



BRUNA FERNANDES ANDRADE

**QUALITY OF BUFFALO MEAT:
RIGOR MORTIS DEVELOPMENT, AGING,
TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND SENSORY ASPECTS**

LAVRAS - MG

2020

BRUNA FERNANDES ANDRADE

**QUALITY OF BUFFALO MEAT:
RIGOR MORTIS DEVELOPMENT, AGING, TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND
SENSORY ASPECTS**

Dissertation presented to the Federal University of Lavras, as part of the requirements of the Graduate Program in Food Sciences, to obtain the title of Master.

Prof. Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos
Advisor

Prof. Dr. Eduardo Mendes Ramos
Co-advisor

**LAVRAS – MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Bruna Fernandes.

Quality of buffalo meat: *Rigor mortis* development, aging, technological properties and sensory aspects / Bruna Fernandes Andrade. - 2020.

115 p.

Orientador(a): Alcinéia de Lemos Souza Ramos.

Coorientador(a): Eduardo Mendes Ramos.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras,
2020.

Bibliografia.

1. Rigor mortis. 2. Maturação. 3. Sensorial. I. Ramos, Alcinéia de
Lemos Souza. II. Ramos, Eduardo Mendes. III. Título.

BRUNA FERNANDES ANDRADE

**QUALITY OF BUFFALO MEAT:
RIGOR MORTIS DEVELOPMENT, AGING, TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND
SENSORY ASPECTS**

Dissertation presented to the Federal University of Lavras, as part of the requirements of the Graduate Program in Food Sciences, to obtain the title of Master.

Approved on September 30, 2020.

Dr. Eduardo Mendes Ramos	UFLA
Dr. Paulo Rogério Fontes	UFV
Dr. Robledo de Almeida Torres Filho	UFV

Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos
Advisor (UFLA)

LAVRAS – MG

*Dedico esse trabalho e conquista os meus pais, Sérgio e Tânia,
com todo o meu amor e gratidão.
Obrigada por lutarem por mim, sempre me apoiarem e
serem o meu PORTO SEGURO.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder o dom da vida, pela proteção, por todas as bênçãos concedidas a mim e minha família durante esses dois anos, por ser sempre o meu amparo, proteção e minha direção.

À Nossa Senhora, que com seu amor de mãe, intercede por mim junto a Deus e caminha sempre à minha frente.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de Pós-graduação de Ciência dos Alimentos (PPGCA) pela oportunidade concedida para a realização do Mestrado.

Ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) pela disponibilidade e estrutura para que eu pudesse realizar a pesquisa, aqui deixo meu carinho à Lucilene e todos os professores do DCA, que de direta ou indiretamente colaboraram para a minha formação.

À minha orientadora, professora Alcinéia de Lemos Souza Ramos, pela recepção no laboratório, por toda colaboração, dedicação, compreensão e incentivo durante esses dois anos. Deixo minha imensa gratidão por todo engajamento e colaboração que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao professor e coorientador, Eduardo Mendes Ramos, por toda paciência, todos os ensinamentos e colaborações para o trabalho, agregando de forma imensurável em minha formação acadêmica e pessoal.

Aos membros da banca, professores Robledo Torres Filho e Paulo Rogério, e professor João de Deus Souza Carneiro, por todas as contribuições que agregaram de forma grandiosa no trabalho e na minha formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq; Processo nº 430206/2016-0) e à Fundação para a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; Processo nº CVZ-APQ 03315-17) pelo financiamento do projeto.

À Cowpig, em especial ao Renato e todos os seus funcionários, sem exceção, aqui representados pelo Luiz, Maycon, Jéssica e Suellen por toda receptividade, atenção e colaboração para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais, Tânia e Sérgio, meu porto seguro e minhas referências, pessoal e profissional. Obrigada por toda compreensão e incentivo, por vibrarem por mim em minhas

conquistas e me confortar meio as dificuldades, e sobretudo, por sempre manifestarem carinho e amor. Amo muito vocês!

A toda minha família, minha vó-Leni; meus tios, Elessandra, Rônia, Elaine, Nívia, Alexandra, Anderson, Júlio, Wellington, Clayton; meus primos, Isabella, Júlia, Andressa, Vinícius, Felipe, Letícia, Tayane, Layane e Lucas, que sempre me apoiaram e me incentivaram. Obrigada por todo amor!

Ao Renan, meu namorado, e toda sua família, por embarcarem junto a mim nessa trajetória, por todo carinho, amor e por sempre me ajudarem.

À Marcela, minha prima, pela recepção em Lavras e por todo carinho, paciência e amor. Obrigada por ser minha companheira e fazer da sua família a minha família, de forma ainda mais grandiosa (Giane, Marcelo, Alice, tia Lia, Lourival, Patrícia e Emília).

À Maira, que com seu jeito descontraído sempre me alegrou. Muito obrigada pela amizade, por toda ajuda, companheirismo, cuidado, carinho e por tantos momentos alegres e felizes na nossa casa e no laboratório.

À Lorena, por toda consideração e carinho. Obrigada por compartilhar e vivenciar tantos momentos dentro e fora do laboratório. Amizade que vou levar para sempre comigo.

Às amigas que foram construídas durante o tempo de laboratório, Amanda A., Sâmia, Ana Paula, que foram mais do que companheiras de laboratório. Fica o agradecimento pela recepção, por toda paciência e todos os ensinamentos. À Gabi, Greice, Ana Alice, Thales, Titi, Lucas, Isadora, Amanda, Bárbara, Irina, Júlia, Letícia e Jean por toda colaboração durante todo o Mestrado e por todo carinho. De forma especial, Luiza, Marcelo, Johnatan, Marielle, Angélica, Adelaide e Douglas pela amizade, companheirismo e por todos os momentos que passamos juntos.

Aos meus amigos Yuri, Matheus, Aurélio, Victor, Isabella e Lorena, por terem vivenciado e compartilhado a graduação comigo e, mesmo a distância, participarem desta etapa. Obrigada pelo carinho e grande amizade.

Aos meus professores da Universidade Federal de Viçosa - Florestal que me incentivaram, torceram por mim e colaboram para minha formação acadêmica, aqui especialmente representados por Poliana Maia, Cláudio dos Santos, Flávia Cristina, Pollyanna Amaral, Brenno Leite, Juliana Tristão, Inácio Ludovico, Leandro José, Newton Moreno, José Carlos e Germano Carneiro, fica aqui minha eterna gratidão e carinho.

*“Olho para os montes e pergunto: de onde me virá o socorro?
O meu socorro vem do Senhor, que fez o céu e a terra
Ele o seu protetor está sempre alerta e não deixará que você caia
O protetor do povo de Israel nunca dorme, nem cochila
O Senhor guardará você, ele está sempre ao seu lado para protegê-lo
O sol não lhe fará mal de dia, nem a lua de noite
O Senhor guardará você de todo perigo; ele protegerá sua vida
Ele o guardará quando você for e quando voltar, agora e para sempre.”*
(Salmo,121)

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the Murrah buffalo meat (m. *Longissimus thoracis*) quality and technological characteristics of the in three different phases. Initially, the rigor mortis development up to first 22h postmortem on half-carcasses male meat and female dairy buffalo was evaluated. Then, the buffalo and Nelore beef meat quality commercialized in the southeast of the country, was compared during maturation at $2 \pm 1^\circ\text{C}$ for 21 days. Finally, sensory analysis was conducted for evaluation the purchase intention consumers' in relation to extrinsic factors (type of meat, price and nutritional claim) and intrinsic factors (tenderness, juiciness and flavor), and discrimination of samples of high-quality meat (premium label) from Murrah buffalo and Nellore and Aberdeen Angus cattle. Female had a lower ($P < 0.05$) start and establishment time of rigor. Female meat was more tenderness ($P < 0.05$) than male buffalo meat due to their a lower ($P < 0.05$) fragmentation index (FI) and shear force (SF), although had a lower ($P < 0.05$) sarcomere length and higher ($P < 0.05$) collagen content and fractions of insoluble collagen (IC) female's. Female meat had a more ($P < 0.05$) intense color and higher ($P < 0.05$) myoglobin content. There was a reduction ($P < 0.05$) in the FI and SF, and an increase ($P < 0.05$) in the soluble fraction of collagen during aging meat, both bovine as buffalo, however, the buffalo meat was more ($P < 0.05$) tenderness (lower SF) than bovine. Lower ($P < 0.05$) values pH and higher ($P < 0.05$) water holding capacity, percentage of metmyoglobin pigment and lightness (L^*) was observed in buffalo meat, which also contained a higher ($P < 0.05$) number of volatile compounds from lipid oxidation of aldehyde function than Nellore meat. The conjoint analysis of extrinsic factors indicated that the price is said to be the most relevant factor ($P < 0.05$) in the choice of the product for that group of consumers who prefer buffalo meat. The nutritional claims on the buffalo meat label were positively assessed by most consumers, who did not ($P < 0.05$) express a willingness to overpay for the product. The evaluation of intrinsic factors showed that buffalo meat was considered less tender and juicy ($P < 0.05$) compared to Nellore and Angus beef. Both buffalo and bovine meats were accepted, but buffalo meat obtained less ($P < 0.05$) less acceptance and purchase intention. Therefore, buffaloes from different production systems (meat and milk) produce meat of similar quality. Commercial buffalo meat reaches greater tenderness earlier during aging than Nellore beef. Although buffalo meat has sensory quality, it was considered less tender and juicy when compared to beef from Nellore and Angus premium

cattle. Thus, buffalo meat has a specific market for consumers, who are not willing to overpay for this meat, even with favorable nutritional claims on its label.

Keywords: *Bubalus bubalis*. *Rigor mortis*. Tenderness. Compounds volatiles. Conjoint analysis.

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a qualidade e as características tecnológicas da carne (m. *Longissimus thoracis*) de búfalo Murrah em três etapas. Inicialmente, o desenvolvimento do rigor mortis nas primeiras 22 h *post mortem* nas meia-carcaças de búfalos machos de corte e fêmeas leiteiras em um sistema de refrigeração lenta. Em seguida, a qualidade das carnes bubalinas e de bovinos Nelore, comercializadas no sudeste do país, foi comparada durante a maturação à temperatura de $2 \pm 1^\circ\text{C}$ por 21 dias. Por fim, análise sensorial foi conduzida para avaliar a intenção de compra dos consumidores em relação aos fatores extrínsecos (tipo de carne, preço e alegação nutricionais), e intrínsecos (maciez, suculência e sabor), e à discriminação das amostras de carne de alta qualidade (rótulo *Premium*) de búfalo Murrah e de bovinos das raças Nelore e Aberdeen Angus. Fêmeas apresentaram menores ($P < 0,05$) tempos de início e estabelecimento do *rigor mortis*. As carnes das búfalas foram mais macias que dos búfalos devido aos seus menores ($P < 0,05$) índice de fragmentação (IF) e força de cisalhamento, apesar do menor ($P < 0,05$) comprimento de sarcômero e maiores teores de colágeno total e da fração de colágeno insolúvel delas. As carnes das fêmeas apresentaram cor de carne mais ($P < 0,05$) intensa e maiores ($P < 0,05$) teores de mioglobina do que os machos. Houve uma redução ($P < 0,05$) no IF e na FC, e um aumento na fração solúvel de colágeno durante a maturação na carne, tanto bovina quanto bubalina, porém, a carne de búfalo foi mais macia ($P < 0,05$) (menor FC) que a bovina. Menores valores ($P < 0,05$) de pH e maior ($P < 0,05$) capacidade de retenção de água, percentual de metamioglobina e luminosidade (L^*) foram observados na carne de búfalo, que também continha maior ($P < 0,05$) número de compostos voláteis oriundos da oxidação lipídica de função aldeído do que a carne de bovinos Nelore. A análise conjunta dos fatores sensoriais extrínsecos indicou que o preço é dito como fator de maior ($P < 0,05$) relevância na escolha do produto para aquele grupo de consumidores que prefere a carne de búfalo. As alegações nutricionais no rótulo da carne de búfalo foram avaliadas positivamente pela maioria dos consumidores, que não ($P < 0,05$) manifestaram disposição em pagar a mais pelo produto. A avaliação dos fatores intrínsecos demonstrou que, a carne de búfalo foi considerada menos macia e suculenta ($P < 0,05$) em relação as carnes bovinas de Nelore e de Angus. As carnes tanto bubalinas quanto bovinas foram aceitas, porém a carne de búfalo obteve menor ($P < 0,05$) menor aceitação e intenção de compra. Portanto, os búfalos de diferentes sistemas de produção (carne e leite) produz carne de qualidade similar. A carne comercial de búfalo alcança maior maciez mais cedo durante a maturação do que a carne de bovinos Nelore. Apesar de a carne de búfalo apresentar

qualidade sensorial, foi considerada menos macia e succulenta quando comparada a carne de bovinos Nelore e Angus *Premium*. Desse modo a carne de búfalo possui mercado específico de consumidores, que não estão dispostos a pagar a mais por essa carne, mesmo com alegações nutricionais favoráveis no seu rótulo.

Palavras-chave: *Bubalus bubalis*. *Rigor mortis*. Maciez. Compostos voláteis. Análise conjunta.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. Panorama da bubalincultura no Brasil.....	16
2.2. Produção e consumo de carne de Búfalo.....	17
2.3. Características de carne de búfalo.....	19
2.4. Bioquímica <i>post mortem</i>	23
2.4.1. Desenvolvimento do <i>rigor mortis</i>	24
2.4.2. Influência do pH no desenvolvimento do <i>rigor mortis</i>	25
2.4.3. Influência da temperatura no desenvolvimento do <i>rigor mortis</i>	26
2.6. Maturação.....	28
2.7. Perfil de voláteis.....	31
2.8. Análise sensorial da carne.....	32
3. CONCLUSÃO.....	35
4. REFERÊNCIAS.....	36
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	44
ARTIGO 1 - Rigor development and meat quality of Murrah buffalo from different production systems.....	45
ARTIGO 2 - Murrah buffalo and Nellore cattle meat quality evaluation during aging.....	63
ARTIGO 3 - Influência de fatores intrínsecos e extrínsecos sobre a percepção sensorial e na intenção de compra da carne de búfalo por consumidores do Sudeste do Brasil.....	88

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

O Brasil dispõe do maior rebanho de búfalos do ocidente, porém, o comércio de sua carne não é estabelecido e explorado como na Índia, China, Paquistão e Egito. As características zootécnicas dos bubalinos, como adaptação aos trópicos, rusticidade e por ser uma pecuária alternativa a espaços não ocupados por bovinos, além da necessidade de aumento na produção de alimentos proporcional ao aumento da população mundial, torna-se interessante o maior investimento na criação e abate de búfalos no Brasil.

A maior parte do rebanho bubalino brasileiro é constituído pela raça Murrah, que possui dupla aptidão (produção de carne e leite), o que dificulta a padronização dos animais destinados ao abate, pois a produção de carne de fêmeas provenientes de rebanhos leiteiros, é uma prática comum. Assim, variações de sexo, idade, manejo e alimentação para produção de carne bubalina ocorrem no Brasil e em países como Índia, Turquia e Itália. Desse modo, às fêmeas provenientes da produção leiteira são relacionadas à produção de carne com qualidade de carne inferior. Isso ocorre principalmente pela diferença de idade para os machos de corte, pois, espera-se que animais mais velhos possuam maior número de ligações cruzadas de colágeno e, conseqüentemente menor maciez de carne.

No entanto, a ausência de parâmetros para a classificação dos animais, faz com que as fêmeas jovens provenientes da produção leiteira também sejam classificadas como produtoras de carne de menor qualidade pelos abatedouros. Destinar fêmeas leiteiras ainda ao abate é uma prática comum dos criadores para a renovação do seu rebanho, cuja principais causas são a menor produção de leite em relação a média do rebanho, o primeiro parto tardio e as infecções, como a mastite, que aquando mal tratadas comprometem a produção de leite. Contudo, as diferenças entre os sistemas de produção de búfalos leiteiros e de corte, em que as búfalas leiteiras são animais que, em geral, apresentam menor movimentação e maior docilidade, torna possível que, quando abatidas ainda jovens produzam carne de boa qualidade.

Portanto, esse trabalho objetivou avaliar o *rigor mortis* e a qualidade de carne do músculo *Longissimus thoracis* de carcaças de búfalo (*Bubalus bubalis*) da raça Murrah, de sistemas de produção de corte e de leite, submetidos a um regime de refrigeração lento; comparar a qualidade de carne de contrafilés de búfalo e de bovino Nelore comercial submetidos a maturação; avaliar a tomada de decisão de compra de carne vermelha pela análise conjunta de fatores extrínsecos (tipo de carne, preço e avisos nutricionais) e

intrínsecos (maciez, suculência e sabor) da análise sensorial de carne de búfalo em relação às carnes *Premium* de bovinos Nelore e Angus.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Panorama da bubalinocultura no Brasil

Embora a espécie bovina *Bos taurus taurus* e *Bos taurus indicus* manifestem características semelhantes (fenotípicas e anatômicas) aos bubalinos (*Bubalus bubalis*), cada uma delas apresenta particularidades fisiológicas associadas à sua evolução em seus ambientes de origem. Atualmente a bubalinocultura predomina em países localizados em regiões tropicais, em que há maior capacidade adaptativa e de produtividade desses animais (MARCONDES, 2011). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2018, o rebanho brasileiro correspondeu a 1,39 milhão de animais e foi apontado como o país de maior produção de bubalinos do ocidente (IBGE, 2019).

Segundo Azevêdo, Souza e Carneiro (2017), o Brasil possui três principais raças de búfalos, sendo uma de origem italiana, a Mediterrâneo e duas indianas, a Murrah e a Jafarabadi. A raça Murrah, é apresentada com grande potencial para a produção de leite e carne (ALVES; FRANZOLIN, 2015; AZEVÊDO; SOUZA; CARNEIRO, 2017), justificando o crescente interesse dos produtores de búfalos com dupla finalidade, bem como a inserção de fêmeas de descarte para a produção de carne.

No Brasil, os búfalos foram inseridos ao final do século XIX, na região Norte do país, Ilha de Marajó (BERNARDES, 2006; NAVEENA; KIRAN, 2014). Como consequência, a região possui maior rebanho do país, concentrando-se no estado do Pará, que dispõe de 36% do total de búfalos brasileiros e apresenta como finalidade principal a produção de carne (BERNARDES, 2007). Já na região sudeste, a maior concentração bubalinos são voltados para a pecuária leiteira (MARQUES et al., 2016).

Normalmente a criação dos búfalos é feita predominantemente em sistemas extensivos, em pequenas e médias propriedades, em áreas de várzea, com predominância de forragens nativas (ANDRIGHETTO et al., 2008), em sua maioria sem o uso de concentrados, com pouca ou nenhuma suplementação de volumosos em épocas de baixa oferta alimentar (BERNARDES, 2007). De uma maneira geral, quando os búfalos são mantidos em sistemas intensivos apresentam ganho de peso satisfatório, sendo equivalentes ou até mesmo superior aos bovinos zebuínos em mesmas condições (LAPITAN et al., 2008; RODRIGUES et al., 2004).

