	0,10	0,39	0,08
Mo	0,527	0,007	0,52	0,04	0,52	0,02	0,52	0,02
P	2287	264	5387	863	3158	238	3286	409
Pb	0,0060	0,0009	0,003	0,002	0,007	0,002	0,003	0,002
Rb	21	5	24	4	23	4	19	2
Se	0,38	0,05	0,35	0,05	0,38	0,04	0,35	0,02
Sr	0,018	0,010	0,025	0,017	0,020	0,011	0,022	0,013
V	0,0050	0,0022	0,0016	0,0006	0,0039	0,0013	0,0027	0,0012
Zn	121	12	122	5	131	14	127	15

Tabela 12 - Valores mínimo, máximo, média e desvio padrão (n=20) das frações de massa (mg kg^{-1}) dos elementos químicos determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina

Elementos	Mínimo	Máximo	Média	DP
Al	1	90	32	25
As	0,004	0,066	0,019	0,015
Ba	0,01	0,26	0,04	0,05
Ca	112	190	147	22
Cd	0,0012	0,0037	0,0025	0,00058
Co	0,007	0,02	0,010	0,004
Cr	0,014	0,799	0,07	0,17
Cs	0,10	0,20	0,14	0,026
Cu	1,2	3,7	1,9	0,8
Fe	53	86	70	8
K	7584	12303	9981	1266
La	0,0023	0,0033	0,0029	0,0003
Na	1111	1781	1439	161
Mg	243	376	296	34
Mn	0,20	0,47	0,40	0,07
Mo	0,47	0,57	0,52	0,03
P	1953	7969	3530	1750
Pb	0,00096	0,008	0,005	0,002
Rb	13	31	22	4
Se	0,26	0,47	0,37	0,05
Sr	0,006	0,056	0,021	0,013
V	0,0008	0,0078	0,003	0,002
Zn	101	147	125	13

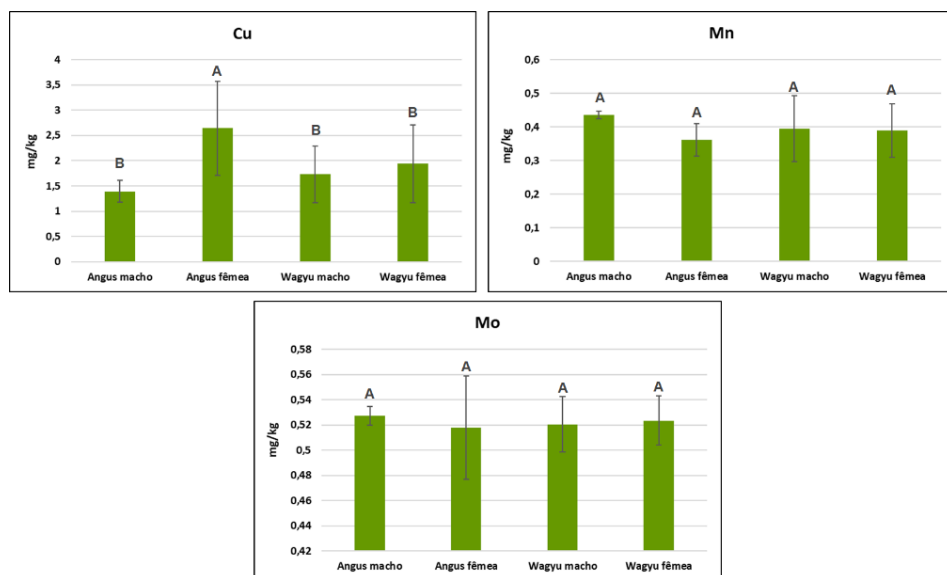
Considerando os macroatmentos, as frações de massa de Ca variaram de $131 \pm 17 \text{ mg kg}^{-1}$ para Wagyu fêmea a $163 \pm 21 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea. Observando os valores médios por grupo, Wagyu macho e Angus macho apresentaram frações de massa mais próximas da média geral, ou seja, $144 \pm 20 \text{ mg kg}^{-1}$ e $152 \pm 15 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Para Mg, os grupos Angus macho e Wagyu macho apresentaram a mesma fração de massa média (296 mg kg^{-1}), porém com desvios-padrão de 42 mg kg^{-1} e 33 mg kg^{-1} , respectivamente. A menor fração de massa de Mg ($289 \pm 26 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para Wagyu fêmea. A maior fração de massa de P foi obtida para Angus fêmea ($5387 \pm 863 \text{ mg kg}^{-1}$), que diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos (Figura 36). A menor fração de massa de P ($2287 \pm 264 \text{ mg kg}^{-1}$) foi apresentada pelo grupo Angus macho, que diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos. Na avaliação de Higuera, Silva e Nogueira (2019), a carne bovina apresentou fração de massa mais elevada de Ca ($205 \pm 15 \text{ mg kg}^{-1}$), Mg ($700 \pm 28 \text{ mg kg}^{-1}$) e P ($6000 \pm 300 \text{ mg kg}^{-1}$). Como mencionado anteriormente, vale ressaltar que o teor de minerais na carne bovina pode variar de acordo com o corte escolhido.

Figura 36 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Ca, Mg e P determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina



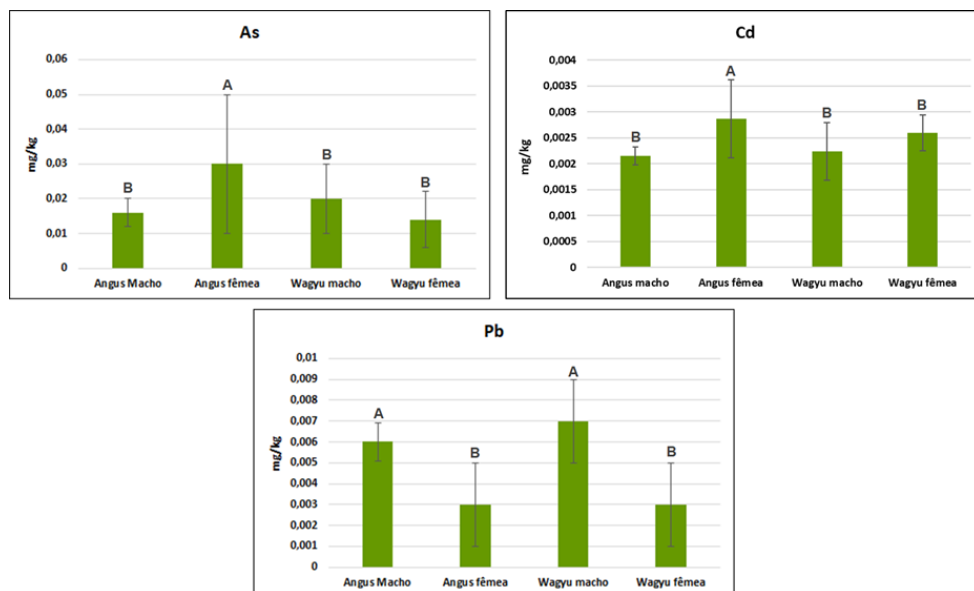
Considerando os microminerais, para Cu a menor fração de massa média ($1,4 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para o grupo Angus macho e a maior ($2,6 \pm 0,9 \text{ mg kg}^{-1}$) para o grupo Angus fêmea, que diferiu significativamente dos demais (Figura 37). A fração de massa média para Wagyu fêmea foi igual à média geral ($1,9 \pm 0,8 \text{ mg kg}^{-1}$). O grupo Angus fêmea apresentou a menor fração de massa média ($0,36 \pm 0,05 \text{ mg kg}^{-1}$) de Mn, enquanto o grupo Angus macho apresentou a maior ($0,44 \pm 0,01 \text{ mg kg}^{-1}$). Os grupos que mais se aproximaram da média geral ($0,39 \text{ mg kg}^{-1}$) foram Wagyu macho e fêmea. Todos os grupos apresentaram fração de massa média de Mo próxima à média geral ($0,52 \pm 0,03 \text{ mg kg}^{-1}$).

Figura 37 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Cu, Mn e Mo determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina



Considerando os contaminantes inorgânicos, a menor fração de massa média de As ($0,014 \pm 0,008 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para Wagyu fêmea. Angus fêmea apresentou a maior fração de massa média para o elemento ($0,03 \pm 0,02 \text{ mg kg}^{-1}$) diferindo significativamente dos demais grupos (Figura 38). Para o elemento Cd, as menores frações de massa foram observadas para o grupo Angus macho e Wagyu macho, sendo $0,0022 \text{ mg kg}^{-1}$ com desvio padrão de $0,0002$ e $0,0006 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. A maior fração de massa foi apresentada pelo grupo Angus fêmea, que diferiu significativamente dos demais ($p < 0,05$). Para Pb, os grupos Angus fêmea e Wagyu fêmea apresentaram a menor fração de massa média ($0,003 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto a maior fração de massa média foi obtida pelo grupo Wagyu macho ($0,007 \pm 0,002 \text{ mg kg}^{-1}$). Diferenças significativas foram encontradas entre os sexos para esse elemento. Apesar desses contaminantes inorgânicos terem sido quantificados nas amostras de carne, todas as concentrações estão abaixo dos limites permitidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2021), que estabelece os limites para As, Cd e Pb, em amostras in natura, de $0,5$, $0,05$ e $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

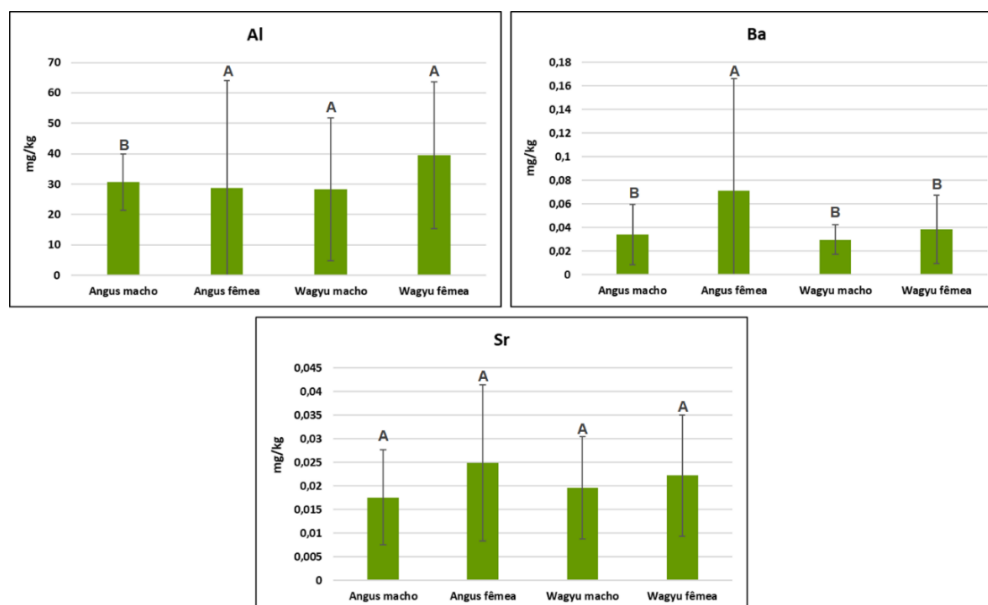
Figura 38 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de As, Cd e Pb determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina



Para o elemento Al, as frações de massa médias variaram de $29 \pm 35 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea a $39 \pm 24 \text{ mg kg}^{-1}$ para Wagyu fêmea. Devido à alta variabilidade dos resultados desse elemento, o grupo Angus macho diferiu significativamente dos demais ($p < 0,05$), como mostra a Figura 39. Para o elemento Ba, o grupo Angus fêmea apresentou a maior fração de massa média ($39 \pm 24 \text{ mg kg}^{-1}$), diferindo significativamente dos demais. Para Sr, as frações de massa

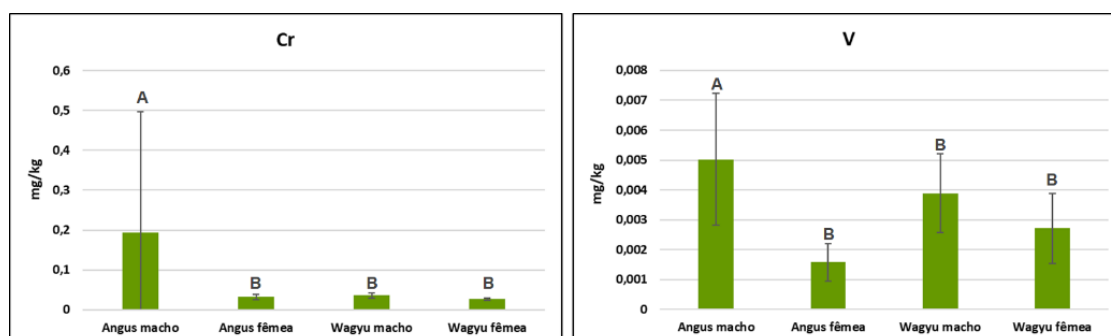
variaram de $0,018 \pm 0,010 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus macho a $0,025 \pm 0,017 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus fêmea. Como as amostras de carne bovina foram moídas em moinho de bolas planetário com câmara de alumina, possivelmente parte da fração de massa de Al medida nessas amostras pode ser proveniente dessa fonte de contaminação.

Figura 39 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Al, Ba e Sr determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina



A maior fração de massa média de Cr ($0,19 \pm 0,30 \text{ mg kg}^{-1}$) foi apresentada pelo grupo Angus macho que diferiu significativamente dos demais (Figura 40). A menor fração de massa média ($0,026 \pm 0,003 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observada para o grupo Wagyu fêmea. Para V, as frações de massa médias variaram de $0,0016 \pm 0,0006 \text{ mg kg}^{-1}$ para o grupo Angus fêmea a $0,0050 \pm 0,0022 \text{ mg kg}^{-1}$ para Angus macho, que diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos demais grupos.

Figura 40 - Fração de massa média e desvio padrão (mg kg^{-1}) de Cr e V determinados por TQ-ICP-MS em amostras de carne bovina

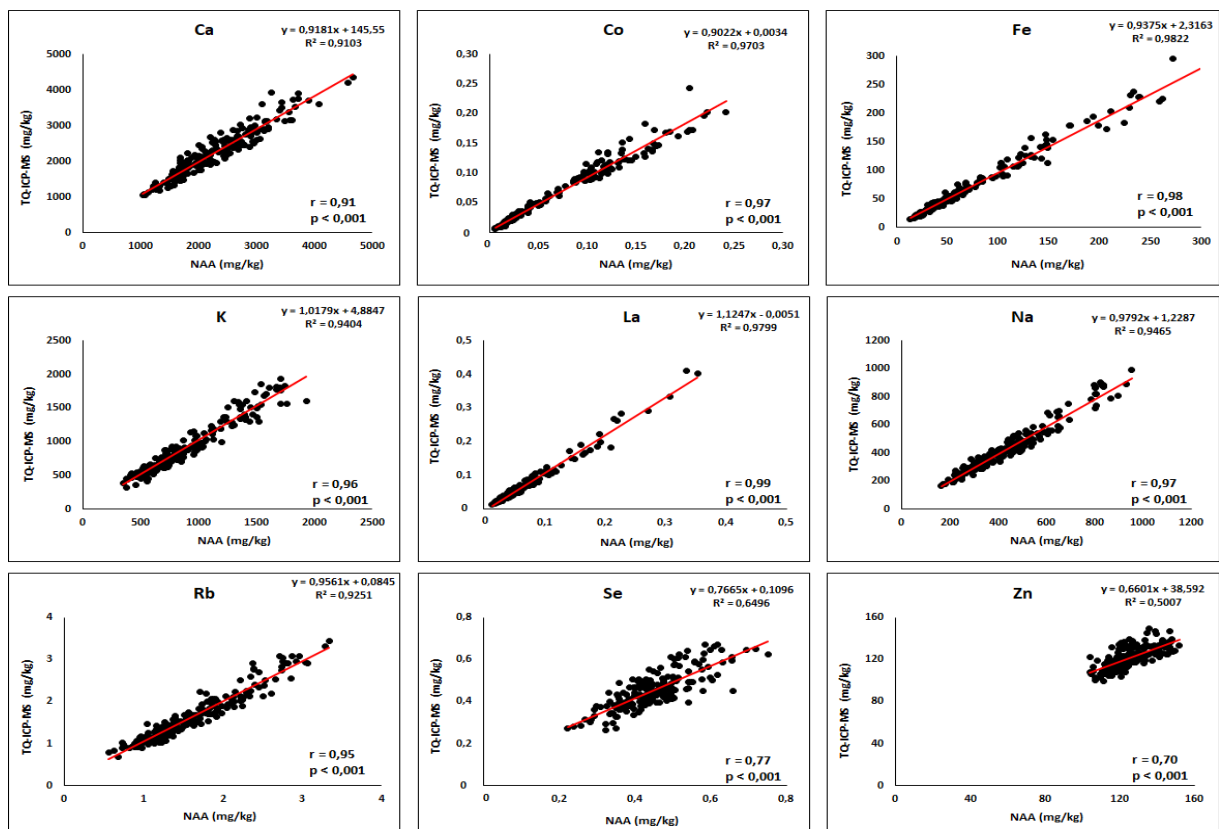


4.3. Comparação entre os resultados obtidos com as técnicas NAA e TQ-ICP-MS para as amostras de pelos de cauda bovina

Os elementos Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Se e Zn foram determinados por ambas as técnicas analíticas nas amostras de pelos de cauda. A NAA permite a determinação de elementos químicos diretamente em amostras sólidas (GREENBERG; BODE; FERNANDES, 2011), podendo ser utilizada para validar métodos analíticos afetados pelo efeito de matriz. Assim, os resultados obtidos por essa técnica foram utilizados para avaliar a eficiência do procedimento de abertura das amostras de pelos de cauda e, conseqüentemente, a qualidade dos resultados obtidos por TQ-ICP-MS, já que os materiais de referência RM 8414 e SRM 1577c possuem matrizes distintas da matriz das amostras. A concordância entre os resultados das medições reforça o potencial da NAA como ferramenta para validação de métodos analíticos afetados pelo efeito matriz (FLORES et al., 2012).

As correlações residuais parciais obtidas através da MANOVA e do Coeficiente de Correlação de Pearson, com o valor de significância correspondente, são mostradas na Figura 41.

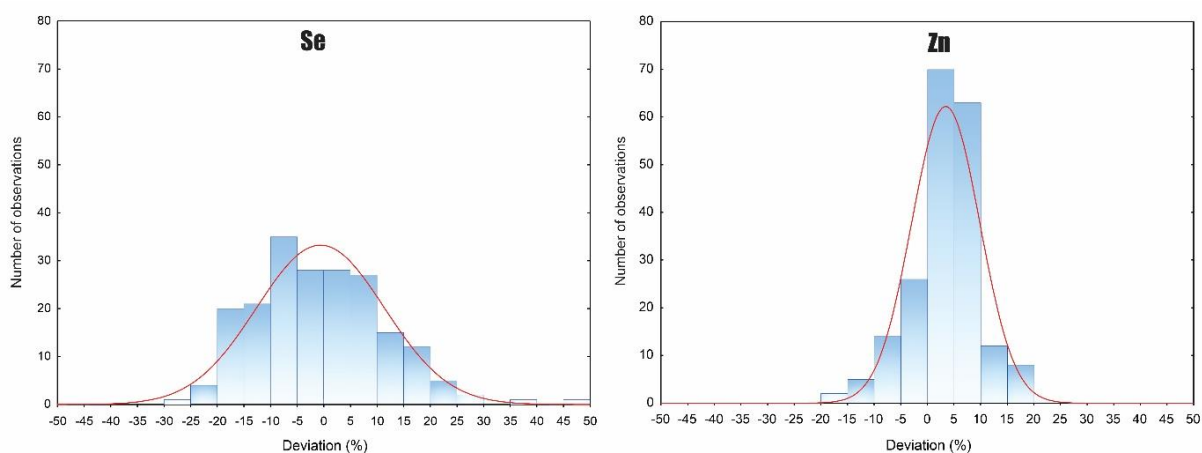
Figura 41 - Relação entre os resultados obtidos por NAA e TQ-ICP-MS



Correlações altamente significativas ($p < 0,001$) foram encontradas para todos os elementos químicos. La apresentou alto coeficiente de correlação ($r = 0,99$), demonstrando a boa concordância entre as técnicas. Fe, K, Na e Rb apresentaram coeficiente de correlação $r \geq 0,95$, Se de 0,77 e Zn de 0,70. As equações de correlação linear para os resultados de ambas as técnicas mostraram a boa concordância para Ca, Co, Fe, K, La, Na e Rb, capazes de explicar respectivamente 91 %, 97 %, 98 %, 94 %, 98 %, 95 % e 93 % da variância total, com inclinação entre 0,90 e 1,12.

Embora as correlações lineares observadas na Figura 41 indiquem que a concordância entre os resultados de NAA e TQ-ICP-MS para Se e Zn não foram tão boas quanto as observadas para os outros elementos, a variabilidade total entre as amostras dos 20 animais para cada elemento deve ser considerada para uma avaliação mais cuidadosa. Tomando todas as 200 amostras, o desvio padrão relativo para Zn foi tão baixo quanto 8,5 % e para Se foi 20 %, os dois valores mais baixos entre os nove elementos. Tal variabilidade contribui para o mau ajuste do modelo linear. Apesar disso, o mau ajuste não implica necessariamente em uma má concordância entre os resultados da NAA e TQ-ICP-MS. De fato, os desvios calculados para os resultados de TQ-ICP-MS tomando como referência os valores de NAA (Figura 42) demonstram uma concordância muito boa para o Zn, com a maioria dos valores entre -10 % e 10 % de desvio. Para Se, os valores médios medidos são apenas cinco vezes o limite de detecção calculado (em torno de 0,10 mg/kg) para NAA, portanto alguns valores foram medidos com incertezas expandidas relativas de até 30 %, o que explica parcialmente os maiores desvios.