No que diz respeito às características zootécnicas, os bubalinos são apontados como animais mais resistentes do que os bovinos às doenças, como a brucelose (BORRIELLO et al.,

2006). Embora os búfalos sejam acometidos pelos mesmos parasitas que os bovinos, os búfalos são ditos mais resistentes devido à sua rusticidade (MARQUES, 2000). Da mesma forma, podem ser mais tolerantes as intoxicações, como à proveniente de alimentação da planta *Palicourea marcgravii* (*Rubiaceae*), de grande importância no Brasil (BARBOSA et al., 2003).

Os bubalinos também são ditos mais eficientes na conversão alimentar em relação aos bovinos em função de sua fisiologia digestiva, pois possuem maior população bacteriana no rúmen e maior comprimento do trato digestivo, permitindo o melhor aproveitamento dos componentes fibrosos, mesmo de forragens com baixa qualidade nutricional. De forma geral são caracterizados como animais dóceis, rústicos, precoce e de longa vida, sendo uma boa alternativa para a produção de proteína nobre (FERREIRA, 2018).

2.2. Produção e consumo de carne de Búfalo

Em 2013, países como a Índia, China, Nepal e Paquistão foram definidos como os maiores produtores de carne de búfalo do mundo. Devido à religiosidade da população indiana, o consumo de carne vermelha na Índia compreende em grande parte de carne de búfalo (NAVEENA; KIRAN, 2014). O grande investimento da Índia na bubalinocultura possibilitou no ano de 2013 a sua maior exportação em relação à produção brasileira de carne vermelha (FAOSTAT, 2013; NAVEENA; KIRAN, 2014). A produção de carne de búfalo é realidade em países menos industrializados e tem se apresentado como uma alternativa por produzir carne de boa qualidade, pois, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2017), há uma necessidade de expansão da produção de alimentos de alto valor biológico para compor a alimentação da população prevista em 2050.

Embora o consumo de carne de búfalo no Brasil ainda seja considerado como uma prática exótica em algumas regiões, devido à falta de oferta e disponibilidade de produtos, possui grande potencial, pois, de acordo com Andrighetto et al. (2008) e Marques et al. (2016), os consumidores brasileiros apresentam boa aceitação para os atributos sensoriais, como maciez e sabor, para a carne de búfalo. Contudo, devido à dupla aptidão dos animais (carne e leite) não há especificidade e definição do mercado, dificultando a discriminação e padronização dos animais abatidos e conseqüentemente da qualidade da carne.

Em geral, a comercialização da carne de búfalo ocorre como produto de alta qualidade em mercado *gourmet* ou como bovina, quando são atribuídas de menor qualidade, sendo destinadas à charquearia. Também há registros de fraudes, em que se tem a substituição

parcial de carne bovina por bubalina em hambúrgueres (HOSSAIN et al., 2017) e carnes moídas (OLIVEIRA et al., 2015). Quando a carne é proveniente de touros e vacas de rebanho de cria ou fêmeas da criação leiteira, o quilograma do peso vivo de animais de descarte é, em sua maioria, inferior em relação àqueles criados para corte por ser naturalmente atribuída de qualidade inferior (RODRIGUES et al., 2015).

O maior desafio do produtor é equilibrar a estratégia de descarte com a produção minimizando os prejuízos, ou seja, compreender o melhor momento para a renovação do rebanho. Normalmente, quando os animais provenientes da pecuária de leite não geram retorno econômico para os criadores ou possuem alguma limitação física ou de fertilidade ou de idade são destinados ao abate (NAVEENA et al., 2011b). Os atributos de maior dureza, cor escura e de intenso sabor são atribuídos a esse tipo de carne devido a associação à idade do animal, embora a idade não seja o melhor parâmetro discriminativo (BESERRA et al., 2004; MADRUGA et al., 2008), bem como o sistema de produção, pois alguns animais são descartados ainda jovens.

O confinamento dos animais de descarte na etapa de terminação é sugerido como alternativa para o ganho de peso do animal e conseqüentemente na qualidade de carne, principalmente no que se refere à maciez e suculência (VAZ et al., 2002; VESTERGAARD et al., 2007). Vestergaard et al. (2007) avaliaram a qualidade de carnes de vacas de descarte terminadas em confinamento com a de novilhos e concluíram que as de descarte apresentavam maiores pesos de carcaça e maior espessura de gordura subcutânea.

Devido ao fato de a maior população de búfalos encontrar-se na Ásia, os trabalhos científicos sobre a qualidade de carne desses animais também estão concentrados nessa região (KANDEEPAN et al., 2009; KIRAN et al., 2016; LI et al., 2018; RAJ et al., 2000; DOSI et al., 2007; NAVEENA; KIRAN et al., 2011). Assim, as características de qualidade da carne compreendidas nesses trabalhos podem não abranger significativamente às produções brasileiras e de demais países, em função da diferença genética dos rebanhos e sistema de abate. Na Índia, por exemplo, existem mais de 19 raças de búfalos reconhecidas e outras ainda não reconhecidas com importância econômica (FERREIRA, 2018), e o processo de abate é conduzido de forma diferente do sistema de abate brasileiro, como o método Halal (FAROUK et al., 2014).

A produção científica brasileira e demais países da América do Sul no que se refere à qualidade da carne tem crescido nos últimos anos em função da recente valorização desse mercado (IRURUETA et al., 2008; LUZ et al., 2017; MARQUES et al., 2016; MACHADO et

al., 2016), contudo, ainda não há pesquisas que avaliem as diferenças entre macho e fêmea provenientes de diferentes sistemas de produção.

2.3. Características de carne de búfalo

A qualidade da carne possui grande relação com os fatores intrínsecos ao animal (sexo, idade, espécie e raça), com a sua dieta alimentar e ao seu manejo (intensivo e/ou extensivo). Assim, para diferentes grupos de animais são esperadas variações em características de qualidade da carne, como pH, capacidade de retenção de água, força de cisalhamento, índice de fragmentação e cor (RAMOS; GOMIDE, 2017; WARNER et al., 2010).

Appa Rao, Thulasi e Wilfred Ruban (2009) avaliaram o efeito do sexo e idade (de 6 meses a 2 anos, de 2 a 4 anos e acima de 4 anos) nas características da carne de búfalo indiano comercial e concluíram que esses efeitos exercem grande influência na qualidade de da carne. As fêmeas apresentaram menor valor de pH (6,58) em relação aos machos (6,72) imediatamente após abate, contudo, a diferença não permaneceu após 24 h, 48 h e 7 dias *post mortem* (pH 5,65). Foi percebido que animais com idade mais avançada possuíam maior diâmetro da fibra muscular, em decorrência das variações fisiológicas e bioquímicas dos tipos de fibras musculares presentes. Para a cor da carne, foi verificado aumento nos valores de C^* (saturação) com a idade do animal, indicando uma tonalidade mais intensa na carne dos animais mais velhos. Para o efeito dos sexos, foi verificado que os machos apresentavam maiores valores de h (tonalidade) do que as fêmeas. Os búfalos machos apresentaram menor capacidade de retenção de água e maiores valores para a força de cisalhamento (*Warner-Bratzler Shear Force*) após 24 h *post mortem* (macho 4,96 Kgf e fêmea 3,88 Kgf) e com 7 dias de armazenamento (macho 3,61 Kgf e fêmea 2,73 Kgf).

Nos estudos de Kandeepan et al. (2009), foram verificadas as diferenças entre búfalos machos jovens (< 18 meses), machos e fêmeas de idade avançada (> 10 anos) 24 h *post mortem*. Os valores de pH para os búfalos machos (5,59; > 10 anos) foram superiores aos das fêmeas (5,52; > 10 anos). Os búfalos jovens apresentaram maiores valores para a solubilidade de colágeno, teor de pigmentos de mioglobina e comprimento do sarcômero. Para força de cisalhamento, foram verificados menores valores para os machos jovens (60,60 N), em seguida para os machos com idade 10 anos (81,90 N) e as fêmeas com idade 10 anos apresentaram maior dureza (93,81 N). Resultados similares foram encontrados na análise

sensorial para o atributo de maciez. As fêmeas velhas apresentaram menor capacidade de retenção de água em relação aos machos (jovens e de idade avançada).

Devido às similaridades fenotípicas e anatômicas entre os bubalinos e bovinos, muitos são os estudos comparativos da qualidade de carne entre as espécies. Ao avaliar os índices de cor da carne descongelada de bovinos italianos (Frisian) e búfalos (Mediterrâneo) com 4, 8 e 12 meses de idade, Tateo et al. (2007) sugeriram que a carne bubalina apresentou maior capacidade de conservação de suas características quando descongeladas, visto que o pH permaneceu mais estável durante o armazenamento, bem como a cor da carne. Também foi verificado que a carne bovina apresentou maior tendência em produzir oximioglobina (OMbO), enquanto a carne de búfalo, o pigmento de metamioglobina (MMb). Dosi et al. (2007) encontraram cor mais escura para a carne de bubalinos (*water buffalo*) quando comparadas à carne bovina comercial, entretanto, não observaram variação na oxigenação (*blooming*) da mioglobina, mas sim no teor de mioglobina ($0,393 \pm 0,005$ g/100 g de tecido) e MMb ($0,209 \pm 0,003$ g/100 g de tecido) na carne de búfalo, sendo esse valor duas vezes superior à encontrada em carne bovina.

No trabalho de Rodrigues e Andrade (2004), foram comparadas as características físico-químicas da carne (*Longissimus dorsi*) de bubalinos Mediterrâneo e de bovinos Nelore x Sindi, ambos castrados e inteiros. Os resultados apontaram que para a carne de búfalo, a castração não afetou a deposição de gordura. Quando comparados aos bovinos, os búfalos apresentaram um teor de gordura 7% menor.

De acordo com Murthy e Devadason (2003), a carne de búfalo apresenta mais benefícios à saúde quando comparada à bovina em virtude de seu menor percentual de ácidos graxos saturados e de colesterol, e seu maior percentual de proteínas. Também nos trabalhos de Giuffrida-Mendoza et al. (2015) foi atribuída à carne bubalina melhores benefícios à saúde quando avaliado o índice aterogênico (IA), em que se mede o risco cardiovascular. Os músculos bovinos (Brahman) apresentaram maiores valores de IA em relação aos búfalos d'água (*water buffalo*).

Ao comparar búfalos italianos e touros italianos mantidos com mesma dieta alimentar, Spanghero et al. (2004) concluíram que os músculos *Longissimus thoracis* e *semitendinoso* de bubalinos apresentavam cor vermelha mais intensa, melhor perfil lipídico e maior maciez. Foram verificados maior percentual de ácido oleico e de gordura de marmoreio para os búfalos e menor força de cisalhamento (búfalos 46,3 N e bovinos 68,8 N).

Já no trabalho de Hassan et al. (2018), realizado no Egito com carnes importadas congeladas de bovino (brasileira) e búfalo (indiano), não foram verificadas diferenças no total

de ácidos graxos insaturados e saturados, exceto C14:0 (ácido tetradecanoico), que foi significativamente maior nos bovinos. Contudo, os músculos de bubalinos apresentaram maior teor de proteínas. Foi verificada maior solubilidade de colágeno nos bovinos e menor índice de vermelho (a^*). Na análise sensorial foram verificadas melhores notas de aparência, maciez e suculência para a carne bovina.

Já no trabalho de Rodrigues e Andrade (2004) foram registrados menores valores para a força de cisalhamento para carnes de búfalos Mediterrâneos (3,75 Kgf) do que para bovinos Nelore (5,9 Kgf) e F1 Nelore x Sindi (4,85 Kgf), 24 h *post mortem*.

Poucas são as pesquisas a respeito da bioquímica da carne de búfalo e, ainda há muito para ser investigado. Em pesquisas realizadas com o músculo *Longissimus thoracis* foram obtidos resultados sugerindo que a carne de búfalo apresenta atividade proteolítica significativamente maior que a bovina (NEATH et al., 2006; 2007). Neath et al. (2006) avaliaram as alterações de amaciamento e o declínio de pH dos músculos *Longissimus thoracis* e *semimembranosus* 48 horas *post mortem* de búfalas mestiças (Carabao e Murrah) e fêmeas de gado mestiços (Brahman e filipino nativo), submetidos a mesma dieta e abatidos com 30 meses de idade. As búfalas apresentaram maior espessura de gordura de cobertura em relação aos bovinos. Foi concluído que as carcaças das búfalas obtiveram declínio lento de pH em relação à bovina, visto que no tempo 0 horas *post mortem* as búfalas apresentaram pH de 6,7 e os bovinos pH 6,3, ambos atingiram pH final (5,5) com 48 h *post mortem*, sendo atribuído aos bubalinos maior capacidade tamponante do músculo. Foram verificadas maiores degradações da proteína troponina T nos músculos das búfalas. Também foi verificada diferença nos valores da força de cisalhamento, de modo que a carne de búfala apresentou maior maciez com 2 e 7 dias *post mortem* (67 e 37 N, respectivamente) em relação aos bovinos (73 e 53 N), sendo esse achado atribuído à maior atividade das calpaínas.

Em outro estudo Neath et al. (2007) concluíram que não houve diferenças na atividade de calpastatina e na expressão das calpaínas nos músculos bubalinos e bovinos. A diferença foi atribuída à possível atividade de calpaína precoce nas primeiras horas *post mortem*.

A percepção da maciez da carne está relacionada aos fatores *ante mortem* (intrínsecos) e *post mortem* (extrínsecos) (BIANCHINI et al., 2007). Os fatores intrínsecos são aqueles relacionados: 1) ao animal (músculo, sexo, raça, espécie e idade), impactando sob o teor de colágeno insolúvel, gordura de marmoreio e teor de calpastatina; 2) ao manejo de criação (sistema de criação e dieta alimentar), devido à maior ou menor atividade muscular, alterando o teor de colágeno insolúvel e gordura de marmoreio; 3) e o manejo pré-abate (em especial, o estresse crônico), que interfere no teor de glicogênio muscular, composto que prediz a

extensão da glicólise durante a conversão do músculo em carne (LAWRIE; LEDWARD, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017; WARNER et al., 2010).

Como exemplo, para os bovinos já foi elucidada a associação entre o genótipo do *Bos taurus* e sua maior maciez de carne em relação a de *Bos indicus* (SHACKELFORD, WHEELER; KOOHMARAIE, 1995; WHIPPLE et al., 1990; WHEELER et al., 1990). A maior maciez de carne dos bovinos taurinos está relacionada ao menor conteúdo de calpastatina desses animais, possibilitando maior taxa de ação das calpaínas (KOOHMARAIE, 1994; WHEELER et al., 1990), e a sua maior deposição de gordura intramuscular (marmoreio), uma vez que estimulam as papilas gustativas e favorecem a percepção de maciez (WHEELER; CUNDIFF; KOCH, 1994).

Segundo Koohmaraie (1992), a variação na maciez de carne bovina encontra-se relacionada ao percentual de marmoreio e de colágeno (15 %), de forma que carnes mais marmorizadas e com baixo percentual de colágeno proporcionam a maciez, e cerca de 85 % da textura verificada corresponde à proteólise *post mortem*, por enzimas endógenas. De acordo com Ramos e Gomide (2017), avaliar somente o conteúdo de colágeno não é suficiente para prever a sua influência sob a maciez de carne, mas sim o perfil de suas ligações cruzadas e suas respectivas frações, solúveis e insolúveis, visto que músculos mais macios possuem menor número de ligações cruzadas e conseqüentemente maior fração de colágeno solúvel e menor fração insolúvel.

Já os fatores extrínsecos estão relacionados aos efeitos *post mortem* e são divididos em dois momentos: 1) desenvolvimento do *rigor mortis*, em que são importantes a forma de pendura das carcaças, estimulação elétrica das carcaças, a taxa de refrigeração e o comportamento do declínio de pH, pois influenciam na modificação da estrutura e na bioquímica muscular que podem intensificar ou não o enrijecimento do músculo; 2) armazenamento *post rigor*, resultando em alterações estruturais miofibrilares em decorrência das ações enzimáticas (KOOHMARAINE; GEESINK, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017; WARNER et al., 2010). Também são consideradas as influências de diferentes metodologias de cocção de carne na maciez, de forma que a medida em que a temperatura aumenta é esperada maior dureza de carne, visto que assume condições desnaturantes para as proteínas miofibrilares (RAMOS E GOMIDE, 2017; VASANTHI, VENKATARAMANUJAM E DUSHYANTHAN, 2007).

Em geral, a avaliação da maciez de carne ocorre através de testes instrumentais, em especial pela determinação da força de cisalhamento pelo método de *Warner-Bratzler square Shear Force* (WbsSF) (SILVA et al., 2015) e por análises sensoriais (ANDRIGHETTO et al.,

2014; AWAN et al., 2014; CANOZZI et al., 2016), com provadores treinados ou não treinados (consumidores), sendo que a determinação da maciez através desses dois métodos instrumentais e sensoriais podem ou não apresentar correlação positiva entre si, em virtude da maior complexidade na percepção sensorial (VAN WEZEMAEL et al., 2014).

2.4. Bioquímica *post mortem*

Durante o abate é realizada a sangria do animal, conseqüentemente a pressão sanguínea é reduzida e têm-se o fim da homeostasia. Devido à ausência de funcionamento do sistema respiratório e circulatório, o músculo não recebe nutrientes e oxigênio e não há recolhimento de produtos finais do metabolismo dos tecidos corporais. Por essa razão, as fontes de energias se limitam ao conteúdo da célula muscular, que tenta manter ativa a produção de ATP (adenosina trifosfato) (LAWRIE; LEDWARD, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017; ERTBJERG; PUOLANNE, 2017).

Os mecanismos utilizados para a produção de energia são limitados, mas permitem que o músculo consiga manter a atividade metabólica ativa por período significativo. O músculo dispõe: 1) da via de fosfocreatina, responsável por promover energia imediata (via menos energética); 2) da via aeróbica ou oxidativa, que promove a conversão de glicose em piruvato que é direcionado ao ciclo de Krebs e utiliza o oxigênio presente na mioglobina comoceptor de elétrons na cadeia transportadora de elétrons, produzindo ATP, CO₂ (dióxido de carbono) e água; e 3) da via anaeróbica ou glicolítica em que o lactato é utilizado comoceptor de elétrons ao promover a conversão do piruvato em lactato, ainda que esse mecanismo seja menos eficiente energeticamente do que o oxidativo, ele ocorre, pois o objetivo principal da célula é recuperar o potencial redutor da mesma ao regenerar a molécula de NAD⁺ (dinucleotídeo de nicotinamida e adenina oxidado) (ÁLVAREZ et al., 2019; HONIKEL, 2014; LAWRIE; LEDWARD, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017; ERTBJERG; PUOLANNE, 2017).

Com o esgotamento do oxigênio (O₂) muscular, o teor de glicogênio muscular pós abate prediz a extensão da glicólise *post mortem* que impacta diretamente no pH final de carne. Assim, a fisiologia das fibras musculares é responsável pelas variações de pH da carne e no tempo de *rigor mortis*, em que se tem as situações de: predominância das fibras oxidativas (vermelhas, de contração lenta) com menor conteúdo de glicogênio e maior reserva de O₂ ou de predominância de fibras glicolíticas (brancas, de contração rápida) em que se tem maior reserva de glicogênio muscular. Em geral, o teor de glicogênio é dependente não

somente da proporção de fibras oxidativas/glicolíticas (variam de acordo com músculo analisado, idade, manejo e sexo), mas do estado nutricional e hormonal, principalmente no que diz respeito ao estresse no manejo pré-abate (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017; LAWRIE ; LEDWARD, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017).