Figura 42 - Desvio (%) dos valores determinados por TQ-ICP-MS para Se e Zn considerando os resultados da NAA como valores de referência (n=200)



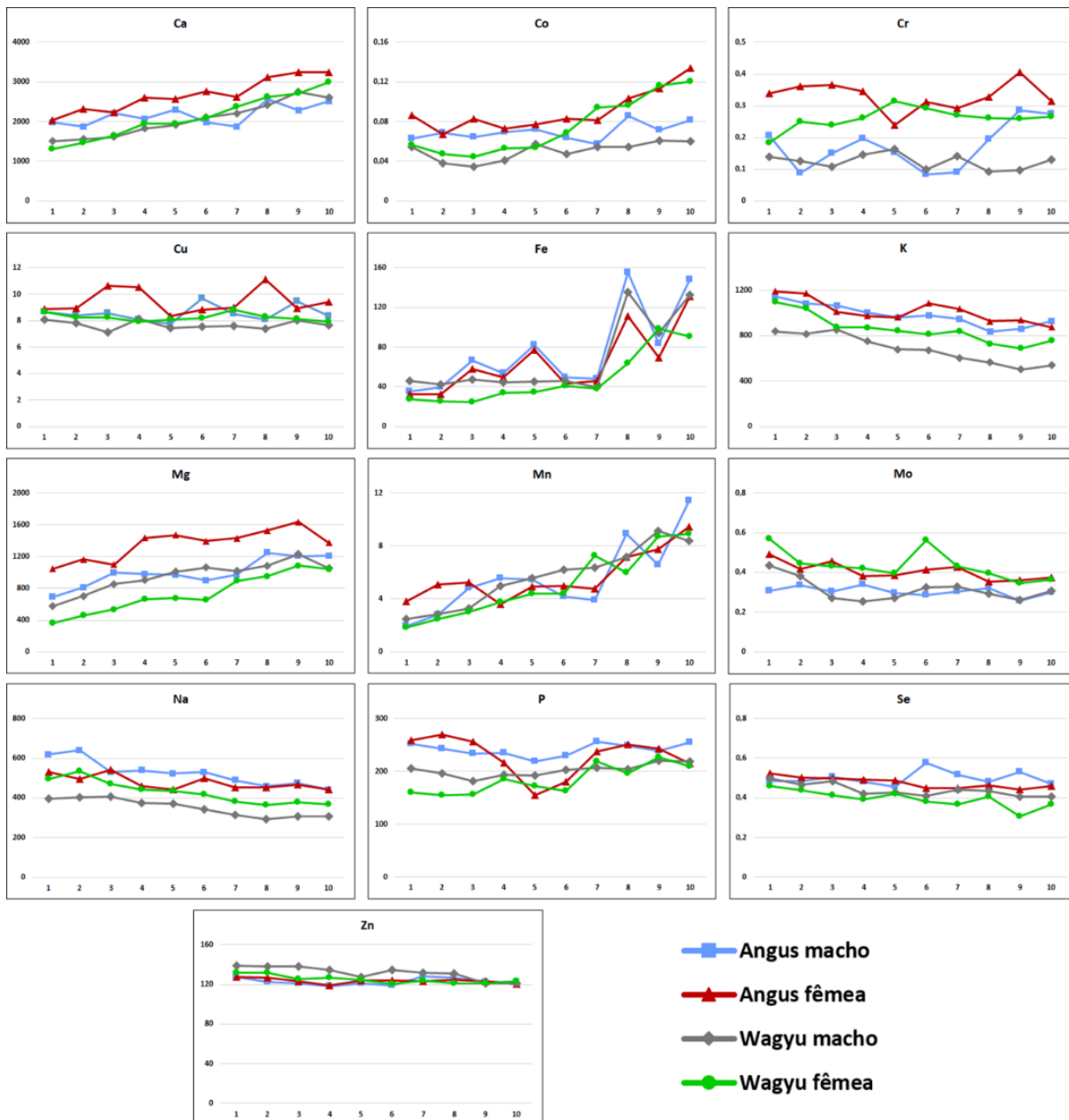
4.4. Estudo do acúmulo de elementos químicos nos pelos de cauda bovina

Buscando avaliar o potencial dos pelos como um biomonitor não invasivo da composição mineral da carne bovina, a composição mineral dos dez segmentos de pelos resultantes da cauda de cada um dos vinte animais foi estudada. A segmentação da cauda dos animais a cada centímetro foi realizada pois, de acordo com a taxa de crescimento reportada na literatura (FISHER et al., 1985; MIROSHNIKOV et al., 2015), seria possível averiguar o acúmulo de elementos químicos nos pelos referente aos últimos 6-9 meses da vida do animal. Dessa forma, buscou-se correlacionar a fração de massa dos elementos químicos presentes nos pelos e na carne bovina, para indicar em qual momento anterior ao abate os pelos poderiam representar a composição mineral da carne bovina. Com base nos resultados obtidos por TQ-ICP-MS, levando em consideração os elementos fisiologicamente importantes descritos na Tabela 3, a observação da distribuição dos elementos químicos ao longo dos dez centímetros de comprimento dos pelos de cauda mostra algumas tendências (Figura 43).

O primeiro segmento representa os pelos mais próximos do metabolismo ativo e o décimo segmento representa os pelos que já cresceram há, pelo menos, 6 ou 9 meses, de acordo com a taxa de crescimento. Em geral, Ca, Co, Mg e Mn se acumularam nos pelos durante o crescimento, com aumento da fração de massa ao longo do tempo, enquanto K e Na apresentaram tendência de diminuição. As maiores frações de massa de Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Na, Mg, Mn, Mo, P e Se foram encontradas em animais Angus.

Durante a operação de alimentação, os animais avaliados neste estudo receberam ração especialmente formulada para atender as exigências nutricionais de suas raças (Angus e Wagyu). Mesmo assim, foram observadas variações nas frações de massa dos minerais para machos e fêmeas dentro de cada raça ao longo do tempo. Isso indica a necessidade de maior monitoramento dos animais, pois a forma como os componentes da dieta são metabolizados pode variar de indivíduo para indivíduo, refletindo na composição do organismo animal no momento do abate.

Figura 43 - Variações das frações de massa dos elementos químicos (mg kg^{-1}) ao longo dos segmentos dos pelos de cauda bovina



O estudo realizado por Mazola et al., (2019) avaliou a composição química de rações formuladas especificamente para as raças Angus e Wagyu, classificadas como Dieta A e Dieta B, respectivamente. Com exceção de Cr, Se e Zn, as frações de massa calculadas nessas rações para os demais elementos químicos determinados (Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Na, Rb, Sc, Sm, Sr e Th) foram maiores na Dieta B. Essas diferenças possibilitaram a classificação das dietas por modelos de machine learning, sendo os elementos Cs, Se e Sc as variáveis com maior poder para discriminação. Quando avaliadas as frações de massa dos elementos presentes nos pelos e nas rações, os animais Wagyu, que se alimentaram com as

rações “mais concentradas” apresentaram os maiores teores de Co, Cs, Sc e Zn nos pelos da cauda. Apesar da Dieta B ser a mais concentrada, os animais Angus, que se alimentaram da dieta A apresentaram as maiores concentrações dos elementos químicos nos pelos, sugerindo menor aproveitamento dos minerais pelo organismo em relação aos animais Wagyu. No caso específico do Se, os animais do grupo Angus recebiam a maior dosagem de Se nas rações, porém, apresentaram a menor concentração de Se na carne e a maior concentração de Se nos pelos de cauda. O oposto ocorreu com os animais do grupo Wagyu que recebiam menor dosagem de Se nas rações e apresentaram maior concentração do mineral na carne. Além das diferenças metabólicas entre as raças, isso pode ser explicado parcialmente pela fonte de Se ofertada aos animais. O grupo Wagyu foi suplementado com fonte de Se orgânico, na forma de selenometionina, sendo essa duas vezes mais absorvível que o selenito, forma mais comum do Se inorgânico, o qual foi ofertado ao grupo Angus na suplementação, indicando a influência da fonte fornecida para melhor aproveitamento do mineral no organismo.

4.5. Correlação dos elementos químicos nos pelos de cauda e na carne bovina

Calculando-se o coeficiente de correlação residual, por meio da MANOVA, para os 25 elementos químicos determinados, observam-se correlações significativas ($p < 0,05$) entre pelos e carne para os elementos Ba, K, La, Mo, Pb e Se (Figura 44), considerando os 20 animais. Na avaliação de Roug et al. (2015), verificaram-se correlações significativas entre as frações de massa de Se no fígado e nos pelos do corpo de veados-mula. Correlações significativas foram encontradas entre as frações de massa de Pb presente nos pelos e no fígado de focas no estudo realizado por Ikemoto et al. (2004).

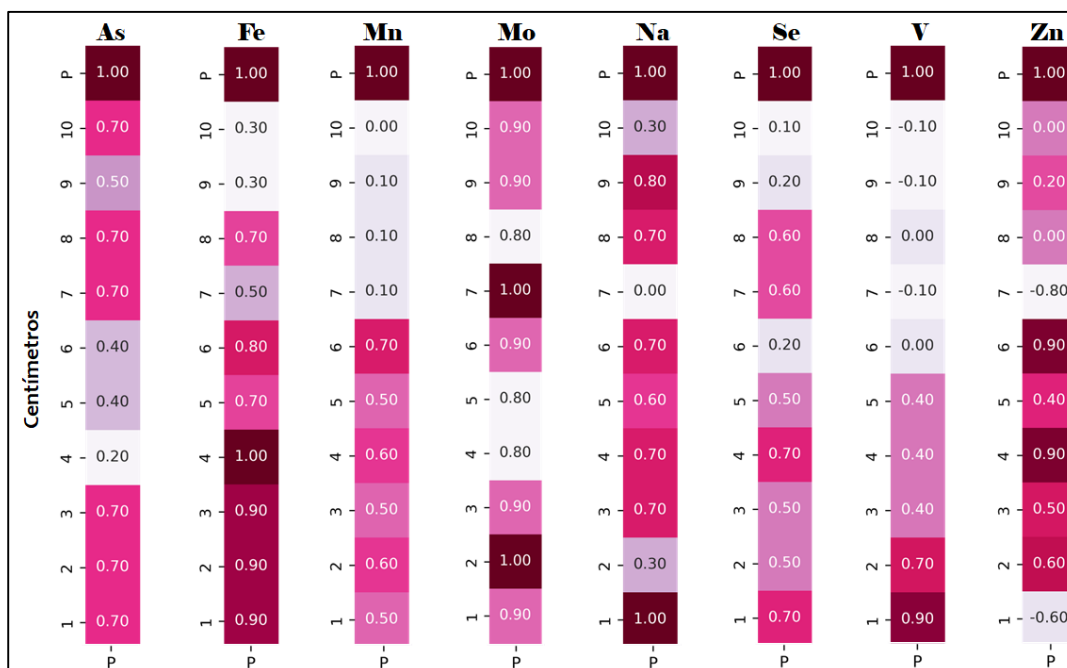
Figura 44 - Valores de correlações dos elementos Ba, K, La, Mo, Pb e Se determinados por TQ-ICP-MS entre pelos de cauda e carne bovina

		Pelos de cauda bovina					
		Ba	K	La	Mo	Pb	Se
Carne bovina	Ba	-0,7					
	K		0,8				
	La			-0,6			
	Mo				0,8		
	Pb					0,7	
	Se						0,9

Considerando que o conteúdo mineral nos pelos de bovinos pode variar de acordo com idade, sexo e raça (COMBS, 1987), foi calculado o coeficiente de correlação residual, considerando a raça e o sexo dos animais. Buscando avaliar o potencial dos pelos da cauda como um registro temporal foi realizada a análise de correlação entre as frações de massa presentes na carne bovina e em cada um dos 10 cm dos pelos, individualmente. Levando em conta que o primeiro centímetro dos pelos são aqueles que refletem o metabolismo ativo dos animais, ou seja, aquele que deveria refletir o teor de elementos químicos presentes no organismo animal no momento do abate, os pelos da cauda foram considerados potenciais biomonitores apenas para os elementos químicos que apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) entre a fração de massa presente na carne e no primeiro centímetro dos pelos da cauda dos animais.

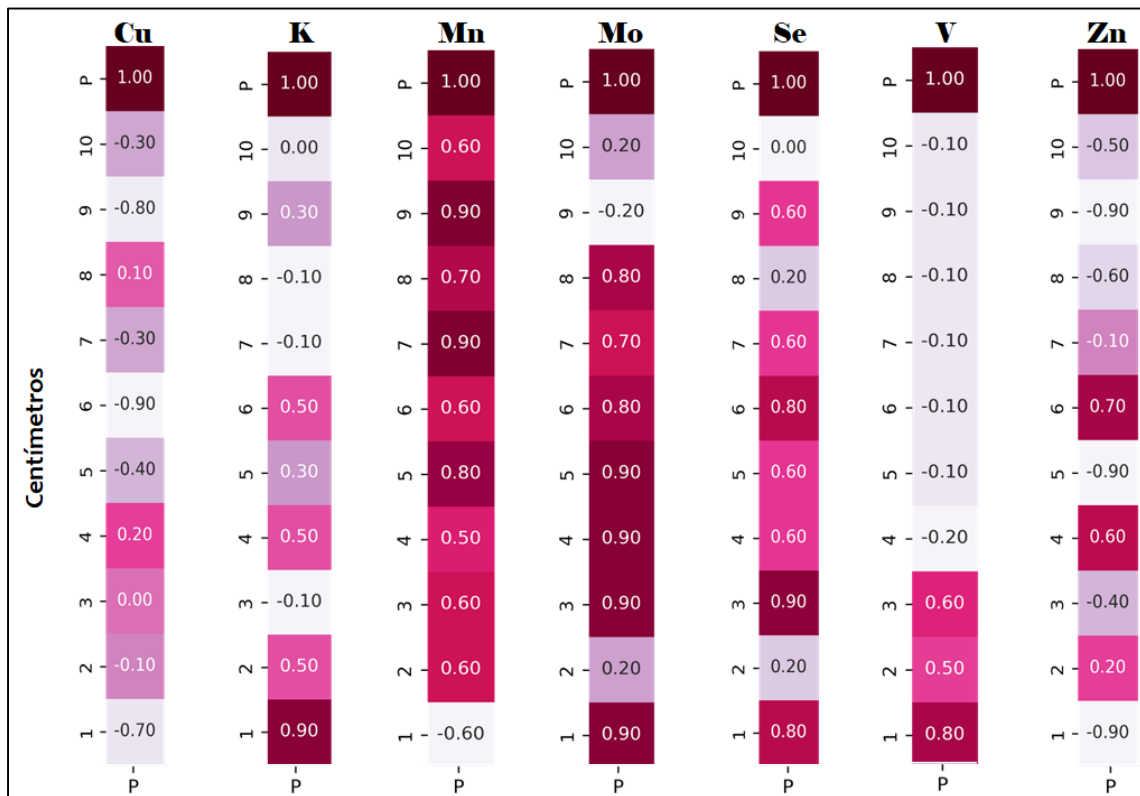
A Figura 45 mostra os valores de correlação para os elementos químicos presentes nos dez centímetros dos pelos de cauda e da carne dos animais do grupo Angus macho. Os dez diferentes centímetros dos pelos estão representados pelos números 1-10 enquanto a carne (picanha) é representada pela letra P. Para esse grupo de animais, foram obtidas correlações significativas ($p < 0,05$) entre a carne e o primeiro centímetro dos pelos da cauda para os elementos As, Fe, Mn, Mo, Na, Se, V e Zn, com coeficientes de correlação (r) variando de -0.6 para o Zn a 1 para Na.

Figura 45 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Angus macho



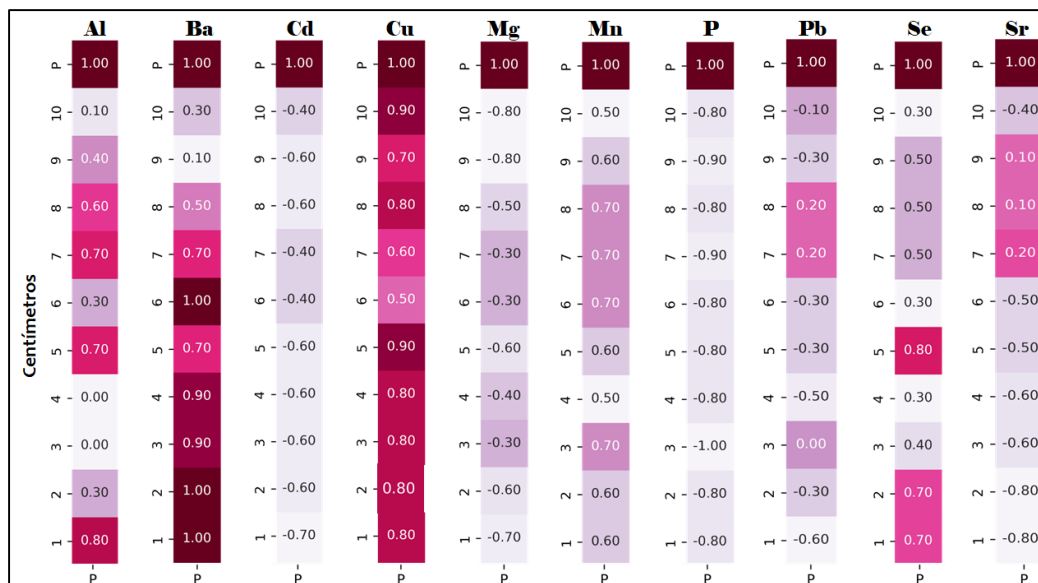
Para o grupo de animais Angus fêmea foram obtidas correlações significativas ($p < 0,05$) para os elementos Cu, K, Mn, Mo, Se, V e Zn (Figura 46) entre pelos da cauda e carne, com coeficientes de correlação variando de -0,6 para Mn a 0,9 para K e Mo.

Figura 46 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Angus fêmea



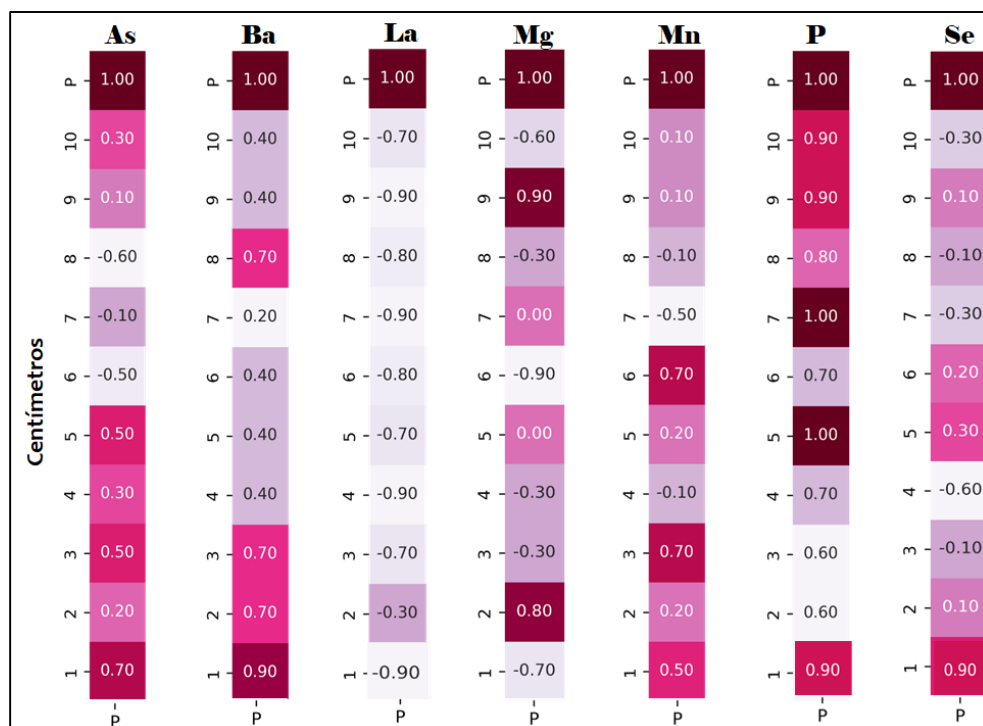
Para os animais do grupo Wagyu macho, foram obtidas correlações significativas ($p < 0,05$) entre o primeiro centímetro de pelos da cauda e a carne para os elementos Al, Ba, Cd, Cu, Mg, Mn, P, Pb, Se e Sr, com coeficientes de correlação (r) variando de -0,6 para Pb a 1 para Ba (Figura 47).

Figura 47 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Wagyu macho



Para os animais do grupo Wagyu fêmea, foram obtidas correlações significativas ($p < 0,05$) entre a o primeiro centímetro de pelos da cauda e a carne para os elementos As, Ba, La, Mg, Mn, P e Se, com coeficientes de correlação (r) variando de -0,7 para Mg a 0,9 para Ba, P e Se (Figura 48).

Figura 48 – Correlações significativas para os elementos químicos presentes nos pelos de cauda e na carne bovina para o grupo Wagyu fêmea



Os elementos Mo, V, Zn, Ba, Mg e P, possivelmente, são influenciados pela raça dos animais uma vez que correlações significativas ($p < 0,05$) foram obtidas para Mo, V e Zn entre os pelos da cauda e a carne de animais das raças Angus, enquanto Ba, Mg e P foram correlacionados entre as duas matrizes para os animais do grupo Wagyu. Os elementos Fe, Na, K, Al, Cd, Pb, Sr e La, possivelmente são influenciados pelos fatores raça e sexo, considerando que Fe e Na apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) para o grupo Angus macho, K para o grupo Angus fêmea, Al, Cd, Pb, e Sr para o grupo Wagyu macho e La para Wagyu fêmea. Apenas os elementos Mn e Se apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) entre as frações de massa determinadas nos pelos da cauda e na carne dos quatro grupos de animais avaliados. Não foram observadas influências do fator sexo, isolado, nas correlações. É possível observar que os grupos de animais machos Angus e Wagyu apresentaram maior número de elementos químicos correlacionados significativamente ($p < 0,05$) entre os pelos da cauda e a carne bovina.

Segundo Wells, Leroy e Ralston (1990), as relações entre os minerais oferecem melhor compreensão para a interpretação da nutrição mineral quando comparada com as avaliações individuais dos minerais no organismo. Correlações significativas ($p < 0,05$) entre os elementos químicos Ca e Sr, Fe e Mn, Mg e V, Rb e K, K e Na, Sr e Mn foram observadas na carne bovina.

A relação entre Ca e Sr pode ser entendida devido às semelhanças no metabolismo desses elementos. Ca e Sr usam os mesmos mecanismos de absorção no trato gastrointestinal, concentram-se nos ossos e a forma mais comum de excreção após a absorção é a urina. Além disso, o Sr pode substituir o Ca em processos fisiológicos como coagulação sanguínea, formação óssea e contração muscular (NRC, 2005). A relação entre os elementos Fe e Mn pode ter origem no mecanismo de transporte desses elementos, pois tanto o Fe quanto o Mn são transportados no plasma pela proteína transferrina, que possibilita a utilização de ambos os elementos pelo organismo. Como são transportados e capturados pelos mesmos receptores nos tecidos, uma intoxicação de qualquer um desses elementos pode levar à diminuição da disponibilidade do outro no organismo dos animais (NRC, 2005). Os elementos Mg e V estão relacionados com a melhora no catabolismo da glicose e aumento da atividade da insulina no organismo, uma vez que os compostos de V demonstram simular as ações biológicas da insulina enquanto o Mg possui envolvimento direto na ação e secreção do mesmo hormônio (NRC, 2005; MACHADO et al., 2018). Rb e K têm relação físico-química e há alta similaridade no metabolismo desses elementos, sendo as rotas de absorção, distribuição e excreção do Rb semelhantes às do K. Em casos de deficiências, o Rb pode ser um substituto nutricional do K (NRC, 2005; SUTTLE, 2010). A relação entre K e Na está ligada ao equilíbrio osmótico do organismo incluindo a homeostase ácido-base e a manutenção dos gradientes de concentrações

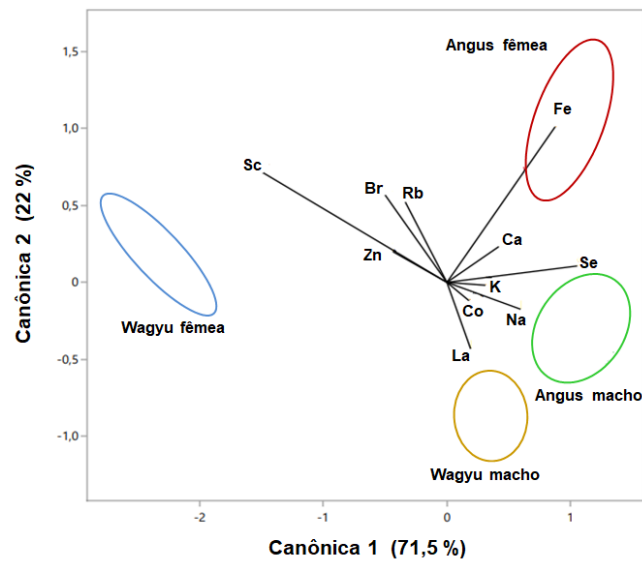
eletroquímicas, responsáveis por importantes processos biológicos, como a síntese de ATP (GONZÁLEZ; DA SILVA, 2019). Não foram descobertas relações biológicas entre os elementos Sr e Mn no organismo de bovinos.