Com o desenvolvimento do mecanismo anaeróbico e a redução do pH (acidose láctica), ocorre a inativação das enzimas glicolíticas impossibilitando a fosforilação da molécula de ADP (adenosina difosfato), ou seja, nesse momento a contração torna-se irreversível (ÁLVAREZ et al., 2019; HONIKEL, 2014; LAWRIE; LEDWARD, 2006; RAMOS; GOMIDE, 2017).

2.4.1. Desenvolvimento do *rigor mortis*

O processo de *rigor mortis* desencadeia uma série de alterações estruturais e bioquímicas no músculo e é dependente tanto do manejo *ante mortem* do animal quanto das técnicas de armazenamento das carcaças. O conjunto desses fatores afeta diretamente a qualidade da carne e, por essa razão, cada um deles devem ser conhecidos e/ou controlados. Foi sugerido por Bate-Smith e Bendall (1946) que o processo de rigor estaria associado à extensibilidade do músculo e foram atribuídas três fases para o seu desenvolvimento: a fase de atraso, fase rápida e fase pós-rigor. Em um primeiro momento, quando a carcaça entra no estágio de pré-rigor ou fase de atraso (*delay phase*), sua extensão é majoritariamente dependente da quantidade de glicogênio presente no músculo. Uma vez que ainda há produção de ATP (adenosina trifosfato) pelos mecanismos de fosfocreatina, glicólise e principalmente, pelo mecanismo anaeróbico convertendo piruvato em ácido láctico, nesse momento o músculo ainda manifesta extensibilidade (BATE-SMITH; BENDLL, 1946; HONIKEL, 2014; RAMOS; GOMIDE, 2017; LAWRIE; LEDWARD, 2006).

Quando as concentrações de ATP se encontram em torno de 1 μ mol/g no tecido muscular é desenvolvido o rigor (*onset phase*), marcado pela rápida perda de extensibilidade, quando o complexo de actomiosina formado não consegue retornar à posição inicial (estado relaxado), conseqüentemente o encurtamento do sarcômero torna-se irreversível. A presença de ácido láctico proporciona as condições necessárias para a promoção do complexo de actomiosina irreversível, ou seja, favorece liberação de cálcio e redução do conteúdo de ATP (BATE-SMITH; BENDLL, 1946; HONIKEL, 2014; RAMOS; GOMIDE, 2017). Na etapa de conclusão do rigor (*post rigor phase*), a extensibilidade volta a ser constante, porém com valores mínimos devido à ação proteolítica de complexos enzimáticos, principalmente das

calpaínas. As concentrações de ATP se aproximam de 0,1 $\mu\text{mol/g}$ no tecido muscular. O desenvolvimento do *rigor mortis* ocorre normalmente durante as primeiras 24 h *post mortem* em bovinos e é dependente do binômio pH e temperatura do teor de glicogênio presente no músculo (BATE-SMITH; BENDLL, 1946; HONIKEL, 2014; RAMOS; GOMIDE, 2017).

As alterações bioquímicas e estruturais do músculo durante sua conversão em carne são acompanhadas através do teor e presença de metabólitos, tais como glicose, glicogênio, ATP, adenosina difosfato (ADP), ácido láctico, e pelo comprimento do sarcômero (RAMOS; GOMIDE, 2017). À medida que a reserva de energia de fosfocreatina muscular é reduzida, os níveis de ATP também diminuem, ocorrendo a degradação de ATP à hipoxantina. A relação do consumo de ATP é estimada pelo valor-R, em que a razão das absorvâncias em 260 nm (nucleotídeos de adenina: ATP, ADP e AMP) e 250 nm (IMP, ionosina e hipoxantina) permite estimar o início e o fim do rigor, quando os valores de R estão entre 1,05 e 1,10 e próximos a 1,30, respectivamente (HONIKEL; FISCHER, 1977). De acordo com Honikel et al. (1981), o pH também pode ser utilizado para estimar o início e o término do *rigor mortis*, de modo que quando este se encontra próximo a 5,9, é caracterizado como início do rigor e este é finalizado quando o pH se aproxima de 5,5.

2.4.2. Influência do pH no desenvolvimento do *rigor mortis*

A principal diferença na resposta do *rigor mortis* no que tange à queda de pH, está na diferença entre as espécies de animais de abate e suas proporções de fibras vermelhas e brancas. De uma maneira geral, o rigor se dá de forma mais rápida em músculos com menor proporção de fibra oxidativa (fibra vermelha), pois as fibras brancas são de contração rápida e não conseguem manter o metabolismo *post mortem* por muito tempo, como é o caso das aves, cuja fase de atraso do rigor é de apenas 1 hora e a de suínos de 4 horas. Nessas espécies o pH decresce mais rapidamente e o rigor se instala em poucas horas *post mortem*. Já em animais de maior proporção de fibras vermelhas, o rigor se dá tardiamente como é percebido em bovinos (18 horas) e ovinos (12 horas) (HONIKEL, 2014; RAMOS; GOMIDE, 2017).

Qualquer influência externa que implique na redução do teor de glicogênio muscular, como o estresse fisiológico do animal ou movimentação excessiva, promove redução no tempo da fase de atraso (ou fase pré-rigor) devido à diminuição da extensão da glicólise *post mortem*. Consequentemente, o pH final da carne assim como seu declínio podem exibir comportamentos diferentes do considerado normal, implicando diretamente na qualidade da carne. Dessa forma, carnes pálidas, com textura flácida e bastante exsudativas (carnes PSE, do

inglês *pale, soft and exudative*) podem se originar em animais que sofrem estresse agudo (KIM; WARNER; ROSENVOLD, 2014) enquanto carnes de cor escura, textura firme e não-exsudativas (carnes DFD, do inglês *dark, firm and dry*) podem ser recorrentes em animais que sofreram estresse crônico (ADZITEY; NURUL, 2011).

De acordo com Kim, Warner e Rosenvold (2014), quando há algum tipo de estresse agudo no animal, a reserva de glicogênio é reduzida de tal forma que ainda nas primeiras horas *post mortem* o pH final da carne é atingido, ou seja, há uma acentuada queda de pH ainda em temperaturas elevadas. As condições de elevadas temperaturas e baixo pH são condições desnaturantes para as proteínas, gerando carnes de aparência pálida, de textura flácida e exsudativa.

Para animais de maior proporção de fibra vermelha, como os bovinos e bubalinos, o desenvolvimento de carnes DFD é mais recorrente. Essa alteração acontece quando os animais são submetidos à estresse crônico e é caracterizada principalmente pela baixa queda de pH, originando carnes com maior capacidade de retenção de água (CRA), menor exsudação, porém com coloração mais escura quando comparado com a carne considerada normal, que apresenta uma coloração vermelha, textura firme e exsudação considerada normal (carne RFN, do inglês *red, firm and normal*), e possui pH final em torno de 5,6 (ADZITEY; NURUL, 2011).

Porém alguns estudos consideram que, quando se trata de espécies com proporções de fibras vermelhas semelhantes, a capacidade tamponante do músculo também é relevante, como observado em estudos comparativos entre bovinos e cordeiro (GEESINK; BEKHIT; BICKERSTAFFE, 2000) e bovinos e bubalinos (NEATH et al., 2006). De acordo com Neath et al. (2006), os bubalinos manifestaram baixa taxa na redução do pH. Não foi atribuído a esse resultado diferença entre a composição das fibras e o conteúdo de glicogênio muscular, mas à capacidade tamponante do músculo, de modo que os bubalinos apresentaram menor taxa de variação no pH.

2.4.3. Influência da temperatura no desenvolvimento do *rigor mortis*

A curva de declínio de temperatura das carcaças *post mortem* é de grande importância para a qualidade da carne (no que diz respeito à maciez e capacidade de retenção de água-CRA) e segurança microbiológica, para o manuseio dos músculos. Em função disso, as condições físicas específicas de resfriamento são discutidas como prejudiciais ou benéficas à qualidade da carne.

Quando o músculo pré-rigor é submetido à temperaturas inferiores a 15°C, a queda de temperatura muscular reduz drasticamente, esse efeito é denominado encolhimento pelo frio (EPF; *cold shortening*), que é um tipo ainda mais severo de *rigor mortis*. Nessa condição a via metabólica é inibida significativamente com teores de ATP relativamente altos no músculo, desencadeando um rigor tardio (DRANSFIEL; LOCKYER, 1985). O EPF resulta em uma contração muscular três vezes mais intensa do que ocorre naturalmente no *rigor mortis*, ou seja, ao final a carne apresenta maior dureza devido ao aumento da permeabilidade do retículo sarcoplasmático para o cálcio (DRANSFIEL; LOCKYER, 1985). Esses defeitos acometem principalmente em animais de maior proporção de fibras vermelhas devido ao fato de possuírem maior teor de mitocôndrias, o que resulta em um tempo de pré-rigor mais longo. Em músculos mais expostos, como é o caso do contrafilé, há naturalmente maior troca de calor com o ambiente em relação a músculos localizados mais internamente, o que propicia ainda mais o desenvolvimento desse defeito (RAMOS; GOMIDE, 2017).

Como prevenção do encurtamento pelo frio é sugerida a estimulação elétrica das carcaças após a sangria, assim as carnes podem ser resfriadas ou congeladas com a segurança de que a concentração de ATP se encontra baixa (DAVEVY; GILBERT; CARSE, 1976). De acordo com Hwang e Thompson (2001), a maciez da carne estimulada eletricamente está relacionada à prevenção do encurtamento pelo frio, ativação da atividade proteolítica de enzimas e o rompimento físico do sarcômero com altas cargas elétricas dispensando ou reduzindo ao período de maturação. Quando se descongela músculos congelados pré-rigor são congelados, o denominado rigor de descongelamento resulta em uma dureza ainda mais intensa. Ao descongelar o músculo, ocorre um excessivo fluxo salino, resultando em um acúmulo de cálcio (Ca^{+2}) no meio intracelular, o que intensifica o encurtamento, desencadeando, além da maior dureza, a redução da CRA (RAMOS; GOMIDE, 2017).

A manutenção de carcaças à temperatura elevada foi compreendida inicialmente como negativa à qualidade de carne, por também ocasionar o encurtamento do sarcômero, com efeitos prejudiciais à maciez e capacidade de retenção de água (DEVINE; WAHLGREN; TORNBERG, 1999; GEESINK; BEKHIT; BICKERSTAFFE 2000; KIM et al., 2014). Contudo, alguns estudos sugerem a ação proteolítica das calpaínas durante o rigor, em decorrência das condições de temperatura e pH próximos às condições fisiológicas do animal (POMPONIO; ERTBJERG, 2012). Foram obtidos resultados positivos na redução da força de cisalhamento devido à ação enzimática precoce, conforme observado nos estudos de Bekhit et al. (2007), Hwang et al. (2004) e Thomson et al. (2008).

Nos trabalhos de Hwang et al. (2004), os músculos de bovinos *M. longissimus* e *M. semitendinosus* foram incubados às temperaturas de 5 °C, 15 °C e 36 °C. Foi verificado aumento de cálcio livre extraível durante o início do *rigor mortis* nos músculos incubados à 36 °C e que houve encurtamento de sarcômero, de forma similar, para os músculos mantidos em temperaturas de 5 °C. Porém, àqueles à temperatura de 36 °C apresentaram maior atividade proteolítica, originando qualitativamente maiores fragmentos de proteínas, em especial, de Troponina T. A maior fragmentação miofibrilar à temperatura de 36 °C resultou em carnes de maior maciez para os cortes avaliados, sendo que a força de cisalhamento para o *M. longissimus* foi de 91,2 N (5°C) e 41,2 N (36°C), enquanto para o *M. semitendinosus* foi de 94,2 N (5 °C) e 48,1 N (36 °C). Por essa razão, observou-se que, quando a atividade proteolítica é ativada rapidamente, é possível obter carnes com maciez considerável, ainda que haja encurtamento do sarcômero.

Os músculos *Longissimus dorsi* de veados foram avaliados por Bekhit et al. (2007) sob diferentes temperaturas (0, 15, 25, 30, 35 e 42 °C) durante o rigor. Não foram estabelecidas tendências para as diferentes temperaturas, bem como para as perdas de cocção, gotejamento e solubilidade de proteínas, porém, os músculos mantidos à 42 °C apresentaram maiores perdas por cocção e gotejamento e menor solubilidade das proteínas, mas, apresentaram carnes de maior maciez.

Nos estudos de Thomson et al. (2008), músculos *Longissimus dorsi* de bovinos mantidos à temperatura de 37 °C até atingirem pH 5,6, apresentaram maior proteólise e menor força de cisalhamento (110 N) do que aqueles à 15 °C (130 N), porém, quando submetidos à maturação por 21 dias, os músculos mantidos à alta temperatura obtiveram menor redução na maciez (90 N) em relação aos de 15 °C (70 N), devido às condições de temperatura e força iônica do meio, que promoveram a instabilidade da enzima.

Diferentemente da manutenção da temperatura elevada, o *delay chilling* corresponde a um atraso no resfriamento, como acontece quando as carcaças são mantidas à temperatura ambiente nas primeiras horas *post mortem* (SAVELL; MUELLER; BAIRD, 2005; JACOB; HOPKINS, 2014). Raj et al. (2000) avaliaram os músculos *Biceps femoris* (BF), *Semimembranosus* (SM) e *Semitendinosus* (ST) de búfalas submetidas à regrigeração atrasada e à refrigeração imediata. Os músculos foram retirados com 2 horas *post mortem* e mantido à temperatura ambiente (26 ± 2 °C) por 6 horas. Em seguida os cortes foram refrigerados à taxa de 2 ± 3 °C por 18 horas. Foi registrada rápida queda de pH, variando de 6,5 para 5,6 em 6 horas *post mortem*. Também foram registradas maior maciez quando comparado àqueles cortes submetidos a refrigeração imediatamente *post mortem*. De acordo com Bhat et al.

(2018) a manutenção de carcaças em temperaturas acima de 25 °C e o aumento das concentrações de cálcio diminui a atividade de calpastatina e proporciona rápida atividade das calpaínas.

2.6. Maturação

O processo de maturação é utilizado com a finalidade principal de minimizar a inconsistência da maciez do músculo pós-rigor. O desenvolvimento da maciez nesse período é decorrente da ação enzimática de complexos endógenos que promovem a fragmentação de proteínas miofibrilares e citoesqueléticas, como a miosina, α -actina, desmina, troponina (I, C e T), nebulina (N1 e N2), vinculina, meta-vinculina, distrofina, titina, tropomiosina e proteína C (KOOHMARAIE; GEESINK, 2006). Porém, em outros estudos (KOOHMARAIO; GEESINK, 2006; KEMP et al., 2010), o surgimento de polipeptídios com 30KDa e degradações das toponina T, desmina e nebulina têm sido apresentadas com grande importância na proteólise dos componentes estruturais das miofibrilas.

Dentre os complexos enzimáticos envolvidas na degradação da estrutura miofibrilar estão as catepsinas lisossomais e as calpaínas (KOOHMARAIE; GEESINK, 2006; HUFF LONERGAN, ZHANG; LONERGAN, 2010). Entretanto, outros complexos também estão sendo estudados, como as caspases e o proteossoma, associados ao processo de apoptose celular como forma colaborativa na proteólise *post mortem* (KEMP et al., 2010; BARÓN, 2016). Porém, são consideradas de maior importância as atividades das calpaínas e catepsinas no amaciamento da carne, embora faça parte do complexo de calpaínas, as calpastatinas, inibidores específicos das calpaínas naturalmente presentes no sarcoplasma. Esses dois grupos enzimáticos possuem diferentes condições de ativação e de atividade ótima.

No trabalho de Koohmaraie (1992), foram consideradas três características fundamentais para as alterações *post mortem*, sendo elas a localização das enzimas (no músculo esquelético), acesso ao substrato (miofibrilas) e capacidade de hidrolisar as proteínas miofibrilares durante o armazenamento. Nesse sentido, à temperatura de armazenamento de 2-4 °C, as calpaínas foram apresentadas como o principal sistema proteolítico, por apresentar mesmo padrão de degradação do músculo dito maturado (Quadro 1) (KOOHMARAINE, 1992; NOWAK, 2011).

Convencionalmente a maturação acontece à temperatura acima do ponto de congelamento da carne -1,5°C, sob temperatura de refrigeração entre 0 e 4 °C. As calpaínas são consideradas de maior relevância na proteólise devido às suas condições de atuação. De

forma geral, as calpaínas são cálcio dependentes, ou seja, necessitam da presença do íon bivalente para atuar e são inibidas pela presença de calpastatina. As calpaínas estão localizadas no sarcoplasma, são consideradas neutras, pois, possuem atividade ótima em pH próximo ao neutro (7,0-7,5) e temperatura entre 10 e 25 °C. Enquanto as catepsinas estão localizadas no lisossomo, são consideradas proteases ácidas em razão de possuir ação em pH ácido (abaixo de 5,5) e possuem temperaturas ótimas elevadas, entre 25-35 °C. Além das proteínas miofibrilares e estruturais, as catepsinas L e D são capazes, de forma exclusiva, de degradar o colágeno (KOOHMARAIE, 1994; RAMOS; GOMIDE, 2017).

Quadro 1.1 - A ação das enzimas *in vitro*.

Efeito	Maturação	Calpaínas	Catepsinas
Degradação dos discos Z	✓	✓	✓
Degradação da titina	✓	✓	✓
Degradação da nebulina	✓	✓	✓
Degradação da desmina	✓	✓	
Degradação da miosina			✓
Degradação actina			✓
Degradação da troponina T	✓	✓	✓
Degradação da α -actina			✓
Surgimento de polipeptídeos com 30KDa	✓	✓	✓

Fonte: adaptado de Koohmaraie (1992).

As calpaínas são pertencentes a uma família de enzimas que possui ação proteolítica em meios redutores e são categorizadas em relação à necessidade de cálcio para a sua atuação. Segundo Goll et al. (2003), dentre as 14 isoformas conhecidas da calpaína, as mais caracterizadas são a m-calpaína (calpaína II) que demanda quantidades milimolares (~1mM) de cálcio, a μ -calpaína (calpaína II) que necessita de quantidades micromolares (5 a 100 μ M) e a calpaína p94 (calpaína III), que requer de 3000 a 4000 μ mol/L de cálcio para a ativação (KOOHMARAIE; GEESINK, 2006). Dentre as proteases da família das calpaínas, é atribuída à μ -calpaína a atividade principal no favorecimento da maciez *post mortem* (KOOHMARAIE et al., 1987).

2.7. Perfil de voláteis

A percepção do aroma está intimamente relacionada ao sabor, e à interação desses dois sentidos é denominada *flavor*. Em geral, as diferenças de perfis dos compostos voláteis estão relacionadas à fatores como a raça, sexo, idade e dieta do animal que impactam diretamente sobre a composição muscular de ácidos graxos e de aminoácidos livres, os quais são os reagentes de partida para as reações (KHAN; JO; TARIQ, 2015; RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013), bem como às temperaturas utilizadas durante o período de maturação e cozimento da carne, que influenciam na condição térmica das reações, favorecendo ou não a formação de precursores e de produtos finais (KHAN; JO; TARIQ, 2015; DOMÍNGUEZ et al., 2014). Também são sugeridas diferenças significativas para o perfil de compostos voláteis entre diferentes músculos, em função da diferença na composição dos músculos (como o teor de gordura, por exemplo) (LEGAKO et al., 2015).