4.6. Autenticação genética dos animais

Buscou-se avaliar a viabilidade de realizar a discriminação genética dos animais utilizando o perfil elementar da cauda bovina obtido por NAA. Para investigar possível influência ou interação significativa da variável sexo na discriminação dos grupos genéticos, foi realizada a análise fatorial de variância. Interações estatisticamente significativas ($p < 0,05$) foram encontradas para os elementos Ca, Co, Fe, Na, Rb, Sc e Se. Dessa forma, os animais foram separados em 4 grupos, considerando sexo e grupo genético. Como demonstrado anteriormente, diferenças estatisticamente significativas entre os elementos químicos para os quatro grupos de animais foram avaliadas pelo teste de Wilcoxon e todos os elementos apresentaram diferenças para, pelo menos, um dos grupos avaliados. Para o elemento Sc, todos os grupos diferiram de forma estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

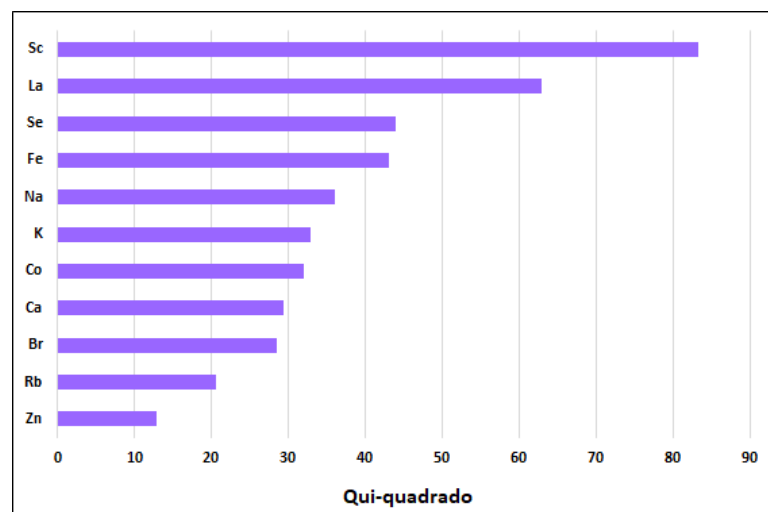
A análise de discriminante canônica quadrática representa a influência de cada elemento para a discriminação dos quatro grupos. As elipses delimitam a região em que há 95 % de probabilidade de pertencimento ao grupo, enquanto a área representa a dispersão dos resultados (Figura 49). Os vetores apontados para o centro da elipsoide indicam maior presença do elemento, por exemplo, o elemento que caracteriza Angus fêmea é o Fe, que se encontra em maior teor relativo. O Angus macho tem alto teor de Co, Na e K e baixo teor de Zn e Sc, Wagyu macho tem alto teor de La e baixo de Br, Rb e Fe, Wagyu fêmea tem alto teor de Sc e Zn e baixo de Se e K.

Figura 49 - Análise de discriminante canônica para os elementos Br, Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Sc, Se e Zn



As variáveis, ou seja, frações de massa dos elementos químicos, foram ordenadas por importância para discriminar entre os quatro grupos de animais, utilizando o valor qui-quadrado, gerado pela análise de Kruskal-Wallis (Figura 50). O valor do qui-quadrado é diretamente proporcional à importância da variável para discriminação dos grupos avaliados (MAZOLA et al., 2019). Os elementos que apresentaram maior poder de discriminação foram Sc e La, enquanto o Zn demonstrou ser a variável de menor importância.

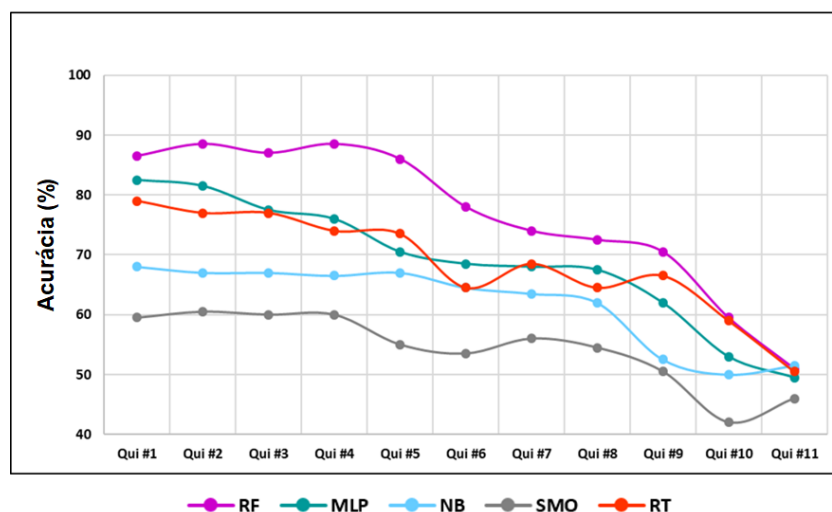
Figura 50 - Importância dos elementos químicos para a discriminação dos grupos estudados



Para a discriminação entre os grupos, foram utilizados cinco algoritmos de machine learning com diferentes propriedades de ajuste: Multilayer Perceptron (MLP), Naïve Bayes (NB), Random Forest (RF), Random Tree (RT) e Sequential Minimal Optimization (SMO). O

algoritmo Random Forest apresentou maior desempenho para a discriminação dos quatro grupos, com acurácia geral de 88 % no Qui 4, como mostra a Figura 51. Para esse algoritmo, os elementos Sc, La, Se, Fe, Na, K, Co e Ca foram importantes para a discriminação.

Figura 51 - Acurácia obtida pelos algoritmos Random Forest (RF), Multilayer Perceptron (MLP), Naïve Bayes (NB), Random Forest (RF), Random Tree (RT) e Sequential Minimal Optimization (SMO) usando diferentes subgrupos de elementos



O algoritmo Random Forest, que mostrou melhor performance de discriminação, classificou corretamente 42 amostras de Angus macho, 43 amostras de Angus fêmea, 45 amostras de Wagyu macho e 47 amostras de Wagyu fêmea. Do total de 200 amostras, apenas 23 foram classificadas incorretamente por esse algoritmo, sendo 9 amostras para Angus macho, 6 amostras para Angus fêmea, 5 para Wagyu macho e 2 para Wagyu fêmea (Tabela 13).

Tabela 13 - Matriz de confusão para o algoritmo Random Forest

Random Forest - Qui 4				
a	b	c	d	← Classificado como
42	5	2	1	a = Angus macho
5	43	1	1	b = Angus fêmea
4	1	45	0	c = Wagyu macho
0	0	3	47	d = Wagyu fêmea

A sensibilidade do algoritmo está relacionada ao número total de acertos para determinado grupo, enquanto a especificidade está relacionada à acurácia do algoritmo, ou seja, de todas as amostras classificadas como pertencentes a determinado grupo, quais realmente foram classificadas corretamente (Libbrecht & Noble, 2015). O algoritmo Random Forest apresentou 84 % de sensibilidade para classificação de Angus macho, 86 % para Angus fêmea,

90 % para Wagyu macho e 94 % para Angus fêmea (Tabela 14). Para Angus macho, a especificidade do algoritmo foi de 82 %, para Angus fêmea e Wagyu macho foi de 88 % e 95 % para Wagyu fêmea. Com base no detalhamento da acurácia do algoritmo dentro dos grupos, pode-se notar que a melhor performance de classificação foi para o grupo Wagyu fêmea.

Tabela 14 - Acurácia detalhada para o algoritmo Random Forest

Grupos	Verdadeiro positivo	Falso positivo	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
Angus macho	42	9	84	82
Angus fêmea	43	6	86	88
Wagyu macho	45	5	90	88
Wagyu fêmea	47	2	94	95

Considerando o desempenho obtido na classificação seria possível estabelecer modelos de discriminação genética aplicados à certificação de raças bovinas com base inteiramente nas características intrínsecas dos animais, mantendo a segurança e adequação do processo.

5. CONCLUSÕES

- 🐾 A análise por ativação neutrônica (NAA) possibilitou a determinação de Br, Ca, Co, Fe, K, La, Na, Rb, Sc, Se e Zn nas amostras de pelos de cauda bovina e de Br, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Se e Zn nas mostras de carne bovina.
- 🐾 A espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado com triplo quadrupolo (TQ-ICP-MS) possibilitou a determinação de Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, La, Na, Mg, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Se, Sr, V e Zn.
- 🐾 Foi possível obter correlação para os elementos Br, K, La, Mo, Pb e Se entre as amostras de pelos da cauda e de carne bovina, considerando os quatro grupos de animais.
- 🐾 Para o grupo de animais Angus, foram obtidas correlações para os elementos Mo, V e Zn entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Para o grupo de animais Wagyu, foram obtidas correlações para os elementos Ba, Mg e P entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Para o grupo de animais Angus macho, foram obtidas correlações para os elementos Fe e Na entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Para o grupo de animais Angus fêmea, foi obtida correlação para o elemento K entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Para o grupo de animais Wagyu macho, foram obtidas correlações para os elementos Al, Cd, Pb, e Sr entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Para o grupo de animais Wagyu fêmea, foi obtida correlação para o elemento La entre os pelos de cauda e carne bovina.
- 🐾 Considerando as correlações obtidas, os pelos da cauda bovina podem ser considerados biomonitores não invasivos para os elementos Al, As, Ba, Cd, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, P, Pb, Se, Sr, V e Zn.
- 🐾 Estudos complementares incluindo a correlação dos elementos químicos presentes nos pelos de cauda e no sangue e entre a carne e o sangue de bovinos devem ser realizados buscando compreender a dinâmica dos elementos químicos no organismo para obtenção de resultados conclusivos sobre o estado nutricional dos animais.

REFERÊNCIAS

ABOAH, J.; LEES, N. Consumers use of quality cues for meat purchase: Research trends and future pathways. **Meat Science**, v. 166, art. 108142, 2020.

ABUJAMRA, T. et al. Percepção dos consumidores em relação à segurança alimentar de carne bovina no município de Jataí - GO. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 24, n. 1, p. 9-16, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8648081>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução - RDC N° 269 de 22 de setembro de 2005. Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO SOBRE A INGESTÃO DIÁRIA RECOMENDADA (IDR) DE PROTEÍNA, VITAMINAS E MINERAIS". **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 184, 23 set. 2005. Disponível em: <https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html>. Acesso em: 13 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Instrução Normativa N° 88 de 26 de março de 2021. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 61, 31 mar. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-88-de-26-de-marco-de-2021-311655598>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

AGILENT TECHNOLOGIES. Agilent 8900 Triple Quadrupole ICP-MS. Technical Overview. Santa Clara, CA, 2016.

AHMAD, R. S.; IMRAN, A.; HUSSAIN, M. B. Nutritional Composition of Meat. In: **Meat Science and Nutrition**. London: IntechOpen, 2018. chap. 4. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/chapters/61245>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

AHMED, A. et al. Meat Science and Human Nutrition. In: **Meat Science and Nutrition**. London: IntechOpen, 2018. Introductory chap. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/63780>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ALFASSI, Z. B. Chemical Analysis by Nuclear Methods. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 1994.

ALVES, F. V.; KARVATTE JUNIOR, N. Benefícios da sombra em sistemas em integração lavoura-pecuária-floresta nos trópicos. In: BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2019. p. 525–541.

ALVES, F. V. et al. 50 perguntas, 50 respostas sobre a Carne Carbono Neutro (CCN). Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2018. 32 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3488/marca-conceito-carne-carbono-neutro>>. Acesso em: 28 maio. 2022.

ANDRIGHETTO, C. et al. Características físico-químicas e sensoriais da carne de bubalinos Murrah abatidos em diferentes períodos de confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 12, p. 2179–2184, 2008.

ANGELIS, R. C.; TIRAPEGUI, J. Fisiologia da nutrição humana. Aspectos básicos, aplicados e funcionais. 2.ed. São Paulo: Atheneu, 2007. 565 p.