A sensação sensorial de sabor e aroma desejáveis é associada à presença e intensidade de alguns compostos voláteis como benzaldeído, benzeno, sec-butanamina, butenal, n-ácido capróico, decanal, 2-decenal (CALKINS; HODGEN, 2007). Porém, também é possível a formação de compostos indesejáveis que produzem aromas e sabores desagradáveis (*off-flavor*), que normalmente estão associados à percepção de ranço, como o dimetilsulfeto, ácido butírico, propanol, heptanal e hexanal quando em altas concentrações (CALKINS; HODGEN, 2007).

A produção de compostos voláteis ocorre simultaneamente à atividade proteolítica das calpaínas, responsáveis principalmente por promover o amaciamento de carne *post mortem* (KOSOWSKA; MAJCHER; FORTUNA, 2017; KHAN; JO; TARIQ, 2015; WATANABE et al., 2015; LEGAKO et al., 2015), que pode ou não ser favorecida pela oxidação do pigmento de mioglobina devido à produção de radicais livres (RAMOS; GOMIDE, 2017). A produção de compostos voláteis possui início com a oxidação de lipídeos e proteínas, liberando carbonilas, aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e peptídeos, que com o processo de cocção de carne são liberados ou atuam como precursores para outras reações, como a degradação térmica da tiamina (vitamina B1) e a reação de Maillard, que em geral são responsáveis pela formação de aromas agradáveis da carne cozida (KOSOWSKA; MAJCHER; FORTUNA, 2017; KHAN; JO; TARIQ, 2015; WATANABE et al., 2015; LEGAKO et al., 2015).

O processo oxidativo em um sistema biológico necessita da presença de um catalisador (como o ferro, presente na mioglobina) e da formação espontânea de radicais

lipídicos ou da ocorrência da reação direta de ácidos graxos insaturados com oxigênio molecular, embora esta seja termodinamicamente desfavorável. A extensão da oxidação é dependente de uma série de fatores, tais como a composição dos ácidos graxos, do teor e da atividade em si de agentes categorizados em pro- e antioxidantes (como as vitaminas), da pressão parcial de O_2 , da estrutura dos miofilamentos e da quantidade de água retida, bem como daqueles fatores relacionados ao método de processamento (moagem e, ou embalagem), condições de armazenamento (temperatura, luz) e de cozimento (método, temperatura e duração) (ARAÚJO, 2019; KHAN; JO; TARIQ, 2015; RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013).

A oxidação lipídica ocorre em duas fases, sendo a primária, onde se tem a formação do radical lipídico – etapa de iniciação - e propagação da reação, e a secundária na qual ocorre a formação dos compostos voláteis. Acredita-se que o processo de iniciação da oxidação de lipídios pode ocorrer em função da decomposição de algumas espécies endógenas, como H_2O_2 (peróxido de hidrogênio), da presença de espécies exógenas (O_2 , O_3 , ou, óxidos NO_x^- , SO_3^-), da formação de radicais (O_2^- , LOO^\cdot , HO^\cdot , NO^\cdot) ou devido à incidência de agentes como a radiação ultravioleta, radiação ionizante e calor (ARAÚJO, 2019; RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013). No entanto, é amplamente aceito que o ferro é o agente catalítico fundamental no processo oxidativo em tecidos (FAUSTMAN et al., 2010). Em geral, o radical lipídico (L^\cdot) é formado a partir de um ácido graxo insaturado, de forma que os ácidos graxos que possuem maior número de ligações π (ácidos graxos poliinsaturados) apresentam maior taxa de oxidação, em função da maior estabilidade do radical. Na propagação, o radical L^\cdot interage com O_2 ou outras substâncias derivadas de oxigênio (HO^\cdot , $H_2O_2^\cdot$) e tem-se a formação do radical peroxil (LOO^\cdot), que pode interagir com outro triglicerídeo ou ácido graxo para produzir um hidroperóxido ($LOOH$) e outro radical, reiniciando o processo. Em geral, a cadeia de propagação é limitada quando os radicais se combinam com substâncias antioxidantes (vitaminas) ou proteínas (ARAÚJO, 2019; RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013).

Já na fase secundária, ocorre a decomposição dos $LOOH$ e a formação dos compostos voláteis, de forma que o tipo de composto gerado é dependente da cadeia alquílica do hidroperóxido e da posição onde ocorre a clivagem da ligação, podendo gerar aldeídos, cetonas e alcóois. Desta forma, também as proteínas musculares podem ser oxidadas em função da oxidação lipídica, íons metálicos e agente pró-oxidantes (BAO; ERTBJERG, 2019; KHAN; JO; TARIQ, 2015). Logo, a identificação e quantificação desses compostos voláteis podem ser utilizadas como indicadores de oxidação (ROSS; SMITH, 2006). Segundo Frank et

al. (2020), o aparecimento de compostos como o etanol, acetaldeído e acetona podem ser utilizados como possíveis marcadores pra indicar a deterioração de carne, sendo parâmetros não microbiológicos.

2.8. Análise sensorial da carne

A qualidade de um produto é atribuída a um conjunto de propriedades e percepções capazes de interagir com o homem que, por sua vez, podem agradar ou desagradar ao consumidor (HOCQUETTE et al., 2012), sejam elas sensoriais (como aparência, sabor, textura, aroma e cor), psicológicas ou de marketing (*design*, informações na embalagem, características sociodemográficas e culturais) (RESURRECCION, 2004). Assim, quando o consumidor se depara com os produtos na gôndola, dificilmente se baseia apenas em um único atributo, como o preço, para fazer julgamentos e escolhas, mas pela combinação de todos os fatores pré-determinados por ele como capazes de promover a sua satisfação.

As características sensoriais de qualidade da carne podem ser divididas em intrínsecas, que compreendem os aspectos sensoriais (textura, cor, suculência, sabor e aroma), e extrínsecas, que são as informações, como preço, condições de bem-estar animal, as preocupações ambientais e de rastreabilidade (TROY; KERRY, 2010).

Uma das técnicas utilizadas para a avaliação da influência dos efeitos extrínsecos sob a intenção de compra e, ou preferência pelo produto é o método *conjoint analysis* ou análise de conjunto ou análise combinada de fatores. A análise conjunta é uma técnica utilizada para avaliar o efeito de fatores pré-selecionados (*trade off*), como preço, embalagem (cor e marca) e informações adicionais (associadas à aspectos de saudabilidade, como redução de gordura, e aquelas associadas às boas práticas de fabricação) sobre o comportamento do consumidor (MERLINO et al., 2018). Esta técnica vem sendo utilizada a fim de avaliar as atitudes dos respondentes em relação à fatores como o tipo de carne (KIBAR; MIKAIL, 2018), origem de produção (FONT; FURNOLS et al., 2011) e rastreabilidade (DU PLESSIS; DU RAND, 2012). Desta forma, é possível inferir qual é a contribuição de cada fator avaliado sobre a resposta do consumidor (*part-worth*) e qual o produto possui maior preferência global (*total-worth*) (GREEN; SRINIVASAN, 1978). Desse modo, a análise conjunta é amplamente utilizada para desenvolver novos produtos e embalagens, verificar a importância de determinado atributo ou ingrediente, fazer simulações e segmentação de produtos no mercado (MALHOTRA, NARESH; DASH, 2016), com o objetivo de gerar informações úteis para o *marketing*. Contudo, os fatores que influenciam os consumidores podem se comportar de

forma não homogênea. Geralmente as variações entre os consumidores são dependentes de variáveis sociodemográficas (KOUTSIMANIS et al., 2012).

Os fatores intrínsecos podem ser avaliados por técnicas discriminativas simples como o teste de diferença do controle e testes afetivos de intenção de compra e de preferência globais. Dentre os atributos sensoriais determinantes na decisão de compra de carne estão, a sua cor, que transmite ao consumidor a ideia de frescor e salubridade (MANCINI; HUNT, 2005), e a sua maciez. Contudo, a avaliação visual desses atributos pode não ser confiável, visto que a maior dureza da carne, como a causada pelo encurtamento pelo frio, não está necessariamente correlacionada com alterações visuais, assim como a multiplicação microbiana, a conservação da carne pode ser alterada antes mesmo de serem verificadas mudanças na coloração. Já durante o consumo, além da cor e maciez, os fatores como suculência, sabor e cheiro são considerados (TROY; KERRY, 2010).

A avaliação desses atributos, por medidas instrumentais e as obtidas com julgadores, é de grande importância, porém, podem ou não apresentar correlação positiva entre si (DESTEFANIS et al., 2008). O uso de painel treinado ou de consumidores na análise sensorial de alimentos é discutido para as diferentes finalidades de pesquisa. É verificado que os provadores submetidos ao treinamento possuem maior familiarização com os procedimentos experimentais na avaliação das amostras (ISHII et al., 2007), assim como a facilidade em descrever suas percepções (CHOLLET; VALENTIN, 2001), conferindo maior sensibilidade ao teste. Porém, as respostas sensoriais, mesmo com suas possíveis variações sociodemográficas e os diferentes limiares de percepção, compreendem melhor a relação entre o consumidor e o alimento (CANOZZI et al., 2016).

3. CONCLUSÃO

A qualidade de carne de búfalo *Murrah* foi independente do grupo de animais avaliados, isto é, macho ou fêmeas de diferentes sistemas de produção e idades. A maturação favorece a maciez de carne, com a carne de búfalo apresentando maior maciez de carne desde antes da maturação. Um grupo específico de consumidores avaliam positivamente a carne de búfalo, mas não estão dispostos a pagar mais por esse produto. A maioria dos consumidores considera positivamente a presença de alegações nutricionais (redução de calorias e maior percentual de proteína) sobre a carne de búfalo, mas também não estão dispostos a pagar mais por isso. A carne de búfalo é pelos consumidores, porém, com menores scores sensoriais para os atributos de maciez e suculência em relação às carnes bovinas de *Nelore* e *Angus* do tipo *premium*.

Portanto, a carne de búfalas de descarte ainda jovens pode produzir carne de alta qualidade, assim como a de búfalos de corte, com maior maciez que a carne de bovinos comercial. No entanto, a carne de búfalo é considerada sensorialmente enos macia e suculenta que as bovinos *premium*. Os consumidores estão dispostos a comprar a carne de búfalo e se interessam pela presença de alegações nutricionais no rótulo, mas consideram o preço elevado como uma barreira para a compra do produto.

4. REFERÊNCIAS

- ADZITEY, F.; NURUL, H. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences - a mini review. **International Food Research Journal**, v. 18, n. 1, p. 11–20, 2011.
- ÁLVAREZ, C. et al. Mechanical and biochemical methods for rigor measurement: relationship with eating quality. **Journal of Food Quality**, v. 2019, 2019.
- ALVES, T. C.; FRANZOLIN, R. Growth curve of buffalo grazing on a grass pasture. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 9, p. 321–326, 2015.
- 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.
- ANDRIGHETTO, C. et al. Sensory characteristics of Murrah buffaloes meat submitted to different periods of ageing. **60th International Congress of Meat Science and Technology - ICoMST**, n. August, p. 0–3, 2014.
- APPA RAO, V.; THULASI, G.; WILFRED RUBAN, S. Effect of age and sex on meat quality characteristics of south Indian non-descript buffalo. **Buffalo Bulletin**, v. 28, n. 3, p. 138–147, 2009.
- ARAÚJO, MARIA JÚLIO. **Química de Alimentos: teoria e prática**. 7ª edição, ed. Viçosa, MG. UFV, 2019.
- AWAN, K. et al. Effect of age on physico-chemical and sensorial quality of buffalo meat. **Global Veterinaria**, v. 13, n. 1, p. 28–32, 2014.
- AZEVEDO, M. R.; SOUZA, J. C. DE; CARNEIRO, P. L. S. Comparison of nonlinear models to describe the growth curves of *Jaffarabaddi*, *Mediterranean* and *Murrah* buffaloes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 19, p. 1485–1494, 2017.
- BAO, Y.; ERTBJERG, P. Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 22, p. 3564–3578, 2019.
- BARBOSA, J. D. et al. Comparação da sensibilidade de bovinos e búfalos à intoxicação por *Palicourea marcgravii* (*Rubiaceae*). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 167–172, 2003.
- BARÓN, C. L. C. **Influência do pH final na bioquímica e qualidade do músculo *Longissimus dorsi* de animais *Bos taurus indicus* machos inteiros**. p. 81, 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2016.

- BEKHIT, A. E. D. et al. Effects of rigor temperature and electrical stimulation on venison quality. **Meat Science**, v. 75, n. 4, p. 564–574, 2007.
- BERNARDES, O. Os búfalos no Brasil. **II Simpósio De Búfalo De Las Américas**, p. 18–23, 2006.
- BESERRA, F. J. et al. Effect of age at slaughter on chemical composition of meat from Moxotó goats and their crosses. **Small Ruminant Research**, v. 55, n. 1–3, p. 177–181, 2004.
- BHAT, Z. F. et al. Role of calpain system in meat tenderness: A review. **Food Science and Human Wellness**, v. 7, n. 3, p. 196–204, 2018.
- BATE-SMITH, B. Y. E. C.; BENDALL, J. R. *Rigor mortis* and adenosinetriphosphate. **Journal Physiology**, n. 1939, p. 177–185, 1946.
- BIANCHINI, W. et al. Efeito do grupo genético sobre as características de carcaça e maciez da carne fresca e maturada de bovinos super precoces. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.2109-2117 2007.
- BORRIELLO, G. et al. Genetic resistance to *Brucella abortus* in the water buffalo (*Bubalus bubalis*). **Infection and Immunity**, v. 74, n. 4, p. 2115–2120, 2006.
- CALKINS, C. R.; HODGEN, J. M. A fresh look at meat flavor. **Meat Science**, v. 77, n. 1 SPEC. ISS., p. 63–80, 2007.
- CANOZZI, M. E. A. et al. Sensory evaluation of beef and buffalo extensively reared and its relationship to sociodemographic characteristics of consumers. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1617–1628, 2016.
- CHOLLET, S.; VALENTIN, D. Impact of training on beer flavor perception and description: Are trained and untrained subjects really different? **Journal of Sensory Studies**, v. 16, n. 6, p. 601–618, 2001.
- DAVEY, C. L.; GILBERT, K. V.; CARSE, W. A. Carcass electrical stimulation to prevent cold shortening toughness in beef. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 19, n. 1, p. 13–18, 1976.
- DESTEFANIS, G. et al. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. **Meat Science**, v. 78, n. 3, p. 153–156, 2008.
- DEVINE, C. E.; WAHLGREN, N. M.; TORNBERG, E. Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderisation of restrained and unrestrained beef m. *longissimus thoracicus et lumborum*. **Meat Science**, v. 51, n. 1, p. 61–72, 1999.
- DOMÍNGUEZ, R. et al. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 439–445, 2014.
- DOSI, R. et al. Characterization and kinetics studies of water buffalo (*Bubalus bubalis*) myoglobin. **Italian Journal of Animal Science**, v. 6, n. SUPPL. 2, p. 1210–1213, 2007.

- DRANSFIELD, E.; LOCKYER, D. K. M. Cold-shortening toughness in excised pork m. *Longissimus dorsi*. **Meat Science**, v. 13, p. 19–32, 1985.
- DU PLESSIS, H. J.; DU RAND, G. E. The significance of traceability in consumer decision making towards *Karoo* lamb. **Food Research International**, v. 47, n. 2, p. 210–217, 2012.
- ERTBJERG, P.; PUOLANNE, E. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. **Meat Science**, v. 132, n. May, p. 139–152, 2017.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Faostat – Statistics Database**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 14 apr. 2017.
- FAROUK, M. M. et al. Halal and kosher slaughter methods and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 505–519, 2014.
- FAUSTMAN, C. et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 86–94, 2010.
- FERREIRA, M. DOS S. **Utilização de levedura viva na dieta de bubalinos em confinamento**. 2018, 67p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2018.
- FONT; FURNOLS, M. et al. Consumer 's purchasing intention for lamb meat affected by country of origin , feeding system and meat price : A conjoint study in Spain , France and United Kingdom. **Food Quality and Preference**, v. 22, n. 5, p. 443–451, 2011.
- FRANK, D. et al. Volatile and non-volatile metabolite changes in 140-day stored vacuum packaged chilled beef and potential shelf life markers. **Meat Science**, v. 161, p. 108016, 2020.
- GEESINK, G. H.; BEKHIT, A. D.; BICKERSTAFFE, R. Rigor temperature and meat quality characteristics of lamb longissimus muscle. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 11, p. 2842–2848, 2000.
- GIUFFRIDA-MENDOZA, M. et al. Cholesterol and fatty acid composition of *longissimus thoracis* from water buffalo (*Bubalus bubalis*) and *Brahman* influenced cattle raised under savannah conditions. **Meat Science**, v. 106, p. 44–49, 2015.
- GOLL, D. E. et al. The calpain system. **Physiological Reviews**, v. 83, n. 3, p. 731–801, 2003.
- GREEN, P. E.; SRINIVASAN, V. Conjoint analysis in consumer research: issues and outlook. **Journal of Consumer Research**, v. 5, n. 2, p. 103, 1978.
- HASSAN, M. A. et al. Comparing the physico-chemical characteristics and sensory attributes of imported Brazilian beef meat and imported Indian buffalo meat. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 8, n. 1, p. 672–677, 2018.
- HOCQUETTE, J. F. et al. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 197–209, 2012.

HONIKEL, K. O. et al. Influence of postmortem changes in bovine muscle on the waterholding capacity of beef. postmortem storage of muscle at various temperatures between 0 and 30 °C. **Journal of Food Science**, 1981, v. 43, p. 23-31.

HONIKEL, K. O. Glycolysis. **Encyclopedia of meat sciences**, v. 1, p. 353–357, 2014.

HOSSAIN, M. A. M. et al. Tetraplex PCR assay involving double gene-sites discriminates beef and buffalo in Malaysian meat curry and burger products. **Food Chemistry**, v. 224, p. 97–104, 2017.

HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 184–195, 2010.

HWANG, I. H. et al. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef *longissimus* and *semitendinosus*. **Meat Science**, v. 68, n. 3, p. 497–505, 2004.

HWANG, I. H.; THOMPSON, J. M. The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef *longissimus dorsi* muscle. **Meat Science**, v. 58, n. 2, p. 167–174, 2001.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. Pesquisa da Pecuária Municipal, 2018.** Disponível em: <<http://www.biblioteca.ibge.gov.br>>. Acessado em: 14 de abril de 2020.

IRURUETA, M. et al. Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. **Meat Science**, v. 79, n. 3, p. 529–533, 2008.

ISHII, R. et al. Relating consumer and trained panels' discriminative sensitivities using vanilla flavored ice cream as a medium. **Food Quality and Preference**, v. 18, n. 1, p. 89–96, 2007.

JACOB, R. H.; HOPKINS, D. L. Techniques to reduce the temperature of beef muscle early in the post mortem period- A review. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 482–493, 2014.

KANDEEPAN, G. et al. Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat. **Meat Science**, v. 83, n. 1, p. 10–14, 2009.