ANTIC, D. et al. Beef abattoir interventions in a risk-based meat safety assurance system. **Meat Science**, v. 182, p. 1–14, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108622>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

ARMELIN, M. J. A. et al. Multielement determination in cattle hair infested with *Boophilus microplus* by instrumental neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 236, n. 1–2, p. 77–79, 1998.

SAIKI, M. Application of neutron activation analysis to evaluate the health status of equines by means of Cu, Fe, Mn and Zn determinations in their hair. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, n. 2, p. 417–419, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. Empregos, salários e impacto social da carne bovina. São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://abiec.com.br/artigo-empregos-salarios-e-impacto-social-da-carne-bovina/>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. Beef Report - Perfil da Pecuária no Brasil (2021). São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. Exportações. Série histórica das exportações de carne bovina. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://abiec.com.br/exportacoes/>>. Acesso em: 3 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. Conjuntura internacional - carne bovina. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/camaras-setoriais-1/ConjunturaInternacionalCarneBovina.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2022d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. Beef Report - Perfil da Pecuária no Brasil (2022). São Paulo, 2022. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/#dfliip-df_4284/1/>. Acesso em: 6 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES ORGÂNICOS - ABPO. Memorial descritivo do protocolo carne sustentável da associação brasileira de produtores orgânicos. Campo Grande, 2017. 22 p. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/images/MEMORIAL-DESCRITIVO-ABPO.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2022.

BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N.; DE OLIVEIRA, H. Brazilian experience on k0 standardized neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 245, n. 1, p. 217–222, 2000.

BADEA, E. et al. Assessment of heavy metal and mineral levels in hair samples from dogs with mammary neoplasms. **Bulletin UASVM - Food Science and Technology**, v. 75, n. 1, p. 1-7, 2018.

BALCAEN, L. et al. Inductively coupled plasma - Tandem mass spectrometry (ICP-MS/MS): A powerful and universal tool for the interference-free determination of (ultra)trace elements - A tutorial review. **Analytica Chimica Acta**, v. 894, p. 7–19, 2015.

BATISTA, B. L. et al. A fast ultrasound-assisted extraction procedure for trace elements determination in hair samples by ICP-MS for forensic analysis. **Forensic Science International**, v. 192, n. 1–3, p. 88–93, 2009.

BATISTELLI, I. J. C. et al. Recria intensiva em confinamento como estratégia de manejo em bovinos de corte - Revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e1611225179, 2022.

BEEFPOINT. Certificação amplia negócios no exterior. Piracicaba, 2021. Disponível em: <<https://www.beefpoint.com.br/certificacao-amplia-negocios-no-exterior/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

BENCZE, K. What contribution can be made to biological monitoring by hair analysis? - Part 1. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 337, n. 8, p. 867–876, 1990.

BERNARDINO DE CARVALHO, T.; DE ZEN, S. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 85–99, 2017.

BERTI, J. Análise de custo diferentes regimes alimentares de bovinos da raça Hereford terminados em sistema de confinamento e semi-confinamento. 2012. Projeto Acadêmico (Graduação) - Departamento de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/101140>>. Acesso em: 8 fev. 2022.

BIESALSKI, H. K. Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? **Meat Science**, v. 70, n. 3, p. 509–524, 2005.

BODE, P. et al. Neutron activation analysis and X-ray Rayleigh and Raman scattering of hair and nail clippings as noninvasive bioindicators for Cu liver status in Labrador Retrievers. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 390, n. 6, p. 1653–1658, 2008.

BODE, P.; GREENBERG, R. R.; FERNANDES, E. A. D. N. Neutron activation analysis: A primary (ratio) method to determine si-traceable values of element content in complex samples. **Chimia**, v. 63, n. 10, p. 678–680, 2009.

BORDIN, D. C. M. et al. Técnicas de preparo de amostras biológicas com interesse forense. **Scientia Chromatographica**, v. 7, n. 2, p. 125–143, 2015. Disponível em: <<https://www.iicweb.org/scientiachromatographica.com/files/v7n2a04.pdf>>. Acesso em: 26 maio. 2022.

BRAGA, G. B. et al. Caracterização dos sistemas de criação de bovinos com atividade reprodutiva na região Centro-Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 52, n. 3, p. 217–227, 2015.

BRANCO, A. F. Avanços em Nutrição Mineral de Ruminantes Suplementando com precisão. Maringá: Instituto de Estudos Pecuários, 2021. p. 10–41.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Serviço de Inspeção Federal - SIF. Brasília, DF, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animais/sif>. Acesso em: 8 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal - PNCEBT. Brasília, DF, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animais-e-vegetal/saude-animais/programas-de-saude-animais/pncebt/controle-e-erradicacao-da-brucelose-e-tuberculose-pncebt>. Acesso em: 8 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais - SECINT. Exportações de carne bovina fresca, congelada ou refrigerada. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Acesso em: 3 fev. 2022.

BRIDI, A. M. Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências. In: LOPES OLIVEIRA, R.; BARBOSA, M. A. A. F. (Ed.). *Bovinocultura de corte: desafios e tecnologias*. 1. ed. Salvador: EDUFBA, 2007. p. 1–15.

BRYANT, C.; BARNETT, J. Consumer acceptance of cultured meat: A systematic review. *Meat Science*, v. 143, p. 8–17, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.008>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

BUCHHOLZ, K. *The Biggest Producers of Beef in the World*. New York, 2021. Disponível em: <<https://www.statista.com/chart/19127/biggest-producers-of-beef/>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BUENO, G.; JÚNIOR, M.; VILELA, L. *Pastagens no Cerrado: Baixa Produtividade pelo Uso Limitado de Fertilizantes*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 30 p. (Documentos, 50). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/23083/1/doc_50.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2022.

BURMANN, L. L. *Sistema de integração de bovinos de corte: análise de viabilidade para a região da Campanha do Rio Grande do Sul*. 2016. 83 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4340/Licurgo_Lauda_Burmann.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 fev. 2022.

CASAGRANDA, Y. G. et al. Cadeia produtiva da carne bovina no Brasil. In: MEDINA, G. DA S.; CRUZ, J. E. (Org.). *Estudos em Agronegócio: participação brasileira nas cadeias produtivas*. Goiânia: Kelps, 2021. p. 197–225.

CENTER FOR FOOD SAFETY. *How to opt out of industrial meat*. Washington, DC, s.d. Disponível em: <<https://endindustrialmeat.org/assets/uploads/2018/09/OptOutOfIndustrialMeat-twopager-final.pdf>>. Acesso em: 28 maio. 2022.

CEZAR, I. M. et al. *Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2005. 44 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/326307/sistemas-de-producao-de-gado-de-corte-no-brasil-uma-descricao-com-enfase-no-regime-alimentar-e-no-abate>>. Acesso em: 4 fev. 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Certificação raças bovinas**. Brasília, DF, s.d. Disponível em: <<https://portal-integrado-cna.hom.dotgroup.com.br/paginas-especiais/certificacao-raças-bovinas>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

COMBS, D. K. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *Journal of Animal Science*, v. 65, n. 6, p. 1753–1758, 1987.

DA COSTA, M. J. R. P.; QUINTILIANO, M. H.; TSEIMAZIDES, S. P. *Boas práticas de manejo: transporte*. Jaboticabal: FUNEP, 2014. 58 p. Disponível em: <http://www.grupoetco.org.br/arquivos_br/manuais/manual-boas-praticas-de-manejo_transporte.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2022.

DA SILVA, I. J. O. *A rastreabilidade dos produtos agropecuários do Brasil destinados à exportação*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2012. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/pecuaria-corte/artigos/rastreabilidade-dos-produtos-agropecuarios-t37636.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

DA SILVA, L. F. A. et al. Bem-estar animal na bovinocultura de corte. In: Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, 8., 2019, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: FATEC, 2019. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/2074/2234>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

DA SILVA, M. C. et al. Estudo da cadeia da carne bovina rastreada, certificada e exportada do Brasil para a União Europeia. In: MEDINA, G. DA S.; CRUZ, J. E. (Org.). Estudos em Agronegócio: participação brasileira nas cadeias produtivas. Goiânia: Kelps, 2021. p. 355–383.

DA SILVEIRA, D. C.; AREND, S. C.; DEPONTI, C. M. Barreiras Não Tarifárias (BNTs) e as exportações brasileiras de carne bovina sob a luz da economia política. In: Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional, 10., 2015, Santa Cruz do Sul, RS. **Globalização em Tempos de Regionalização – Repercussões no Território; Anais...** Santa Cruz do Sul, RS: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2015. Disponível em: <<https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidr/article/view/13335>>. Acesso em: 9 fev. 2022.

DANTAS, C. C. O.; NEGRÃO, F. de M. Funções e sintomas de deficiência dos minerais essenciais utilizados para suplementação dos bovinos de corte. **UNICiências**, v. 14, n. 2, p. 199–223, 2010. Disponível em: <<https://click.endnote.com/viewer?doi=10.17921%2F1415-5141.2010v14n2p&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjE3OTIxLzE0MTUtNTE0MS4yMDEwdjE0bjJwIl0.piaKziSAsbfXFfaTwsyCkqoS6dA>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

DE ABREU, U. G. P.; DE OLIVEIRA, L. O. F.; BALDUÍNO, S. Pecuária com certificação orgânica e sustentável no Pantanal de Mato Grosso do Sul. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2021. (Comunicado Técnico, 118).

DE ABREU, U. G. P.; LOPES, P. S. Análise de Sistemas de Produção Animal – Bases Conceituais. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2005. 29 p. (Documentos, 79). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269166101_Analise_de_Sistemas_de_Producao_Animal_-_Bases_Conceituais>. Acesso em: 4 fev. 2022.

DE CORTE, F. The standardization of standardless NAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 248, n. 1, p. 13–20, 2001.

DE MELLO, L. M. M. et al. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: Produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 121–129, 2004.

DE OLIVEIRA, N. L. Aspectos gerais da qualidade da carne bovina. 2020. 35 p. TCC (Bacharel em Zootecnia) - Escola de Ciências Agrárias e Biológicas, PUC Goiás, Goiânia, Go, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/439/1/ASPECTOS_GERAIS_DA_QUALIDADE_DA_CARNE_BOVINA_-_NICOLE_OLIVEIRA_%28TCC%29.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.

DE OLIVEIRA FILHO, A. Produção e manejo de bovinos de corte. Cuiabá, MT: KCM Editora, 2015.

DE OLIVEIRA ROÇA, R. Composição química da carne. Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, Fazenda Experimental Lageado, 2012a.

DE OLIVEIRA ROÇA, R. Modificações post-mortem. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias, Jaboticabal, 2012b. Disponível em: <[https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca105#:~:text=t=1-Glicogênio,transformação do músculo em carne.](https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca105#:~:text=t=1-Glicogênio,transformação%20do%20músculo%20em%20carne.)>. Acesso em: 11 fev. 2022b.

DE PAULA, E. F. E. et al. Determinação da qualidade da carne com uso da espectroscopia de reflectância. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 4, p. 301–307, 2013. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.18188%2Fsap.v12i4.5397&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjE4MTg4L3NhcC52MTJpNC41Mzk3Il0.R6_7NJexgDv_93yd1gWhrqoJxJQ>. Acesso em: 10 fev. 2022.

DE SOUZA, L. H. Biossegurança e a febre aftosa no Brasil: panorama histórico das ações direcionadas à erradicação. 2011. 353 p. Dissertação (Mestrado em em Pesquisas Clínicas em Doenças Infecciosas) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/9243/1/luciana_souza_ipecc_mest_2011.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2022.

DIAS DE OLIVEIRA, J.; RIBEIRO DOS SANTOS SILVA, T.; DA SILVA CORREIA, M. das G. Fatores determinantes da qualidade nutricional da carne bovina. **Cadernos de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde**, v.1, n. 2, p. 38–46, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/cadernobiologicas/article/view/288/282>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

DIAS FEIJÓ, G. L. Curso Conhecendo a Carne que Você Consome, 1., 1999, Campo Grande. Qualidade da carne bovina. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1999. 25p. (Documentos, 77).

DOS SANTOS, M.; DA SILVA JÚNIOR, F. M. R.; MUCCILLO-BAISCH, A. L. Selenium content of Brazilian foods: A review of the literature values. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 58, p. 10–15, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.001>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

EHMANN, W. D.; VANCE, D. E. **Radiochemistry and Nuclear Methods of Analysis**. 1. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 1993. (Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications).

ELIAS, L. de P.; DE LIMA, L. M.; ORTELAN, C. B. Papel da adequação sanitária no mercado internacional de carnes: uma discussão sobre a contribuição Catarinense. **Revista de Economia e Agronegócio - REA**, v. 16, n. 2, p. 262–278, 2018. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/328102532>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

EUCLIDES FILHO, K. A Pecuária de Corte no Cerrado Brasileiro. In: FALEIRO, F. G.; DE FARIAS NETO, A. L. (Ed.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. [s.l: s.n.]p. 613–644.

EUCLIDES FILHO, K. Cenários para a cadeia Produtiva da Carne Bovina no Brasil. In: ROSA, A. DO N. et al. (Ed.). Melhoramento Genético Aplicado em Gado de Corte: Programa Geneplus Programa Ga geneplus. 1. ed. [s.l: s.n.]

EUCLIDES FILHO, K.; CORRÊA, E. S.; EUCLIDES, V. P. B. Boas Práticas na Produção de Bovinos de Corte. **Embrapa - Documentos 129**, v. 1, p. 01–25, 2002. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

FACHINETTO, J. D. Mudanças processuais no sistema de produção de bovinos de corte e o correspondente impacto ambiental: uma análise de trajetória. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.26512%2F2015.03.d.18961&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjI2NTEyLzIwMTUuMDMuZC4xODk2MSJd.cZ2cbfkxsjAq3u_X9IMOPmg8WUU>. Acesso em: 4 fev. 2022.

FERNANDES, E. A. et al. Trace elements and machine learning for Brazilian beef traceability. **Food Chemistry**, v. 333, art. 127462, 2020.

FISHER, D. D. et al. Switch hair as an indicator of magnesium and copper status of beef cows. **American Journal of Veterinary Research**, v. 46, n. 11, p. 2235–2240, 1985.

FLORES, E. M. M. et al. Determination of trace Elements in fluoropolymers after microwave-induced combustion. **Analytical Chemistry**, v. 85, p. 374–380, 2012. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/sharingguidelines>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

FLORES, F. S.; GAVRONSKI, I. A influência da sustentabilidade sobre o desempenho exportador no mercado internacional da carne bovina. **Revista de Ciências Administrativas**, v. 1, p. 192–224, 2016.

FONT-I-FURNOLS, M.; GUERRERO, L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 361–371, 2014.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A.; BACCHI, M. A. Ni-Cr alloy as neutron flux monitor: Composition and homogeneity assessment by NAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 257, n. 1, p. 113–115, 2003.

GABRYSZUK, M. et al. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. **Journal of Elementology**, v. 15, n. 2, p. 259–267, 2010.

GONZÁLEZ, F. H. D.; SILVA, S. C. Minerais e vitaminas no metabolismo animal. Porto Alegre, RS: [s.l.: s.n.]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Análises Clínicas Veterinárias - LACVET/FAVET, 2019.

GREENBERG, R. R.; BODE, P.; FERNANDES, E. A. Neutron activation analysis: A primary method of measurement. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 66, n. 3–4, p. 193–241, 2011.

GUERRERO, A. et al. Alguns fatores que afetam a qualidade da carne: Da fazenda ao garfo. revisão. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 35, n. 4, p. 335–347, 2013.

GUO, B. L. et al. Stable C and N isotope ratio analysis for regional geographical traceability of cattle in China. **Food Chemistry**, v. 118, n. 4, art. 915920, 2010.

HAMER, E.; SCHMITZ, J. G.; ORSOLIN, J. A rastreabilidade na bovinocultura de corte - aspectos facilitadores e limitadores sob a ótica do produtor rural. In: Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 45., 2007, Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR, 2007. Disponível em: <<https://silo.tips/download/a-rastreabilidade-na-bovinocultura-de-corte-aspectos-facilitadores-e-limitadores>>. Acesso em: 9 fev. 2022.

HARKEY, M. R. Anatomy and physiology of hair. **Forensic Science International**, v. 63, n. 1–3, p. 9–18, 1993.

HARRISON, S.; SINCLAIR, R. Telogen effluvium. **Clinical and Experimental Dermatology**, v. 27, n. 5, p. 389–395, 2002.

HATI, S. R. H. et al. Perceptions of nutritional value, sensory appeal, and price influencing customer intention to purchase frozen beef: Evidence from Indonesia. **Meat Science**, v. 172, art. 108306, 2021.

HIGUERA, J. M.; SILVA, A. B. S.; NOGUEIRA, A. R. A. Multi-energy calibration: A practical method for determination of macro and micro nutrients in meat by ICP OES. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 12, p. 2575–2581, 2019.

HOLASOVÁ, M.; PECHOVÁ, A.; HUSAKOVÁ, T. The evaluation of Cu, Zn, Mn, and Se concentrations in the hair of South American camelids. **Acta Veterinaria Brno**, v. 86, n. 2, p. 141–149, 2017.

HOPPS, H. C. The biologic bases for using hair and nail for analyses of trace elements. **Science of the Total Environment**, v. 7, n. 1, p. 71–89, 1977.

IAEA. **Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory**. Vienna, 1990. 252 p. (IAEA-TECDOC, 564).

IKEMOTO, T. et al. Comparison of trace element accumulation in Baikal seals (*Pusa sibirica*), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). **Environmental Pollution**, v. 127, n. 1, p. 83–97, 2004. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/envpol>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ISO. ISO 22000 - Food safety management. Genebra, 2013. Disponível em: <<https://www.iso.org/iso-22000-food-safety-management.html>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

ISO. ISO 13528:2015 - Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. Genebra, 2015. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/56125.html>> Acesso em: 18 fev. 2022.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **International Vocabulary of Metrology - Committee Draft (VIM4 CD)**. 3. ed. Paris, 2021. Disponível em: <https://www.bipm.org/documents/20126/54295284/VIM4_CD_210111c.pdf/a57419b7-790f-2cca-f7c9-25d54d049bf6>. Acesso em: 24 maio. 2022.

KATO, L. S. Qualidade e segurança do arroz brasileiro: avaliação de arsênio total e inorgânico em diferentes locais, cultivares e sistemas de cultivo. 2019. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

LIBBRECHT, M. W.; NOBLE, W. S. Machine learning applications in genetics and genomics. **Nature Reviews Genetics**, v. 16, n. 6, p. 321–332, 2015.

LORENÇATTO, R. ICP-MS: Conceitos de hardware. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/icp-ms-conceitos-de-hardware-rodolfo-lorenzatto>>. Acesso em: 25 maio. 2022.

MACHADO, A. F. et al. Hormônio insulina no bodybuilding. 2018. 18 p. TCC (Especialização Lato Sensu em Bodybuilding Coach) - Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR, 2018.

MALAFAIA, G. C. et al. A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Pecuária de Corte Brasileira. In: BUNGESTAB, D. J. et al. **ILPF**: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 118–130.

MALAFAIA, G. C. et al. Cadeia produtiva da carne bovina: contexto e desafios futuros. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2021. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1132914/1/DOC-291-Final-em-Alta.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2022.

MALAFAIA, P. et al. Equívocos arraigados no meio pecuário sobre deficiências e suplementação minerais em bovinos no Brasil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 244–249, 2014.

MARTÍNEZ-CEREZO, S. et al. Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. **Meat Science**, v. 69, n. 2, p. 325–333, 2005.

MARTINS, A. et al. **Tricologia forense**. Sinop: Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências da Saúde, 2018.

MAZOLA, Y.T. et al. Neutron activation analysis and data mining techniques to discriminate between beef cattle diets. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 322, n. 3, p. 1571-1578, 2019.

MCDOWELL, L. R. et al. Evaluating the nutritional status of beef cattle herds from four soil order regions of Florida – II. Trace minerals. **Journal of Animal Science**, v. 55, n. 1, p. 38-47, 1982.

MELO, A. F. et al. Fatores que influenciam na qualidade da carne bovina: Revisão. **Pubvet**, v. 10, n. 10, 2016.

MERCAN, Y. U.; NURHAYAT, A. Comparison of sample preparation methods for determination of heavy metals in cattle hair by ICP-OES. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 28, n. 12, p. 9620–9626, 2019. Disponível em: <<https://www.webofscience.com/wos/WOSCC/full-record/000503915900073>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MIROSHNIKOV, S. et al. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 14, n. 9, p. 632–636, 2015. Disponível em: <<https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/pjn/2015/632-636.pdf>>. Acesso em: 1 maio. 2022.

MEAT AND LIVESTOCK AUSTRALIA - MLA. **Nutritional**. Disponível em: <<https://www.mla.com.au/research-and-development/animal-health-welfare-and-biosecurity/diseases/nutritional/#>>. Acesso em: 14 fev. 2022a.

MEAT AND LIVESTOCK AUSTRALIA - MLA. **Diseases**. Disponível em: <<https://www.mla.com.au/research-and-development/animal-health-welfare-and-biosecurity/diseases/#>>. Acesso em: 16 fev. 2022b.

MUKUL, A. Z. A.; AFRIN, S.; HASSAN, M. M. Factors affecting consumers' perceptions about organic food and their prevalence in Bangladeshi organic preference. **Journal of Business and Management Sciences**, v. 1, n. 5, p. 112–118, 2013. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/jbms/1/5/5>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

NASCIMENTO, J. D. et al. Perfil do consumidor de carnes do Alto Pantanal sul-mato-grossense. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 16, e16005, 2018. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/2d50/1db77a884974ef905470b57739f0586a61fb.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. 7. ed. Washington, DC: National Academies Press, 1996. p. 54–74: Minerals.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Mineral tolerance of animals**. Washington, DC: National Academies Press, 2005.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO - NEPA. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO. 4. ed. rev. e ampl. Campinas, 2011. 161 p.

OHMORI, S. Hair as a monitor for environmental pollution. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 84, n. 2, p. 451–459, 1984. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02036985>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

OFFICE INTERNATIONAL DES ÉPIZOOTIES - OIE. Recognition of Animal Health Status. Disponível em: <<https://www.oie.int/en/who-we-are/structure/framework/basic-texts/recognition-of-animal-health-status/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

OFFICE INTERNATIONAL DES ÉPIZOOTIES - OIE. Animal Welfare. Disponível em: <<https://www.oie.int/en/what-we-do/animal-health-and-welfare/animal-welfare/>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

OSORIO, M. T. et al. Beef authentication and retrospective dietary verification using stable isotope ratio analysis of bovine muscle and tail hair. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 3295-3305, 2011.

PARK, S. J. et al. Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 7, art. 1061, 2018. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31711111/>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

PARTIDA, J. A. et al. Fatty acid composition and sensory traits of beef fed palm oil supplements. **Meat Science**, v. 76, n. 3, p. 444–454, 2007.

PATEL, N. et al. Relationships of a detailed mineral profile of meat with animal performance and beef quality. **Animals**, v. 9, n. 12, 2019. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.3390%2Fani9121073&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjMzOTAvYW5pOTeyMTA3MyJd.K5ASy5fohsS_wLYr7v4u2uIQ4f0>. Acesso em: 14 jan. 2022.

PATRA, R. C. et al. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. **Journal of Veterinary Medicine Series A: Physiology Pathology Clinical Medicine**, v. 53, n. 10, p. 511–517, 2006.

PATRA, R. C. et al. Tail hair as an indicator of environmental exposure of cows to lead and cadmium in different industrial areas. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 66, n. 1, p. 127–131, 2007. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/ecoenv>. Acesso em: 21 abr. 2022.