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

KEMP, C. M.; PARR, T. Advances in apoptotic mediated proteolysis in meat tenderisation. **Meat Science**, v. 92, n. 3, p. 252–259, 2012.

KHAN, M. I.; JO, C.; TARIQ, M. R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors- A systematic review. **Meat Science**, v. 110, p. 278–284, 2015.

KIBAR, M.; MIKAIL, N. Application of conjoint analysis to determine consumers' red meat preferences in siirt province. **Scientific Papers-Series D-Animal Science**, v. 61, n. 1, p. 303–306, 2018.

- KIM, Y. H. B. et al. Impacts of hanging method and high pre-rigor temperature and duration on quality attributes of ovine muscles. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 414–421, 2014.
- KIM, Y. H. B.; WARNER, R. D.; ROSENVOLD, K. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: A review. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 375–395, 2014.
- KIRAN, M. et al. Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: Biochemical, ultrastructural and proteome characterization. **Animal**, v. 10, n. 6, p. 1007–1015, 2016.
- KOOHMARAIE, M. et al. Effect of post-mortem storage on Ca⁺⁺-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. **Meat Science**, v. 19, n. 3, p. 187–196, 1987.
- KOOHMARAIE, M. Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tenderness. **Reciprocal Meat Conference Proceedings**, 1992a.
- KOOHMARAIE, M. The role of Ca²⁺-dependent proteases (calpains) in post mortem proteolysis and meat tenderness. **Biochimie**, v. 74, n. 3, p. 239–245, 1992b.
- KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1–2, p. 93–104, 1994.
- KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 34–43, 2006.
- KOSOWSKA, M.; MAJCHER, M. A.; FORTUNA, T. Volatile compounds in meat and meat products. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 1–7, 2017.
- KOUTSIMANIS, G. et al. Influences of packaging attributes on consumer purchase decisions for fresh produce. **Appetite**, v. 59, n. 2, p. 270–280, 2012.
- LAPITAN, R. M. et al. Comparison of fattening performance in *Brahman* grade cattle (*Bos indicus*) and crossbred water buffalo (*Bubalus bubalis*) fed on high roughage diet. **Animal Science Journal**, v. 79, n. 1, p. 76–82, 2008.
- LAWRIE, R. A.; LEDWARD, D. **Lawrie's Meat Science. Woodhead Publishing Cambridge England**. Seventh Edition, 2014.
- LEGAKO, J. F. et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. **Meat Science**, v. 100, p. 291–300, 2015.
- LI, H.; THOMPSON, V. F.; GOLL, D. E. Effects of autolysis on properties of μ - and m-calpain. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research**, v. 1691, n. 2–3, p. 91–103, 2004.

- LUZ, P. A. C. DA et al. Chemical-physical characteristics of buffalo (*Bubalus bubalis*) meat subjected to different aging times. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 39, n. 4, p. 419, 2017.
- MACHADO, G. B. et al. Principais causas de descarte em búfalos abatidos no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Science And Animal Health**, v. 4, n. 1, p. 56, 2016.
- MADRUGA, M. S. et al. Meat quality of *Moxotó* and *Canindé* goats as affected by two levels of feeding. **Meat Science**, v. 80, n. 4, p. 1019–1023, 2008.
- MALHOTRA, NARESH K.; DASH, S. **Marketing research: An applied orientation**. Pearson, 2016.
- MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 100–121, 2005.
- MARCONDES, C. R. Genetic improvement of buffaloes in Brazil: progresses, obstacles and perspectives. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 307–315, 2011.
- MARQUES, C. S. S. et al. Segmentation of the buffalo meat consumer market in Belém, Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 6, p. 336–344, 2016.
- MARQUES, J. R. F. Búfalos: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Amazônia Oriental (Belém, PA). – Brasília : Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). **Embrapa**, p. 176, 2000.
- MERLINO, V. M. et al. Beef meat preferences of consumers from Northwest Italy: Analysis of choice attributes. **Meat Science**, v. 143, n. November 2016, p. 119–128, 2018.
- MURTHY, T. R. K.; DEVADASON, I. P. **Buffalo meat and meat products– An overview**. In Proceedings of the 4th Asian buffalo congress on buffalo for food, security and employment. New Delhi: Asian Buffalo Association, 2003.
- NAVEENA, B. M. et al. Effects of salt and ammonium hydroxide on the quality of ground buffalo meat. **Meat Science**, v. 87, n. 4, p. 315–320, 2011a.
- NAVEENA, B. M. et al. Effect of ammonium hydroxide on ultrastructure and tenderness of buffalo meat. **Meat Science**, v. 88, n. 4, p. 727–732, 2011b.
- NAVEENA, B. M.; KIRAN, M. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. **Animal Frontiers**, v. 4, n. 4, p. 18–24, 2014.
- NEATH, K. E. et al. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. **Meat Science**, v. 75, n. 3, p. 499–505, 2007a.
- NEATH, K. E. et al. Protease activity higher in postmortem *water buffalo* meat than *Brahman* beef. **Meat Science**, v. 77, n. 3, p. 389–396, 2007b.
- NOWAK, D. Enzymes in tenderization of meat - the system of calpains and other systems - a review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 61, n. 4, p. 231–237, 2011.

- OLIVEIRA, A. C. DO S. DE et al. Evaluation of a multiplex PCR for detection of a fraud in the minced beef meat by adding buffalo meat. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 4, p. 371–379, 2015.
- RAJ, K. R. et al. Influence of direct and delayed chilling of excised female buffalo muscles on their textural quality. **Meat Science**, v. 56, n. 1, p. 95–99, 2000.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2017. 471p.
- RESCONI, V. C.; ESCUDERO, A.; CAMPO, M. M. The development of aromas in ruminant meat. **Molecules**, v. 18, n. 6, p. 6748–6781, 2013.
- RESURRECCION, A. V. A. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 11–20, 2004.
- RODRIGUES, L. D. S. et al. Características da carcaça e da carne de vacas de descarte abatidas com distintos pesos e grau de acabamento - Abordagem meta-analítica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 4, p. 508–516, 2015.
- RODRIGUES, V. C. et al. Rendimentos do abate e carcaça de bovinos e bubalinos castrados e inteiros rendimentos do abate e carcaça de bovinos e bubalinos castrados e inteiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. v.32, n.3, p. 663–671, 2003.
- RODRIGUES, V. C.; DE ANDRADE, I. F. Características físico-químicas da carne de bubalinos e de bovinos castrados e inteiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1839–1849, 2004.
- ROSS, C. F.; SMITH, D. M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, n. 1, p. 18–25, 2006.
- SAVELL, J. W.; MUELLER, S. L.; BAIRD, B. E. The chilling of carcasses. **Meat Science**, v. 70, n. 3 SPEC. ISS., p. 449–459, 2005.
- SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Journal of animal science**, v. 73, n. 11, p. 3333–3340, 1995.
- SILVA, D. R. G. et al. Comparison of Warner-Bratzler shear force values between round and square cross-section cores from cooked beef and pork *Longissimus muscle*. **Meat Science**, v. 103, p. 1–6, 2015.
- SPANGHERO, M., et al. In vivo performance, slaughtering traits and meat quality of bovine (Italian *Simmental*) and buffalo (Italian *Mediterranean*) bulls. **Livestock Production Science**, v. 91, n. 1–2, p. 129–141, 2004. TATEO, A. et al. Some qualitative and chromatic aspects of thawed buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. **Meat Science**, v. 76, n. 2, p. 352–358, 2007.

THOMSON, K. L. et al. Length of exposure to high post-rigor temperatures affects the tenderisation of the beef *M. longissimus dorsi*. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 11, p. 1442–1450, 2008.

TROY, D. J.; KERRY, J. P. Consumer perception and the role of science in the meat industry. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 214–226, 2010.

VAN WEZEMAEL, L. et al. Relationships between sensory evaluations of beef tenderness, shear force measurements and consumer characteristics. **Meat Science**, v. 97, n. 3, p. 310–315, 2014.

VASANTHI, C.; VENKATARAMANUJAM, V.; DUSHYANTHAN, K. Effect of cooking temperature and time on the physico-chemical, histological and sensory properties of female carabeef (buffalo) meat. **Meat Science**, v. 76, n. 2, p. 274–280, 2007.

VAZ, F. N. et al. Características da carcaça e da carne de novilhos e de vacas de descarte hereford, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3 SUPPL, p. 1501–1510, 2002.

VESTERGAARD, M. et al. Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. **Meat Science**, v. 76, n. 4, p. 635–643, 2007.

WARNER, R. D. et al. Genetic and environmental effects on meat quality. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 171–183, 2010.

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

WHEELER, CUNDIFF, K. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of animal Science**, v. 72, p. 3145–3151, 1994.

WHEELER, T. L. et al. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from *Brahman* and *Hereford* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 12, p. 4206–4220, 1990.

WHIPPLE, G. et al. Predicting beef-*longissimus* tenderness from various biochemical and histological muscle traits. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 12, p. 4193–4199, 1990.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - Rigor development and meat quality of Murrah buffalo from different production systems

Artigo redigido nas normas do periódico
Scientia Agricola (eISSN 1678-992X)

Bruna Fernandes Andrade¹, Maira Mendonça Castro¹, Lorena Mendes Rodrigues¹, Robledo de Almeida Torres Filho², Paulo Rogério Fontes³, Eduardo Mendes Ramos¹, Alcinéia de Lemos Souza Ramos^{1*}

¹ Department of Food Science, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 35690-900, Brasil.

² Institute of Exact and Technological Sciences, Federal University of Viçosa, Campus UFV Florestal, Florestal, Minas Gerais, 35690-000, Brasil.

³ Department of Food Technology, Federal University of Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 36570-900, Brasil.

*Corresponding author: Alcinéia de Lemos Souza Ramos; Tel: +55 (35) 2142-2113; E-mail: alcineia@ufla.br. (A. L. S. Ramos)

Running title: Rigor development and buffalo meat quality

Category: Food Science and Technology

Rigor development and meat quality of Murrah buffalo from different production systems

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the rigor mortis development and its effects on meat quality (*M Longissimus thoracis*) of Murrah buffaloes from meat (males) and dairy (females) productions. The *rigor mortis* was monitored during chilling (up to 22 h postmortem) and the meat quality was accessed after 72 h postmortem. Glycolytic rate, measured by decreasing pH and glycogen content, was higher ($p \leq 0.05$) in female than in male buffalo, leading to a different onset rigor time (5-6 h and 9-10 h, respectively). Male meat had ($p \leq 0.05$) lower fat (1.41 vs 3.58%) and insoluble collagen (1.18 vs 1.58 mg g⁻¹) contents, but higher soluble collagen content (5.16 vs 20.38%), sarcomere length (1.65 vs 1.84 μm), fragmentation index (334 vs 295) and shear force (39.38 vs 25.92 N) than females. Female meat color was more intense (higher C^* values) and yellow-red hue (higher h values) than males. These results suggest that despite to a shorter onset rigor, dairy buffalo meat is more tender and can be used on the market as high-quality meat such as from buffalo raised to meat production.

Keywords: Sex, tenderness, color, glycogen, sarcomere length.

Introduction

Besides Brazil has the status of the highest concentration (1.39 million) of buffalos in the west (IBGE, 2019), the production, manufacturing process, and distribution of this segment has shown different characteristics that did not favor the valuation of the product by the consumer, who is unaware of its sensory and nutritional characteristics.

Due to its similarity to beef, buffalo meat is sold in Brazil in two different ways: as buffalo meat, usually of a high-quality standard; and as beef, when they are attributed with an inferior quality or when they are not valued in the producing region (Oliveira et al., 2015). Murrah is the predominant buffalo breed in Brazil for having good adaption to the tropics and double aptitude for meat and dairy production, being usually reared in small and medium farms (ABCB, 2020). Such double aptitude intensifies the lack of carcass standardization in the country, especially in the southeast region. The main source of income from buffalo farming in such areas is the dairy activity in which the slaughter of young male is an alternative to increase the income of the producer (Luz et al., 2017; Mello et al., 2018). In addition to young buffaloes, dairy females at the end of production, presenting low milk

production, or even with reproductive problems are also destined for slaughter to be sold as meat (Galeazzi et al., 2010). The slaughter of unproductive and older buffaloes, especially dairy females, produces low-quality for consumer (Spanghero et al., 2004; Kandeepan et al., 2009; Rajagopal and Oommen, 2015; Li et al., 2018).

Meat quality is also highly dependent on post-slaughter factors such as chilling processes, electrical stimulation, slaughter method, and aging (Toldra, 2017). In this sense, *rigor mortis* development is one of the main changes to take place in the postmortem muscle, influencing the meat quality characteristics such as texture and water retention capacity, and indirectly related to flavor and meat color (Ramos and Gomide, 2017; Zhang et al., 2019). Therefore, precise measurements of biochemical and mechanical characteristics that support the muscle transformation into meat are key factors for a better comprehension of buffalo meat quality. However, studies assessing the pH decline (Raj et al., 2000; Neath et al., 2007) and, or, the evolution of the *rigor mortis* process (Soares et al., 1995) in buffalo meat are scarce.

As the lack of animal standardization is common in Brazilian commercial slaughterhouses, this work aimed to characterize the *rigor mortis* in Murrah buffalo carcasses with different quality standards (animals for meat and dairy production), evaluating its effects on meat quality obtained.

Material and Methods

Animals and slaughter process

Ten Murrah buffaloes were selected in a commercial slaughterhouse, registered at the Animal Products Inspection Services of São Paulo State, in Boituva, São Paulo, Brazil. The animals were split into two groups: five males (24-30-month-old and average live weight of 456 ± 13 kg), and five females (36-42-month-old and average live weight of 447 ± 34 kg). Males from meat production were classified by the slaughterhouse for the *premium* market and females from dairy production farms were classified for the common market. Despite being animals from different production systems, all buffaloes came from herds in the Vale do Ribeira region (São Paulo, Brazil) and were raised in a pasture feeding system (predominant native forage: *Brachiaria sp.*).

The carcasses were not electrically stimulated and were moved to a chilling room 30 min after slaughter. This time was set to 0 h postmortem. Chilling system was conducted in two chamber, with the half-carcasses kept in the first cooling chamber (10-15 °C) until 12 h

postmortem and then transferred to a second cooling chamber (0-2 °C), where they remained until boning and packaging (48 h postmortem).

Early postmortem changes

Early postmortem changes were monitored throughout striploin (*M. Longissimus thoracis*; LT) cooling, between the 12th and 13th ribs of the right half-carcasses. The LT muscle pH and temperature were evaluated at 0, 1, 5, 8, 12, and 22 h postmortem using a portable pH meter (HI 99163; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA) and a combined electrode. Freshly cut samples (~ 4 g) were collected at each postmortem time and immediately deproteinized in 80 mL of 0.6 M perchloric acid, homogenized (Turratec TE102: TECNAL Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brasil) at 15.000 rpm for 30 s. The homogenate was filtered and kept frozen at -20 °C until glycogen and R-value analysis.

The glycogen content was determined by its enzymatically hydrolyzed into free glucose by amyloglucosidase (Sigma A9913; Sigma-Aldrich Brasil Ltda, São Paulo, SP, Brazil) (Ramos and Gomide, 2017), and subsequent colorimetric quantification by the redox reaction between the 3,5- dinitrosalicylic acid (DNS) and the reducing sugars (Miller, 1959). A 100 µL aliquot of the acid extract was added to 10 µL of 5.4 M KOH and 1.0 mL of enzyme suspension (0.3:10 v/v, in 0.2 M acetate buffer, pH 4.8), vortexed, incubated in 60 °C for 15 min and cooled in ice bath for 5 min. An aliquot of 500 µL was added to 1.0 mL of DNS (1 g DNS and 30 g of sodium and potassium tartrate in 20 mL of 2 M NaOH), vortexed and incubated at 90 °C for 5 min. After cooling in an ice bath for 5 min, the absorbance at 540 nm was taken (Genesys 10; Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA). Glycogen concentration was determined using an analytical curve of standard glucose solutions and was expressed in millimoles of glucose equivalent (GEq) per kilogram (mmol GEq kg⁻¹)

Rigor onset was estimated analyzing the ratio of inosine and adenosine (R-value), as proposed by Honikel and Fisher (1977), with modification suggested by Ramos and Gomide (2017). An aliquot of 100 µL of thawed perchloric acid extract was homogenized with 4.9 mL of 0.1 M phosphate buffer (pH 7.0) and its absorbance was determined at 250 nm ($A_{250\text{nm}}$) and 260 nm ($A_{260\text{nm}}$) with a UV spectrophotometer (Genesys 10; Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA). The R-value was calculated as an $A_{250\text{nm}}/A_{260\text{nm}}$ ratio.

Meat technological analysis

At 48 h postmortem, boneless striploin from the left half-carasses were completely excised, trimmed, identified, vacuum-packed, and transported to the laboratory, being kept refrigerated (4 ± 1 °C) overnight until the technological analyses (at 72 h postmortem).

The pH was measured by a portable pH meter (HI 99163; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA), inserting a puncture electrode into three different points of LT muscle. Approximately 300 mg (triplicates) portions of the LT muscle were used to determine water holding capacity (WHC) using the filter-paper press method (FPPM) described by Rodrigues et al. (2020).

Approximately 200 g of LT muscle was grounded and used to determine the proximate composition (protein, fat, moisture and ash) by near-infrared (NIR) analysis (FoodScan™; FOSS, Hillerod, Denmark). The soluble and insoluble collagen fractions were separated (after heating at 77 °C for 70 min) and the collagen content (mg g^{-1}) was quantified by determining the amount of the hydroxyproline amino acid as described by Rodrigues et al. (2020). The total heme pigments (mg g^{-1}) was determined using the acid hematin method (Hornsey, 1956).

LT samples were homogenized (1:5 ratio; w/v) in extraction solution (250 mM sucrose and 20 mM KCl at 4 °C) in a 1:5 ratio (w/v) and the myofibrillar fragmentation degree was estimated by the fragmentation index (FI) method described by Aroeira et al. (2020). A drop of the homogenate was also analyzed at 400x zoom, using a phase-contrast microscope (BA210, Motic, Hong Kong) with image capture software (Motic Images Plus 2.0). The sarcomere average lengths were obtained by determining the distance (μm) between the “A” bands using at least 10 different fibers from 10 different aliquots for each sample (Ramos and Gomide, 2017).

Finally, a 2.54 cm thick freshly cut LT steak was collected to instrumental color and shear force analysis. The color characteristics were evaluated using a Minolta CM-700 spectrophotometric colorimeter (Konica Minolta Sensing Inc., Osaca, Japan) with 8 mm aperture, illuminant A, 10° observation angle and with both specular components included (SCI) and excluded (SCE). The steaks were exposed for blooming in an atmospheric air (at 4 °C) for 60 min, and five measurements were made to represent the entire surface of each steak. Lightness (L^*), redness (a^*), yellowness (b^*), chroma (C^*) and hue angle (h , degrees) were taken from the readings in SCE mode. The relative content (myoglobin redox forms) of oxymyoglobin (OMb), deoxymyoglobin (DMb), and metmyoglobin (MMb) was estimated by the mathematical method of Krzywicki (1979) from linear interpolation of wavelengths (473, 525, 572 and 730 nm) taken in SCI mode.