PAULINO, M. F. et al. Suplementação de bovinos em pastagens: uma visão sistêmica. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, 4., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/281637635>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

PERAZZOLI, M.; KUNZE, M. A. B. Gestão ambiental aplicada em uma propriedade rural com atividade de bovinocultura de corte. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 704–717, 2018.

PEREIRA, P. M. de C. C.; VICENTE, A. F. dos R. B. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 586–592, 2013.

PILA, J. **Carne orgânica: o que você precisa saber.** Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/28262/carne-organica:-o-que-voce-precisa-saber.htm>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

PINHEIRO, D. M.; ANDRADE PORTO, K. R. de; SILVA MENEZES, M. E. da. A química dos alimentos: carboidratos, lipídeos, proteínas, vitaminas e minerais. Alagoas, Maceió: EDUFAL, 2005. (Série Conversando sobre Ciências). Disponível em: <https://www.academia.edu/29182461/A_Química_dos_Alimentos_carboidratos_lipídeos_proteínas_vitaminas_e_minerais>. Acesso em: 20 jan. 2022.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 1, p. 179–187, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cta/a/rZc6S4hLs5dLqhbMNgqwhPb/?lang=pt>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PORPINO, G.; BOLFE, É. L. Tendências de consumo de alimentos: implicações e oportunidades para o setor agroalimentar brasileiro. Informe Agropecuário. Certificação, Rastreamento e Agregação de Valor, v. 41, n. 311, p. 7–14, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Porpino/publication/347236635_Porpino_e_Bolfe_2020_-_Tendencias_consumo_alimentos_-_Informe_Agropecuario/links/5fd8ac7fa6fdccdb8c9f361/Porpino-e-Bolfe-2020-Tendencias-consumo-alimentos-Informe-Agropecuario.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

RAINFOREST ALLIANCE. Sustainable Agriculture Network. New York, 2017. Disponível em: <https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2017/11/03_rainforest-alliance-sustainable-agriculture-standard_pt.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.

RAPOSO DE MEDEIROS, S.; COSTA GOMES, R. da; BUNGENSTAB, D. J. (eds.). Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010951/nutricao-de-bovinos-de-corte-fundamentos-e-aplicacoes>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

RECH, Â. F. Importância dos minerais para bovinos de corte criados à base de pasto no Planalto Sul Catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v. 29, n. 2, p. 34–37, 2016.

REGANOLD, J. P. et al. Transforming U.S. agriculture. **Science**, v. 332, n. 6030, p. 670–671, 2011. Disponível em: <www.sciencemag.org>. Acesso em: 9 fev. 2022.

REIS, F. Carta Insumos - Suplemento mineral: formação e evolução dos preços. Bebedouro: SCOT Consultoria, 2019. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/cartas/50488/carta-insumos-suplemento-mineralformação-e-evolução-dos-preços.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

RIBEIRO, C. D. S. G. O consumo da carne no Brasil: entre valores sócios culturais e nutricionais. DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde, v. 8, n. 3, p. 425-438, 2013. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.12957%2Fdemetra.2013.6608&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjEyOTU3L2RlbWV0cmEuMjAxMy42NjA4Ii0.acFq4FuE_HO6l2FXNlqNp4UInIE>. Acesso em: 11 fev. 2022.

RODRIGUES, J. L. et al. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements. **Science of the Total Environment**, v. 405, n. 1–3, p. 370–376, 2008.

RONCA, P. P. de F.; BETTARELLO, M. **Portfólio de Boas Práticas Agropecuárias**. Brasília, DF: Jorge Verlindo, 2015. v. 1.

ROSA, A. do N.; MENEZES, G. R. de O.; DO EGITO, A. A. Recursos Genéticos e Estratégias de Melhoramento. In: ROSA, A. DO N. et al. (ed.). Melhoramento Genético Aplicado em Gado de Corte: Programa Geneplus. 1. ed. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. p. 11–26.

ROUG, A. et al. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 27, n. 3, p. 295-305, 2015.

RUDNICKI-VELASQUEZ, P. B. et al. Bioaccumulation of polonium ^{210}Po in cats' hair, taking into account potential factors influencing changes in its concentration. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 329, n. 3, p. 1545–1554, 2021.

RUVIARO, C. F.; BARCELLOS, J. O. J.; DEWES, H. Market-oriented cattle traceability in the Brazilian Legal Amazon. **Land Use Policy**, v. 38, p. 104–110, 2014. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0264837713001695?token=51B4CA678DDF85D95D1936BFA50F0516EBB49F66829ED9C83938A34592C617BCD73DC362188B913DF898490CBF1AA20B&originRegion=us-east-1&originCreation=20220221135625>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

SACH, F. et al. Potential bio-indicators for assessment of mineral status in elephants. **Scientific Reports**, v. 10, art. 8032, 2020.

SAHOO, S. K. et al. Distribution of uranium and selected trace metals in Balkan human scalp hair using inductively coupled plasma mass spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry**, v. 373, p. 15–21, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijms.2014.08.020>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

SANTOS JUNIOR, D. et al. Erros sistemáticos no preparo de amostra. In: KRUG, F. J.; ROCHA, F. R. P. (Ed.). *Preparo de amostras para análise elementar*. 2. ed. São Paulo: EditSBQ, 2019. p. 43–85.

SAÑUDO, C. et al. Assessment of commercial lamb meat quality by British and Spanish taste panels. **Meat Science**, v. 48, n. 1–2, p. 91–100, 1998.

SARDEIRO, J. H. de A. et al. **Certificação e Rastreabilidade de Produção**. São Paulo: Insper, Centro de Agronegócio Global; Fundação Alexandre de Gusmão, 2021. Disponível em: <<https://www.insper.edu.br/wp-content/uploads/2021/07/Certificação-e-rastreabilidade-da-produção.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SCOLLAN, N. D. et al. Can we improve the nutritional quality of meat? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 76, n. 4, p. 603–618, 2017. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.1017%2Fs0029665117001112&token=WzIzOTY1NzEsIjEwLjEwMTcvczAwMjk2NjUxMTcwMDExMTIiXQ.UahoAdcqAAyBi4x0AFPS_PCxXQ>. Acesso em: 18 jan. 2022.

SEBRAE. Indicações Geográficas - IG - DataSebrae - Pampa Gaúcho. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://datasebrae.com.br/ig-pampa-gaucha-da-campanha-meridional/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

SILVA, C. C. dos S.; BUENO, C. P. Pontos de contaminação de carcaças bovinas dentro do fluxograma de abate. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 15, n. 2, p. 8147–8152, 2018. Disponível em: <<https://www.nutritime.com.br/site/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-465.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SIMÕES, C. N. C. et al. *Rastreabilidade*. Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura, 2021. Disponível em: <<https://animalbusiness.com.br/universidade/rastreabilidade/>>. Acesso em: 28 maio. 2022.

SOARES, F. F.; HUNGARO, O. A. de L. A Certificação Rainforest Alliance em uma propriedade rural no município de Tangará da Serra-MT. **Revista de Empreendedorismo e Inovação Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 51–68, 2021. Disponível em: <<http://revista.isaebrasil.com.br/index.php/EGS/article/view/92/71>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SORNBERGER, G. P.; REDIVO, A.; REDIVO, A. R. Sistemas de Certificação de Alimentos: O CASO da carne no Brasil. **INGEPRO-Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 5, p. 16–27, 2010.

SOUZA FILHO, H. D. M.; ROSA, F. T.; VINHOLIS, M. D. M. B. Diagnóstico e recomendações para aumento da competitividade da cadeia produtiva da carne bovina do estado de São Paulo. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46., 2008, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008.

STEINFELD, H.; WASSENAAR, T.; JUTZI, S. Livestock production systems in developing countries: Status, drivers, trends. **Revue Scientifique et Technique**, v. 25, n. 2, p. 505–516, 2006. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/6702100>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

SUMMIT AGRO. O que é SIF e qual sua importância? **Canal Agro Estadão**, São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/saude-no-campo/o-servico-de-inspecao-federal-e-a-sua-importancia/>>. Acesso em: 9 fev. 2022.

SUMMIT AGRO. Quais são as principais commodities brasileiras? **Canal Agro Estadão**, São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/quais-sao-as-principais-commodities-brasileiras/>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

SUTTLE, N. F. **Mineral nutrition of livestock**. 4. ed. Oxfordshire: CABI, 2010. v. 1

SZIGETI, E. et al. Effect of breed and sampling place on the mineral content of cattle hair. **Poljoprivreda**, v. 21, n. 1, p. 59–62, 2015.

TAGLIAFERRO, F. S. Metrologia em química: estudo da qualidade de cafés brasileiros. 2003. 106 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003 .

TAPPIZ, B.; BONETTO, N. C. F. Avaliação da concentração dos elementos k, mn, na, ti e v em sedimentos superficiais do rio tietê, pela técnica de análise por ativação neutrônica. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, v. 15, p. 90-101, 2017.

TORRES JUNIOR, A. M. et al. Globalização da Pecuária. **Agroanalysis**, v. 28, n. 11, p. 20–40, 2008.

TRAMONTINI, C. M.; CARDOZO, R. M.; ARIEIRA, J. Identification of productive systems of beef cattle in the northwest region of paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 1319–1326, 2018.

TREU, G. et al. Correlations between hair and tissue mercury concentrations in Icelandic arctic foxes (*Vulpes lagopus*). **Science of the Total Environment**, v. 619–620, n. 1, p. 1589–1598, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL. Histologia interativa: Pele e Anexos. Alfenas, MG, 2022. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/histologiainterativa/pele-e-anexos/>>. Acesso em: 24 maio. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA. Departamento de Medicina Veterinária. **Rastreabilidade e Segurança Alimentar**. Lavras, MG, 2012. 25 p. (Boletim Técnico, 91).

- USDA. **The Brazilian Bovine Genetics Market and US Exports**. Washington, DC, 2021
- USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. Washington, DC, 2021.
- US FDA. **HACCP Principles & Application Guidelines**. Silver Spring, MD, 1997.
- US FDA. **Elemental Analysis Manual for Food and Related Products**. Silver Spring, MD, 2020.
- VALENTE, L. C. M.; DO VALE, S. M. L. R.; BRAGA, M. J. Determinantes do Uso de Medidas Sanitárias de Controle da Brucelose e Tuberculose Bovinas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 215–231, 2011.
- VAN DER WEELE, C. et al. Meat alternatives: an integrative comparison. **Trends in Food Science & Technology**, v. 88, p. 505–512, 2019.
- VAN LOO, E. J. et al. Consumers' valuation of sustainability labels on meat. **Food Policy**, v. 49, n. P1, p. 137–150, 2014.
- VERBEKE, W. et al. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee: Insights from a qualitative study in four EU countries. **Appetite**, v. 54, n. 2, p. 289–296, 2010.
- WAGNER NETO, J. A. Certificação assegura mercado internacional. **Visão Agrícola**, n. 3, p. 100–102, 2005. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va03-industria-e-comercio02.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- WAGNER, R. de C. C. W. A estrutura da medula e sua influência nas propriedades mecânicas e de cor do cabelo. 2006. Tese (Doutorado) - Insituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.
- WEBB, M. Quantifying the Trade Impact of Non-Tariff Measures: Econometric and CGE Analysis. 2018. Thesis (PhD - Doctor of Philosophy) - The University of Waikato, Hamilton, New Zeland, 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10289/12047>>. Acesso em: 21 fev. 2022.
- WELLS, L. A.; LEROY, R.; RALSTON, S. L. Mineral intake and hair analysis of horses in arizona. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 10, n. 6, p. 412–416, 1990.
- WILLIAMS, P. Nutritional composition of red meat. **Nutrition and Dietetics**, v. 64, suppl. 4, p. S113-S119, 2007.
- ZONTA, J. H. et al. Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) para a Região Agreste do nordeste. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2016. 26 p. (Documento, 266). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064682/sistema-integracao-lavoura-pecuaria-ilp-para-a-regiao-agreste-do-nordeste>>. Acesso em: 8 fev. 2022.