After color measurements, the 2.54 cm thick steak was weighted and grilled on a pre-heated (180-200 °C) grill (SCGE; Croydon, Duque de Caxias, RJ, Brazil) up to an internal temperature of 71 °C (measured using a thermocouple; Chugod- Smart Wireless BBQ Thermometer). The cooked steak was cooled at room temperature for 2 h, dried with a paper towel, and weighted once again to determine the cooking loss (%). Then, six sub-samples (1.0 x 1.0 cm square section) were cut parallel to the direction of the muscle fiber and transversely (across the predominant muscle fiber orientation) at 200 mm min⁻¹ using a vee-shaped blade Warner Bratzler shear device (Silva et al., 2015) coupled to a TA.XT plus texturometer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, United Kingdom). The maximum strength (N) was measured, and the average value of each steak was used for statistical analysis.

Statistical analysis

Concerning the early postmortem changes analyses, the experiment was organized in a completely randomized design (CRD) with a factorial scheme 2 (production system/sex) x 6 (postmortem times) and five repetitions (animals). The main effects and their interactions were determined by analysis of variance (ANOVA) at a 5% significance level. A regression analysis was performed to estimate rigor onset and completion from the R-value data. The data from the technological analyses were also tested by ANOVA, in a CRD with two groups (production system/sex) and five repetitions (animals). Statistical analyses were performed using Statistica software (StatSoft Inc., Tulsa, USA), version 8.0.

Results and Discussion

Early postmortem changes

There was a considerable drop in temperature of the LT muscles (from 36.47 ± 1.72 °C to 22.01 ± 0.85 °C) during the first eight hours of chilling. The temperature remained constant in the first chamber until 12 h postmortem (Figure 1a). With the relocation of the half-carcasses to the second cooling chamber, the average muscle temperature decreased to 10.19 ± 1.34 °C at 22 h postmortem. The pattern of temperature decline in this study was consistent with the “delayed chilling” regime described by Savell et al. (2005), in which the intact carcasses are held at temperatures between 14 and 19 °C for some period before chilled in a cold chamber to reduce or prevent the negative effects of cold shortening. Cold shortening is a myofibrillar shortening that happens when the pre-rigor muscle is kept at temperatures below 15 °C. This leads to a high calcium level in the sarcoplasm with ATP presence (when pH is

higher than 6.0 in meat with normal final pH), promoting the actin-myosin cross-bridges formation and resulting in the meat of greater toughness (Zhang et al., 2019).

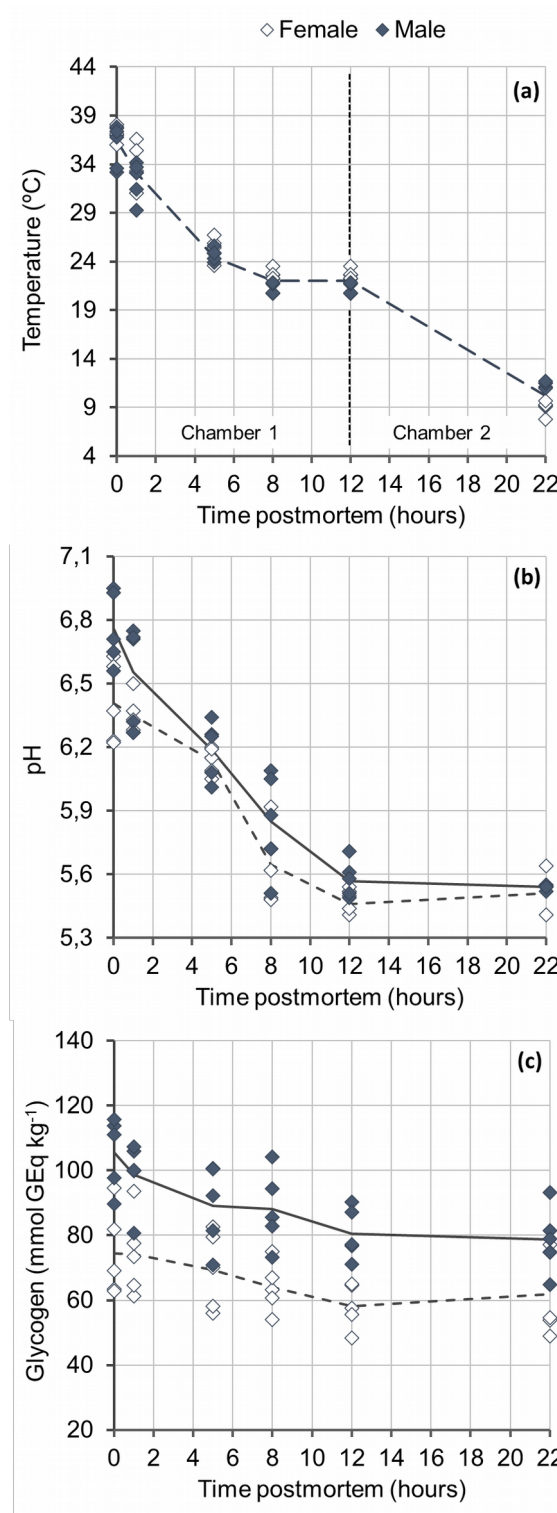


Figure 1. Changes in temperature (a), pH values (b), and glycogen content (c) of *L. thoracis* muscles of Murrah female and male buffaloes during delayed chilling. GEq = glucose equivalent.

The pH values were affected ($p \leq 0.05$) by the sex (production system) and time postmortem (Figure 1b). Higher ($p \leq 0.05$) initial pH values (30 min postmortem) were observed in male buffalo muscle (6.76 ± 0.17) in relation to females (6.41 ± 0.19). This may be associated with greater muscle adaptation in the absence situation of oxygen supply. According to Whipple et al. (1990), muscles with higher pH during the first postmortem hours have higher proportions of oxidative fibers and, therefore, a higher amount of stored oxygen. A longer period is then required to resort to glycolytic metabolism and that causes a more pronounced initial pH drop. Higher red fibers proportion may indicate stronger muscle activity during raising (Toldra, 2017). This is expected from young males raised under extensive conditions when compared to females raised for dairy purposes.

Overall, the pH drop rate was consistent with the temperature decline, leading to a high glycolytic rate during the first 12 hours and reaching values that remained practically constant up to 22 h postmortem. The final pH values (average 5.54 ± 0.08) did not differ significantly ($p \leq 0.05$). Pearce et al. (2011) reported that a period of five hours is necessary for the cattle muscle pH to drop from 6.8 to 6.4, and that only after 24 h postmortem it is stabilized at up to 5.5. Therefore, it's presumably that the high postmortem muscle temperature in the delay chilling regime increased the action of glycolytic enzymes, which contribute to the increase in the pH drop rate. Raj et al. (2000) also observed a higher pH drop during the first six hours in excised buffaloes' muscles (*Biceps femoris*, *Semimembranosus*, and *Semitendinosus*) subjected to a delayed chilling process ($26\text{ }^{\circ}\text{C}/6\text{ h}$ followed by $2\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ h}$) when compared to the traditional method ($2\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$).

initial muscle glycogen concentrations. According to Warris (2000) and Toldra (2017), muscle conversion in bovines provides meat with a normal final pH when it contains from 10 to 20 mg g⁻¹ of glycogen (approximately 55 and 110 mmol GEq kg⁻¹, respectively) at the slaughter moment. These authors also state that glycogen contents lower than 10 mg g⁻¹ would result in an elevated final pH and that the lower the initial glycogen store is, the higher the final pH values will be. Immonen and Puolanne (2000) also reported that only 45 mmol of glycogen is necessary to drop the pH of 1 kg of muscle from 7.2 to 5.5. Thus, the observed values found in muscles of both groups in the present study are within the normal range, which explains the lack of difference between pH values at 22 h postmortem.

Rigor onset was determined by the R-values evolution in LT muscles (Figure 2). The R-value is a muscle cell's inosine and adenosine proportion measurement, and its postmortem increase is an ATP depletion indication which occurs during rigor mortis development (Ramos and Gomide, 2017). R-values between 1.05 and 1.10 correspond to an ATP concentration of 1.0 μmol g⁻¹ and, therefore, they are related to the rigor onset (Honikel and Fisher, 1977). Since refrigeration was conducted in two stages and the glycolytic process happened almost entirely during the first stage (Figure 1b), the regression was performed with R-values data up to 12 h postmortem. This was a reasonable assumption, since as the ATP content approached zero, the R-value would tend to infinite because the inosine content (numerator) increased as the adenosine content (denominator) decreased during the postmortem time (Álvarez et al., 2019). Data regression analyses indicated that the R-value rate was significantly higher for female than male, which resulted from the more intense adenine nucleotides catabolism associated with postmortem metabolism. Consequently, rigor onset happened between 8.7 and 10.5 h postmortem in males' muscle and between 5.1 and 6.2 h postmortem in females' muscle. These rigor times are consistent with the pH values evolution observed in the animals' meat (Figure 1b), in which values close to 5.9 were reached after 6 h for females and 8 h for males. According to Honikel et al. (1981), in general, in muscles maintained at temperatures around 20 °C, pH values close to 5.9 indicate rigor onset. Using these criteria (R-values 1.1 and pH 5.9), Soares et al. (1995) detected that the electrical stimulation process significantly reduced the time required for rigor onset in buffaloes' muscles (2 h) compared to the unstimulated (14 h).

It is known that strategies to accelerate postmortem glycolysis rate to avoid phenomena such as cold shortening are crucial for the ideal meat quality. In this study, the cold shortening phenomena was effectively avoided since LT muscles reached temperatures below 15 °C long after (16 h) the rigor onset (6-10 h). In this sense, half carcasses aging time in chamber one (at

15 °C) can be reduced to 6 to 8 h, accelerating or processing chilling without cold shortening-related problems.

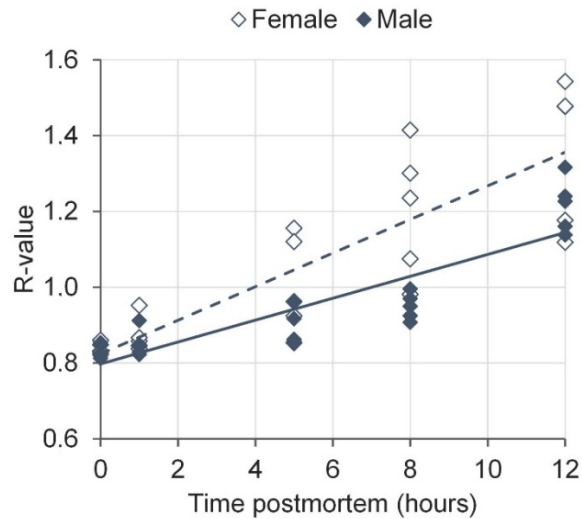


Figure 2. Changes in R-values (inosine/adenosine ratio) of *L. thoracis* muscles of Murrah female and male buffaloes up to 12 h of delayed chilling. $R_{\text{female}} = 0.8243 + 0.0443 \times \text{Hour}$, $P < 0.01$, $R^2 = 0.73$; and $R_{\text{male}} = 0.7979 + 0.0289 \times \text{Hour}$, $P < 0.01$, $R^2 = 0.77$.

Meat technological analyses

Physicochemical and technological meat quality characteristics of male and female buffaloes raised under different production systems (meat and milk) are shown in Table 1.

Final pH values did not differ ($p > 0.05$) between sex and are within the range (pH 5.5 - 5.8) considered as normal for beef (Warris, 2000) and the reported (pH 5.4 - 5.7) range for buffalo meat (Kandeepan et al., 2009; Luz et al., 2017; Mello et al., 2018). However, some papers (Kandeepan et al., 2009; Ekiz et al., 2018) show lower final pH values for female buffaloes compared to males.

Male buffaloes' meat presented ($p \leq 0.05$) higher moisture and ash contents and lower fat content in relation to the females, whereas the protein content did not differ ($P > 0.05$) between sex. This is possible due to two factors: fat is the later tissue to be deposited in the carcass and, therefore, older animals (in this case females with ~ 12 months older) tend to be fatter; and, associated with this, females reach maturity earlier (Warris, 2000). Thus, the lower moisture content in female's meat is due to the fat's diluting effect in the proximate composition. Kandeepan et al. (2009) also observed a higher fat content in females than male buffalo meat.

Table 1. Mean values (\pm standard deviation) of the technological characteristics of *L. thoracis* muscles of Murrah female and male buffaloes.

Characteristics	Female	Male	<i>p</i> -value ¹
pH	5.59 \pm 0.06	5.53 \pm 0.02	0.089
Proximate composition (%)			
Moisture	72.65 \pm 0.93	74.42 \pm 0.25	0.011
Protein	22.13 \pm 1.14	20.86 \pm 1.00	0.226
Fat	3.58 \pm 1.59	1.45 \pm 0.58	0.045
Ash	1.65 \pm 0.80	3.47 \pm 0.72	0.019
Collagen (mg g ⁻¹)			
Total	1.58 \pm 0.16	1.18 \pm 0.3	0.047
Insoluble	1.49 \pm 0.14	0.96 \pm 0.29	0.011
Soluble	0.08 \pm 0.04	0.22 \pm 0.03	0.001
Soluble collagen (%)	5.16 \pm 2.21	20.38 \pm 4.78	0.001
Sarcomere length (μ m)	1.64 \pm 0.21	1.84 \pm 0.08	<0.001
Water holding capacity, FPPM	0.37 \pm 0.07	0.34 \pm 0.06	0.415
Cooking loss (%)	19.93 \pm 4.06	22.04 \pm 4.39	0.482
Fragmentation index, IF	295 \pm 37	334 \pm 41	0.048
Shear force, WBsSF (N)	17.63 \pm 2.55	26.77 \pm 6.04	0.042
Total heme pigment, THP (mg g ⁻¹)	3.26 \pm 1.12	4.05 \pm 0.66	0.375
Myoglobin redox forms (%)			
Metamyoglobin, MMb	29.6 \pm 3.13	30.12 \pm 1.34	0.747
Deoxymyoglobin, DMb	8.66 \pm 3.09	15.56 \pm 2.22	0.006
Oxymyoglobin, Omb	61.74 \pm 0.49	54.32 \pm 1.62	<0.001
CIE color			
Lightness, <i>L</i> *	40.63 \pm 2.49	38.88 \pm 0.59	0.165
Redness, <i>a</i> *	24.03 \pm 1.30	23.12 \pm 0.72	0.222
Yellowness, <i>b</i> *	16.15 \pm 0.73	14.13 \pm 0.61	0.003
Chroma, <i>C</i> *	28.96 \pm 1.46	27.10 \pm 0.89	0.049
Hue angle, <i>h</i> (degrees)	33.93 \pm 0.61	31.42 \pm 0.62	<0.001

FPPM = filter-paper press method; and WBsSF = Warned-Bratzler square Shear Force.

¹ Significant probabilities ($p \leq 0.05$) have been highlighted in bold.

The females' meat also presented ($p \leq 0.05$) higher total collagen contents with a higher amount of the insoluble fraction and a lower amount of the soluble fraction than males' meat. These differences are probably due to the differences in the animals' age. As animals get older, collagen cross-bridges are stabilized and the fibrils' average diameter increase. Thus, molecules become more resistant to tension forces and its solubility is decreased in the face of heat (Warris, 2000; Ramos and Gomide, 2017). Cross-bridges get weaker after cooking, but they do not break. This contributes to the resistance of older animal's meat. Kandeepan et al.

(2009) also observed a higher content of total collagen and lower solubility of such collagen in old female buffaloes' meat than in young male's meat.

The older age of females may also be responsible for the observed ($p \leq 0.05$) shorter sarcomeres than males. Sarcomere lengths found in this experiment (1.64 to 1.84 μm) are quite similar to those reported by Kandeepan et al. (2009), who also observed greater shortening in old female's buffalo meat (1.56 μm) than in young males (1.83 μm).

There was no difference ($p > 0.05$) in water holding capacity (WHC) using the filter-paper press method (FPPM) and in cooking loss. Ekiz et al. (2018) also found no differences in the characteristics between male and female buffaloes aged 2.5 years old.

The fragmentation index values (FI) were lower ($p \leq 0.05$) in the females' meat, indicating higher proteolysis during postmortem than in male's meat. According to Rajagopal and Oommen (2015), myofibrillar fragmentation analysis can be used as an objective method of assessing buffalo meat tenderness, as it is strongly correlated with the general tenderness and the shear force.

Corroborating the FI results, the shear force (WBSF) of the females' meat was lower ($p \leq 0.05$) than that of the males' meat. Meat tenderness is a result of different factors, such as quantity and solubility of the conjunctive tissue, sarcomere shortening during rigor development, and myofibril proteins postmortem proteolysis (Dransfield, 1994; Koohmaraie and Geesink, 2006). In this experiment, the lower insoluble collagen content, higher soluble collagen proportion, and higher sarcomere lengths of males' muscles are favorable for a greater tenderness of the males' meat. However, Culler et al. (1978) reported that myofibrillar fragmentation is responsible for over 50% of the striploin's tenderness variation while collagen solubility represented only about 10% of this variation. Besides that, some reports indicated that the conjunctive tissue's content or solubility had a minimal contribution to the cooked meat tenderness, especially of the same muscles of animals of similar age (Shackelford et al., 1995). According to Hwang et al. (2004), the sarcomere length effect over meat tenderness depends on the cause of the muscle shortening, affecting meat tenderness when proteolysis is limited. Therefore, it is believed that the higher impact in tenderness in the present study was due to the more intense proteolysis that happened during the first 72 h after the slaughter.

Chilling affects meat tenderness mainly through its effects on the pH-temperature drop, physical disruption, and proteolysis (Zhang et al., 2019). As rigor development rate increases, the enzymes are activated earlier at the normally higher prevailing temperature (Dransfield, 1994). Records suggest that μ -calpain (or calpain I) is the main responsible for early

postmortem degradation of the myofibrillar structure, due to its lower calcium ion concentration required for activation, resulting in significant meat tenderization (Koochmarai and Geesink, 2006). Dransfield (1994) affirmed that meat tenderization starts when μ -calpain is activated, normally at pH 6.2-6.3 in beef, and rapidly increases as higher levels of calpain are activated. This process lasts until running out of enzymes. In this sense, the differences in IF and WBsSF values observed between groups in this experiment could be related to a higher initial μ -calpain activity in the females' muscles, which reached a pH close to 6.2 earlier than the males' muscles (Figure 1b).

Despite the WBsSF differences between sex (production systems), in general, both meats can be considered as very tender. Considering the Warner-Bratzler shear force (WBSF) values determined as beef tenderness thresholds by Destefanis et al. (2008) and using the overall equation suggested by Silva et al. (2015) to convert WBSF to WBsSF values, meat with WBsSF lower than 53 N should be considered "tender" and with WBsSF higher than 69 N should be considered "tough". WBsSF values observed in this experiment are below those reported in the literature (WBSF 41-48 N or WBsSF 51-62 N) for not aged meats of water buffaloes with 24-36 months older (Spanghero et al., 2004; Lambertz et al., 2014; Joele et al., 2017; Ekiz et al., 2018; Li et al., 2018; Mello et al., 2018). This greater tenderness can be attributed to the chilling process adopted and the consequent greater proteolysis during postmortem.

There was no difference ($p > 0.05$) in the total heme pigment content between sex. Kandeepan et al. (2009) also found no difference between sexes for the buffaloes' total heme pigment content when assessed in the same age group. Meat color is affected not only by the pigment content, but also by the relative proportion of myoglobin derivatives on its surface (Ramos and Gomide, 2017). Higher levels of deoxymyoglobin (DMb) and lower levels of oxymyoglobin (OMb) were observed ($p \leq 0.05$) in the male buffalo's meat, what indicates a higher oxygenation capacity of females. This is reinforced by the higher ($p \leq 0.05$) chroma values (C^*) observed in the animals that indicates a higher color intensity than that of male animals. Chroma represents the color intensity, describing how vivid or opaque the color is, and is a good blooming indicator of the meat recently exposed to the air (Ramos and Gomide, 2017). In addition, females' meat also presented higher ($p \leq 0.05$) hue values (h), indicating a yellowish-red meat which represents the characteristic bright red color of red meats.

Conclusions

Female (from dairy production) buffaloes' meat had lower rigor onset values and less pH variation than young males (from meat production). However, the carcasses temperature

decay suggests that the chilling system used was responsible for the rapid depletion of glycogen and reduction in the pH values of male and female buffalo's muscles, contributing to a high-quality meat. The lower shear force and fragmentation index in the female's meat indicate their higher meat tenderness and postmortem proteolysis than male meat. The meat of the females also had a more intense flesh color and greater oxygenation of the myoglobin pigment. This suggests that buffalo female's meat derived from dairy production had similar technological quality, or even better, than that of males from meat production. Therefore, the female meat, which had been previously classified as of inferior quality, can be sold in more demanding meat markets. However, studies associated with the shelf life and sensory perception of these products (especially in comparison with beef) are still needed.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Minas Gerais State Research Support Foundation (FAPEMIG; CVZ APQ-03315-17) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; MCT 430206/2016-0) for their financial support and the FAPEMIG for granting the scholarship (master degree) to the first author. Furthermore, they also like to thank Mr. Renato Sebastiani and the Frigorífico Cowpig for offering conditions for the research to be carried out.

References

- ABCB 2020. The buffalo [Online]. São Paulo, SP: Brazilian Association of Buffalo Breeders. Available: <http://www.nelore.org.br/Raca> [Accessed May 21, 2020]. (in portuguese)
- Álvarez C.; Morán L.; Keenan D.F.; Mullen A.-M.; Delgado-Pando G. 2019. Mechanical and biochemical methods for rigor measurement: relationship with eating quality. *Journal of Food Quality* 2019: 1894543. <https://doi.org/10.1155/2019/1894543>
- Aroeira C.N.; Torres Filho R.A.; Fontes P.R.; Ramos A.L.S.; Contreras Castillo C.J.; Hopkins D.L.; Ramos E.M. 2020. Comparison of different methods for determining the extent of myofibrillar fragmentation of chilled and frozen/thawed beef across postmortem aging periods. *Meat Science* 160: 107955. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107955>
- Culler R.D.; Parrish Jr F.C.; Smith G.C.; Cross H.R. 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science* 43: 1177-1180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb15263.x>

- Destefanis G.; Brugiapaglia A.; Barge M.T.; Dal Molin E. 2008. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science* 78: 153-156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.031>
- Dransfield E. 1994. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. *Meat Science* 36: 105-121
- Ekiz B.; Yilmaz A.; Yalcintan H.; Yakan A.; Yilmaz I.; Soysal M.I. 2018. Carcass and meat quality of male and female Water Buffalos finished under an intensive production system. *Annals of Animal Science* 18: 557-574. <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0036>
- Galeazzi P.M.; Mercadante M.E.Z.; Silva J.a.I.V.; De Albuquerque L.G.; De Camargo G.M.F.; Tonhati H. 2010. Analysis of culling probability in dairy buffalo using survival models. *Animal : an international journal of animal bioscience* 4: 1325-1329. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000406>
- Honikel K.O.; Fischer C.; Hamid A.; Hamm R. 1981. Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef. Postmortem storage of muscle at 20°C. *Journal of Food Science* 46: 1-6. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb14517.x>
- Honikel K.O.; Fisher C.A. 1977. A rapid method for the detection of PSE and DFD porcine muscles. *Journal of Food Science* 42: 1663-1676
- Hornsey H.C. 1956. The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 7: 534-540. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740070804>
- Hwang I.H.; Park B.Y.; Cho S.H.; Lee J.M. 2004. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef longissimus and semitendinosus. *Meat Science* 68: 497-505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.04.002>
- IBGE 2019. Municipal Livestock Production (PPM) 2018 [Online]. São Paulo, SP: Brazilian Institute of Geography and Statistics. Available: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=784&view=detalhes> [Accessed May 20, 2020]. (in portuguese)
- Immonen K.; Puolanne E. 2000. Variation of residual glycogen-glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Science* 55: 279-283. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00152-7)
- Jeleníková J.; Pipek P.; Staruch L. 2008. The influence of ante-mortem treatment on relationship between pH and tenderness of beef. *Meat Science* 80: 870-874. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.004>

- Joele M.R.; Lourenço L.F.; Lourenço Júnior J.B.; Araújo G.S.; Budel J.C.; Garcia A.R. 2017. Meat quality of buffaloes finished in traditional or silvopastoral system in the Brazilian Eastern Amazon. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97: 1740-1745. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7922>
- Kandeeapan G.; Anjaneyulu A.S.R.; Kondaiah N.; Mendiratta S.K.; Lakshmanan V. 2009. Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat. *Meat Science* 83: 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.003>
- Koohmaraie M.; Geesink G.H. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 74: 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>
- Krzywicki K. 1979. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science* 3: 1-10. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(79)90019-6)
- Lambertz C.; Panprasert P.; Holtz W.; Moors E.; Jaturasitha S.; Wicke M.; Gaulty M. 2014. Carcass characteristics and meat quality of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) fattened at different feeding intensities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27: 551-560. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13555>
- Li Q.; Wang Y.; Tan L.; Leng J.; Lu Q.; Tian S.; Shao S.; Duan C.; Li W.; Mao H. 2018. Effects of age on slaughter performance and meat quality of Binlangjang male buffalo. *Saudi Journal of Biological Sciences* 25: 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.001>
- Luz P.a.C.D.; Jorge A.M.; Francisco C.D.L.; Mello J.L.M.D.; Santos C.T.; Andrighetto C. 2017. Chemical-physical characteristics of buffalo (*Bubalus bubalis*) meat subjected to different aging times. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 39: 419-428. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36799>
- Mello J.L.M.; Rodrigues A.B.B.; Giampietro-Ganeco A.; Ferrari F.B.; Souza R.A.; Souza P.A.; Borba H. 2018. Characteristics of carcasses and meat from feedlot-finished buffalo and *Bos indicus* (Nellore) bulls. *Animal Production Science* 58: 1366-1374. <https://doi.org/10.1071/AN16556>
- Miller G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31: 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Neath K.E.; Del Barrio A.N.; Lapitan R.M.; Herrera J.R.; Cruz L.C.; Fujihara T.; Muroya S.; Chikuni K.; Hirabayashi M.; Kanai Y. 2007. Difference in tenderness and pH decline

- between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Science* 75: 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>
- Oliveira A.C.D.S.; Ferreira B.C.A.; Cardoso G.V.F.; Silva C.L.; Silva A.S.; Silva F.; Melo R.M.; Cardilli D.J.; Leite F.P.L.; Roos T.B.; Moraes C.M. 2015. Evaluation of a multiplex PCR for detection of a fraud in the minced beef meat by adding buffalo meat. *Revista do Instituto Adolfo Lutz* 74: 371-379. (in portuguese, with abstract in English)
- Pearce K.L.; Rosenvold K.; Andersen H.J.; Hopkins D.L. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. *Meat Science* 89: 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Raj K.R.; Rao R.J.; Rao D.N.; Mahendrakar N. 2000. Influence of direct and delayed chilling of excised female buffalo muscles on their textural quality. *Meat Science* 56: 95-99. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00027-9)
- Rajagopal K.; Oommen G.T. 2015. Myofibril fragmentation index as an immediate postmortem predictor of buffalo meat tenderness. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 1166-1171. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12331>
- Ramos E.M.; Gomide L.a.M. 2017. *Meat quality assessment: fundamentals and methodologies*. 2a ed, Viçosa: Editora UFV, 473 p. (in portuguese)
- Rodrigues L.M.; Sales L.A.; Fontes P.R.; Torres Filho R.A.; Andrade M.P.D.; Ramos A.L.S.; Ramos E.M.R. 2020. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. *Food Chemistry* 313: 126137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126137>
- Savell J.W.; Mueller S.L.; Baird B.E. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Science* 70: 449-459. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.027>
- Shackelford S.D.; Wheeler T.L.; Koohmaraie M. 1995. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science* 73: 3333-3340
- Silva D.R.G.; Torres Filho R.A.; Cazedey H.P.; Fontes P.R.; Ramos A.L.S.; Ramos E.M. 2015. Comparison of Warner–Bratzler shear force values between round and square cross-section cores from cooked beef and pork Longissimus muscle. *Meat Science* 103: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.12.009>
- Soares D.; Areas J.; Batistuti J. 1995. Effect of high voltage electrical stimulation on buffalo meat conditioning. *Revista Brasileira de Agrociencia* 1: 61-68

- Spanghero M.; Gracco L.; Valusso R.; Piasentier E. 2004. In vivo performance, slaughtering traits and meat quality of bovine (Italian Simmental) and buffalo (Italian Mediterranean) bulls. *Livestock Production Science* 91: 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.013>
- Toldra F. 2017. *Lawrie's meat science*. 8th ed, Cambridge: Woodhead Publishing, 730 p.
- Warris P.D. 2000. *Meat science: an introductory text*. Wallingford, UK; Cambridge, USA: CAB International.
- Whipple G.; Koohmaraie M.; Dikeman M.E.; Crouse J.D. 1990. Predicting beef-longissimus tenderness from various biochemical and histological muscle traits. *Journal of Animal Science* 68: 4193-4199. <https://doi.org/10.2527/1990.68124193x>
- Zhang Y.; Mao Y.; Li K.; Luo X.; Hopkins D.L. 2019. Effect of carcass chilling on the palatability traits and safety of fresh red meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 18: 1676-1704. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12497>

ARTIGO 2 - Murrah buffalo and Nellore cattle meat quality evaluation during aging

Artigo redigido nas normas do periódico

Meat Science (ISSN 0309-1740)

Bruna Fernandes Andrade¹, Lorena Mendes Rodrigues¹, Luiza Maria Amaral Frossard de Paula¹, Robledo de Almeida Torres Filho², Paulo Rogério Fontes³, Eduardo Mendes Ramos¹,
Alcinéia de Lemos Souza Ramos^{1*}

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 35690-900, Brasil.

² Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, Campus UFV Florestal, Florestal, Minas Gerais, 35690-000, Brasil.

³ Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 36570-900, Brasil.

*Corresponding author: Tel: +55 (35) 3829-1403; E-mail: alcineia@ufla.br. (A. L. S. Ramos)

Murrah buffalo and Nellore cattle meat quality evaluation during aging

Abstract

This study aimed to evaluate buffalo and cattle Longissimus thoracis muscle quality during aging to meet the need for comparative studies in the field. Steaks were analyzed during four aging times (0, 7, 14, and 21 days) stored at $2 \pm 1^\circ\text{C}$. Buffalo meat had ($P < 0.05$) a lower pH and higher water holding capacity (WHC) than beef. The WHC decreased ($P < 0.05$) during aging (0.41 to 0.28). Lower myofibrillar fragmentation index and shear force (WBsSF) values were observed ($P < 0.05$) in buffalo meat. Soluble collagen content increased ($P < 0.05$) during aging, with lower ($P < 0.05$) values in buffalo meat. Buffalo meat had ($P < 0.05$) higher metmyoglobin percentages and lightness (L^*). There was a difference between buffalo meat and beef volatile compound profiles, with greater variation in the beef profile during aging. In both cases, volatile compounds formed due to lipid oxidation and proteolysis during aging. Therefore, buffalo meat has more tenderness to beef and buffalo meat quality also varies less during aging than beef. The differences in the volatile compound profiles indicate that there might be a sensory difference between these meats.

Keywords: tenderness, myofibrillar fragmentation, color, volatile compound profile.

1. Introduction

Population growth is a global concern, as statistics suggest that a 70 % increase in food production would be necessary to meet the predicted needs by 2050 (FAO, 2018). According to the FAO, world meat production is expected to double by 2050, especially in developing countries. For the expansion in the production of high biological value foods such as red meat, the development of buffalo livestock (*Bubalus bubalis*) becomes an alternative. They are important milk, meat, and leather source, and could also be used for traction in several less-industrialized countries (Lambertz et al., 2014).

Although this species is still scarcely explored in most countries, it seems promising in filling a market niche as buffalo meat has high nutritional and sensory qualities. In addition, buffaloes do not compete with cattle for the same breeding space (Naveena & Kiran, 2014). Cattle (*Bos taurus taurus* and *Bos taurus indicus*) show great similarity with the buffaloes

(*Bubalus bubalis*) in their phenotypic and anatomical characteristics. However, there are physiological differences related to their environments of origin and evolution (Marcondes, 2011), which can interfere with the meat quality of these different species.

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2019), the buffalo (*Bubalus bubalis*) herd in Brazil reached 1.35 million heads, being predominantly composed of animals of the Murrah, Mediterranean, Jafarabadi and Carabao breed. The Brazilian cattle herd consists predominantly of the Nellore (*Bos indicus*) breed animals. Nellore meat quality is well-documented and it is known that the breed genotype accounts for high hardness of meat due to the high calpastatin content and low intramuscular fat (marbling) deposition (Koochmaraie & Geesink, 2006; Shackelford, Wheeler, & Koochmaraie, 1995). On the other hand, buffalo meat quality has not yet been well-studied due to the lack of standardization of the herd, as the slaughtered animals come from different production systems (meat and dairy) (Andrade et al., 2020).

In general, buffaloes are apt for meat and dairy, and their breeding occurs in small and medium farms with a non-homogeneous distribution, the southeastern region being dominated by dairy farming (Marques, Oaigen, Moraes, Santos, Lourenço Júnior, & Abel, 2016). The exploitation of dairy farming in conjunction with meat production is a reality in several countries and, as a result, slaughtering unproductive and old female buffaloes is a common practice that produces low-quality meat (Kandeepan, Anjaneyulu, Kondaiah, Mendiratta, & Lakshmanan, 2009; Spanghero, Gracco, Valusso, & Piasentier, 2004). Better quality meat is attributed to male buffalo aged 2–3 years (Ekiz, Yilmaz, Yalcintan, Yakan, Yilmaz, & Soysal, 2018; Li et al., 2018) but meat production from females are more frequent in later ages due to the great appreciation of buffalo milk production.

Several studies have already evaluated the differences between cattle and buffalo meat quality (Hassan, Abdel-Naeem, Mohamed, & Yassien, 2018; Lapitan et al., 2008; Mello et al., 2018; Valin, Pinkas, Dragnev, Boikovski, & Polikronov, 1984) as well as the effects of aging on buffalo meat quality (Irrueta, Cadoppi, Langman, Grigioni, & Carduza, 2008; Kiran et al., 2016; Luz, Jorge, Francisco, Mello, Santos, & Andrighetto, 2017; Rajagopal & Oommen, 2015). However, comparative studies on the aging process on the beef and buffalo meat quality are still scarce, especially for the volatile profile. Therefore, this study aimed to evaluate how aging affects the meat quality from Murrah buffalo and Nellore cattle commercialized in southeastern Brazil.

2. Materials and methods

2.1. Sample obtention and preparation

To evaluate the meat quality during aging process, boneless ribeye roll (m. *Longissimus thoracis*; LT) of buffalo and cattle were obtained 48 h *postmortem* directly from commercial plants in southeastern Brazil. Buffalo ribeye roll (n = 8) was derived from Murrah animals (slaughter age between 24 and 36 months) in Boituva, São Paulo, Brazil. The beef ribeye roll (n = 8) of Nelore (slaughter age approximately 24 months) were obtained in Contagem, Minas Gerais, Brazil.

Vacuum-packaged identified ribeye rolls were transported to Meat Science and Technology Laboratory (LabCarnes), at Food Science Department (DCA) of Federal University of Lavras (UFLA) and kept refrigerated (4 ± 1 °C) until next morning. Each sample was cut into four 5 cm-thick steaks that were individually identified, weighed, vacuum packed (BS420; R.Baião, Ubá, MG, Brazil) in nylon-polyethylene plastic (90 µm thick and oxygen transmission rate of 30–60 cm³/m²/day/atm) and randomized at four aging times (0, 7, 14, and 21 days). Aging was conducted at 2 ± 1 °C in a climatic chamber (model EL202; Eletrolab Indústria e Comércio Ltda., São Paulo, Brazil).

Grounded samples (~200 g) from LT muscle were also obtained to determine the proximate composition (moisture, protein, fat and ash) using a near infrared (NIR) device (FoodScan™; FOSS Analytical A/S, Hillerod, Denmark).

2.2. Purge, pH and water holding capacity

At each aging time, steaks were removed from the packaging, dabbed dry using paper towels, and weighed again to determine the purge (%). The pH of LT muscle was evaluated with an insertion electrode at three different points of each steak, using a portable pH meter (model HI99163; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA) calibrated in pH 4.0 and 7.0 buffer solution. About 300 mg of LT muscle was obtained in triplicate to determine the water holding capacity (WHC) by the filter paper pressure method (FPPM) as described by Aroeira et al. (2016).

2.3. Collagen content

Soluble and insoluble collagen fractions were separated after heating at 77 °C for 70 min, and the collagen content (mg/g) was quantified by determining the amount of hydroxyproline amino acid (Bergman & Loxley, 1963), as described by Ramos and Gomide (2017). Factors of 7.52 (for soluble) and 7.25 (for insoluble) are used to convert the hydroxyproline to collagen content fractions (Cross, Carpenter, & Smith, 1973). The percentage of soluble collagen (%) in relation to the total collagen content was also calculated.

2.4. Myofibrillar fragmentation

The degree of myofibrillar fragmentation was evaluated by the fragmentation index (FI) method as described by Aroeira et al. (2020). Briefly, 5-g frozen samples were homogenized with 50 mL of cooled extraction solution (sucrose 250 mM; KCl 20 mM; at 4 °C) for 30 s (Turratéc TE 102: Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brazil) and filtered with a nylon screen with a pore size of 250 µm. The residue weight (RW) was determined and the FI was expressed as $100 \times RW$. Lower IF values indicate increased proteolysis of the myofibrillar protein structure.

2.5. Cooking loss and shear force

Steaks of 2.5 cm-thick were obtained, weighted and cooked on a preheated (200 °C) striated grill (SCGE model; Croydon, Duque de Caxias, RJ, Brazil) until reaching the temperature of 71°C in the geometric center (accompanied with a thermocouple). After cooled at room temperature for 4 h, the steak was weight again and the cooking loss (%) was calculated.

After cooking loss evaluation, shear force was measured using the Warner-Bratzler square Shear Force (WBsSF) method proposed by Silva, Torres Filho, Cazedey, Fontes, Ramos, and Ramos (2015). From each cooked steak, ~~originated~~ six rectangular cores (1.0 x 1.0 x 2.5 cm) were obtained (in the direction of the muscle fibers) and sheared transversely (at 3.33 mm/s) by a Warner-Bratzler blade, using a TA.XTplus Texture Analyser (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). The maximum force (N) to completely shear each core was recorded and the average was value obtained for each steak.

2.6. Color characteristics

Color characteristics were measured using a portable spectrophotometric CM-700d (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan), with an 8-mm aperture size, illuminant A, 10 ° observer angle, and in both specular component included (SCI) and excluded (SCE) modes.

The CIE color and heme pigments proportions were measured by five readings taken at different points on the 2.5 cm-thick steak surface after blooming for 60 min at room temperature. The lightness (L^*), redness (a^*), yellowness (b^*), chroma (C^*), and hue angle (h) values were recorded in SCE mode. Reflectance values from 400 to 700 nm (every 10 nm) in the SCI mode were used to estimate the percentages of oxymyoglobin (OMb), deoxymyoglobin (DMb) and metmyoglobin (MMb) by the mathematical method proposed by Krzywicki (1979).

2.7. Volatile profiles

Volatile compound (VOCs) separation and identification were performed, in duplicate, in unaged (0 days) and aged (21 days) samples using a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer (GC-MS QP2010 Plus, Shimadzu®, Kyoto, Japan) equipped with an automatic injector for liquids and gases (AOC-5000; Shimadzu®, Kyoto, Japan) and an SLB®-5MS capillary column (5 % phenyl–95 % dimethylsiloxane; 30 m × 0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness; Supelco, Bellefonte, PA, USA) as described by (Haddad, Silva, Oliveira, Paula, Ramos, & Ramos, 2020).

Meat sample of 2.5 g was put in a 22 mL vial sealed with PTFE-faced silicone septum (Supelco, Bellefonte, PA, USA) and preheated at 60 °C for 10 min in a heating block. The volatile compounds were extracted in the headspace by solid-phase microextraction (SPME), using a DVB/CAR/PDMS fiber (Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane, 10 mm length, 50-30µm thick layer; Supelco Bellefonte, PA, USA) exposed for 45 min. Then, the fiber was injected into the GC for thermal desorption at 250 °C in a splitless mode injector for 2 min. Helium was used as carrier gas at a flow rate of 1 mL/min. Initially, the oven temperature remained at 35 °C/2 min, then increased at a rate of 2 °C/min until it reached 80 °C, then to 150 °C at a rate of 4 °C/min, and then to 230 °C at a rate of 8 °C/min. Mass spectrometer was the electron impact (70 eV), in scan mode (45–350 Da), with a solvent cut at 0.55 min. The temperature of detector interface and ion source remained at 250 °C and

200 °C, respectively. VOCs were identified by comparing the mass spectra obtained with mass spectra provided by the software database (Wiley 8 and FFNSC 1.2) and the retention indexes obtained experimentally were compared to data reported in the literature, through the injection of a series of alkane homologs (Supelco, Bellefonte, PA, USA). The areas of each peak were calculated using the GCMS Solutions program (Shimadzu[®], Kyoto, Japan), and the data were presented as the total ion count ($TI \times 10^4$).

2.8. Statistical analysis

The experiment was conducted in a factorial scheme 2 (species; S) \times 4 (aging times; A). The influence of main factors and their interaction on meat quality characteristics was determined by analysis of variance (ANOVA) and, when necessary, Tukey's test was used to separate means. Statistical analyzes were performed using the SAS GLM procedure (SAS software, version 9.2; Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC, USA) at a *p*-value of 0.05.

An exploratory analysis was conducted to evaluate the volatile compounds (VOCs) identified within the studied effects. The peak areas of specific VOCs were transformed into log₁₀ before being submitted to a principal component analysis (PCA), which was conducted using sensomaker software[®] version 1.91 (UFLA, Brazil).

3. Results and discussion

3.1. Proximate composition

There was no difference ($P > 0.05$) in the centesimal composition (moisture, protein, fat and ash) between buffalo meat and beef (Table 1). Although variations between species for breeding management, feed conversion and age of animals could contribute to variation in proximal composition (Naveena & Kiran, 2014), there were no differences ($P > 0.05$) among the commercialized cuts. This result agrees with other studies (Giuffrida-Mendoza et al., 2015; Lapitan et al., 2008; Spanghero et al., 2004) but is contradictory to that reported by Hassan et al. (2018) and Naveena and Kiran (2014), in which buffaloes had a higher protein and moisture content than beef.

Table 1. Proximal composition of meat (*L. thoracis*) from Murrah buffalo and Nellore cattle.

Characteristic (%)	Murrah	Nellore	SEM	<i>p</i> -value
Moisture	73.64	73.41	0.25	0.812
Protein	21.42	22.37	0.25	0.131
Fat	2.39	2.27	0.27	0.715
Ash	2.45	1.95	0.21	0.253

SEM = standard error of mean.

3.2. Physicochemical characteristics

The effects of specie (S), aging time (A) and their interaction (SxA) on meat (*L. thoracis*) physicochemical characteristics are shown in Table 2.

Lower pH values ($P < 0.05$) were observed for buffalo meat than for beef (Table 2), but they were within the range considered normal for both buffalo (5.4–5.6) (Kandeepan & Biswas, 2007) and cattle (5.5–5.8) (Warris, 2000).

According to Neath et al. (2007), higher glycogen contents are found in buffaloes than in cattle and, therefore, a greater pH decline is expected. The glycogen content immediately after slaughter is considered a limiting factor in the final pH, but the pre-slaughter management associated with the animal's stress susceptibility may change the initial muscle glycogen concentrations (Warris, 2000). Andrade et al. (2020) reported that the glycogen levels of Murrah buffaloes immediately after slaughter (74 to 106 mmol GEq/kg) were within the typical muscle glycogen concentration of well-fed and resting bovines. Thereby, the lower pH observed in buffalo meat suggest a higher *postmortem* glycolytic rate or less stress during slaughter than cattle. Lower pH values for buffalo meat than beef were also reported (Lapitan et al., 2008; Spanghero et al., 2004; Valin et al., 1984), although Hassan et al. (2018) observed a higher pH values for buffalo meats and Neath et al. (2007) did not observe differences between species.

There were no differences ($P > 0.05$) in pH value during 21-days aging, which agrees with reported by Aroeira et al. (2016) for beef Nellore and Aberdeen cattle. However, Luz et al. (2017) reported a reduction in pH values of buffalo's meats during aging.

Table 2. Effects of specie (S), aging time (A) and their interaction (S×A) on meat (*L. thoracis*) technological characteristics.

Characteristics	Species ¹		Aging (days)				SEM	p-value ²		
	Buffalo	Bovine	0	7	14	21		S	A	S×A
pH	5.58 ^y	5.68 ^x	5.62	5.62	5.64	5.64	0.01	< 0.001	0,615	0.984
Purge (%)	1.01	1.59	0.00	1.53	1.89	2.17	0.13	< 0.001	< 0.001	0.022
Water holding capacity, WHC	0.37 ^x	0.30 ^y	0.41 ^a	0.32 ^b	0.32 ^b	0.28 ^b	0.01	< 0.001	< 0.001	0.253
Cooking loss (%)	21.22 ^y	23.21 ^x	21.80	21.11	22.52	23.06	0.45	0.010	0.463	0.101
Total collagen, TC (mg/g)	1.49 ^y	1.99 ^x	1.53	1.73	1.89	1.69	0.07	< 0.001	0.079	0.073
Insoluble collagen (mg/g)	1.27 ^y	1.64 ^x	1.29	1.51	1.60	1.32	0.06	< 0.001	0.115	0.056
Soluble collagen (mg/g)	0.22 ^y	0.34 ^x	0.24 ^b	0.22 ^b	0.29 ^{ab}	0.37 ^a	0.02	< 0.001	0.005	0.309
Soluble collagen (%TC)	14.57	17.33	16.15 ^b	12.31 ^b	14.35 ^b	21.12 ^a	0.94	0.111	0.016	0.539
Fragmentation index, FI	394	441	447	427	390	367	10	0.194	0.003	0.006
Shear force, WBsSF (N)	35.82 ^y	56.40 ^x	58.31 ^a	51.21 ^b	41.39 ^c	33.53 ^d	2.37	< 0.001	< 0.001	0.186

SEM = standard error of mean; WBsSF = Warner-Bratzler square Shear Force.

¹Murrah buffalo and Nellore cattle.²Significant probabilities ($P<0.05$) are written in bold.^{x,y} Means followed by different letters, between species, differ from each other ($P<0.05$) by the F test.^{a-d} Means followed by different letters, between aging, differ from each other ($P<0.05$) by Tukey's test.

Significant interaction was found for meat purge values between species and aging times. Overall, purge of beef increases ($P<0.05$) approximately 1% more during aging than that of buffalo meat (Figure 1). This result corroborates the lower ($P<0.05$) water holding capacity (WHC) values observed for beef than buffalo meat (Table 2).

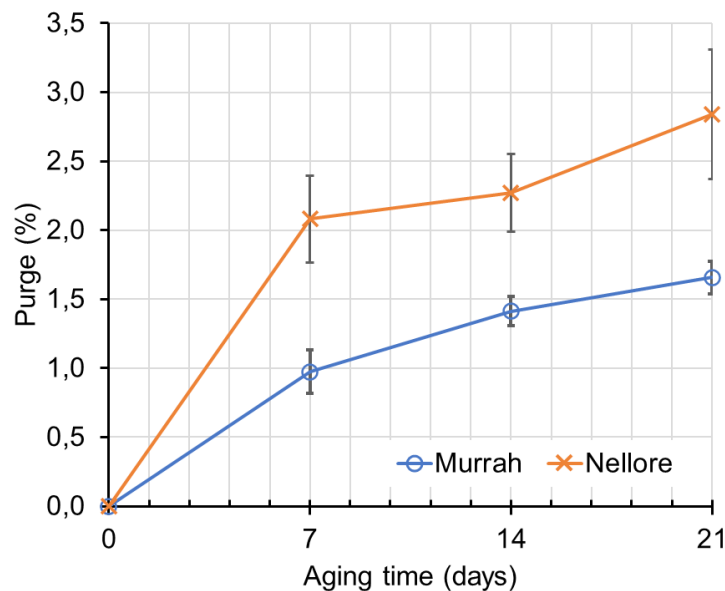


Figure 1. Purge (%) of *L. thoracis* muscle from Murrah buffalo and Nellore cattle during aging. The bars represent the standard error of mean.

Although it is expected that meat with a pH close to the muscle protein isoelectric point ($pI \sim 5.4$) have a lower WHC (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005), there was no relationship between purging and pH in the present study, since lower purge was observed in muscle with lower pH (buffalo LT). Kiran et al. (2016) also found no relationship between pH and WHC of the *Longissimus thoracis et lumborum* for young ($pH 6.22$, < 2 years) and old age ($pH 5.79$, > 10 years) buffalo muscles.

Poor WHC results in high water released, which can be described as drip, purge, weep, exudate or cook loss (Hughes, Oiseth, Purslow, & Warner, 2014). As much as 85% of the water in a muscle cell is held by capillary forces within the myofibrils, the spacing between the thick and thin filaments within sarcomeres interferes in the WHC of raw meat (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005). After the slaughter of the animal, an increase in drip loss is expected due to the decrease in the sarcomere length, that is, in sarcomeres with less reduction in the spacing between the

myofilaments, greater WHC is expected, not depending exclusively on pH (Hughes et al., 2014). A similar sarcomere lengths have been reported in buffaloes (1.65-1.84 μm) (Andrade et al., 2020; Kandeepan et al., 2009; Kiran et al., 2016) and in cattle (1.53-2.08 μm) (Smulders, Marsh, Swartz, Russell, & Hoenecke, 1990), although this characteristic is highly dependent on slaughter conditions.

The increase ($P < 0.05$) in purging with the storage time is consistent with the reduction ($P < 0.05$) observed in WHC after seven aging days. Purge increasing might be the result of changes in concentrations of amino acids within the muscle fiber that provide the displacement of water to the extracellular medium (Hughes et al., 2014), the natural separation of fibers and muscle bundles, and the formation of drip channels. Thus, the negative pressure caused by vacuum packaging during wet aging induces the gradual release of water (Aroeira et al., 2016). Moreover, lower purge during storage in buffalo meat was due to the greater WHC and was probably associated with the highest ($P < 0.05$) postmortem proteolysis observed in these meats in the first days of aging (Figure 2). The degradation level during aging is negatively correlated with water loss (Aroeira et al., 2016). According to Huff-Lonergan and Lonergan (2005), the degradation of cytoskeletal proteins (desmin, vinculin, sinemin, and talin), which promote costameric bonds among myofibrils and between them and the sarcolemma, improves the meat WHC.

As observed for WHC, buffalo meat had lower ($P < 0.05$) cooking loss values than beef (Table 2). According to Tornberg (2005), the structural origin of water-holding in whole meat it is the shrinkage and swelling of myofibrils, but at 60-70 $^{\circ}\text{C}$ the connective tissue network also contribute to the longitudinal shrinkage of muscle fibers. This shrinkage causes the great water loss that is obtained on cooking. Therefore, higher cooking losses observed in beef it may also be due to higher ($P < 0.05$) collagen contents (Table 1), especially the insoluble fraction, which acts as an additional factor to promote the expulsion of water to the extracellular environment during cooking. Mello et al. (2018) also observed lower cooking losses in buffalo meat than in beef.

Despite de WHC differences, cooking losses of both meats did not change ($P > 0.05$) with aging time. According to Hughes et al. (2014), although the water lost during cooking is generally higher in meat which has been aged, at cooking temperatures of 60-70 $^{\circ}\text{C}$ only 55-58% of the variation in cooking loss is explained by WHC. The results reported in the literature about

aging effects on cooking losses are conflicting, with some studies reported an increase in the cooking loss values in beef (Aroeira et al., 2016) and in buffalo meat (Irrueta et al., 2008).

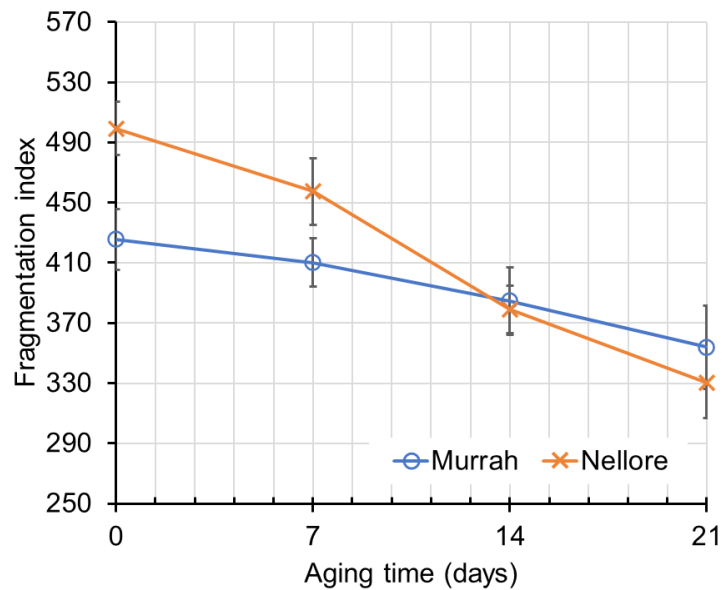


Figure 2. Myofibrillar fragmentation of *L. thoracis* muscle from Murrah buffalo and Nellore cattle during aging. The bars represent standard error of mean.

Total, insoluble and soluble collagen content (mg/g) were higher ($P<0.05$) in beef than buffalo meat (Table 2). The lower total collagen content in buffalo meat than beef was also observed by Valin et al. (1984) and Mello et al. (2018). Hassan et al. (2018) also reported higher content of soluble collagen in beef than in buffalo meat. However, for the collagen insoluble fraction, the results obtained are contradictory to the expected results. Buffaloes were older than the bovines, we thus expected a greater formation of cross-links and, consequently, a greater fraction of insoluble collagen than in beef (Warner, Greenwood, Pethick, & Ferguson, 2010), which differs from the obtained results. As seen in beef, buffalo age interferes with insoluble collagen fractions (Kandeepan et al., 2009).

Soluble collagen content and percentage increases ($P<0.05$) with aging (Table 2). According to Riley et al. (2005) this increase could be associated with cathepsin activity and can contribute to meat tenderness.

Myofibrillar fragmentation index, determined by the fragmentation index (FI) method, was affected ($P<0.05$) by interaction between specie and aging time (Table 2). At days 0 and 7,

buffalo meat had greater ($P < 0.05$) myofibrillar fragmentation compared to beef, with little change (-17%) during storage days (Figure 2). However, fragmentation occurred more intensely in beef (-34%, approximately double the buffalo reduction) during aging, reaching the same FI values ($P > 0.05$) to those registered for buffalo meat after just 14 aging days. The FI of buffalo meat was higher at day 0, indicating greater proteolysis during rigor mortis.

The myofibrillar fragmentation is often used as a tenderness predictor of beef (Aroeira et al., 2020; Marino, Albenzio, della Malva, Santillo, Loizzo, & Sevi, 2013) and buffalo meat (Rajagopal & Oommen, 2015). Indeed, shear force was lower ($P < 0.05$) in buffalo meat than beef and decreased ($P < 0.05$) during aging, regardless of species (Table 2). In addition to greater proteolysis, lower shear force is consistent with less ($P < 0.05$) collagen content in the meat buffalo. According to Riley et al. (2005), the total collagen amount (but not percentage soluble collagen) was reported to be a significant explanatory variable of shear force and overall tenderness of longissimus from beef of different ages.

Lower values for shear force in buffalo meat than zebu beef was also reported by Lapitan et al. (2008) and Neath et al. (2007). In this experiment, buffalo meat could be considered as “tender” and beef had “intermediate tenderness” by Destefanis, Brugiapaglia, Barge, and Dal Molin (2008) classification, considering the thresholds (WBsSF < 53 N for “tender meat” and > 69 N for “tough meat”) obtained using the overall equation suggested by Silva et al. (2015) to convert WBSF to WBsSF values.

3.3. Color characteristics

The effects of specie (S), aging time (A) and their interaction (SxA) on meat (*L. thoracis*) metmyoglobin reductase activity (MRA), oxygen consumption rate (OCR), myoglobin pigments and color are shown in Table 3.

Table 3. Effects of species (S), aging (A) and their interaction (SxA) on meat (*L. thoracis*) heme pigment proportions and color indexes.

Characteristic	Species ¹		Aging (days)				SEM	<i>p</i> -value ²		
	Buffalo	Bovine	0	7	14	21		S	A	SxA
Myoglobin pigments										
Oxymyoglobin, OMb (%)	62.77 ^y	67.11 ^x	62.31	66.44	67.02	64,80	1.02	0.036	0.236	0.711
Deoxymyoglobin, DMb (%)	7.82 ^y	18.37 ^x	18.91 ^a	12.08 ^b	11.17 ^b	9,96 ^b	1.01	<0.001	0.002	0.855
Metmyoglobin, MMb (%)	29.41 ^x	14.52 ^y	18.77	21.48	21.81	25,24	1.19	<0.001	0.365	0.296
Color										
Lightness, <i>L</i> *	41.38 ^y	43.67 ^x	41.64 ^b	43.12 ^{ab}	43.59 ^a	42,03 ^{ab}	0.32	<0.001	0.026	0.307
Redness, <i>a</i> *	25.18 ^x	21.50 ^y	22.22	24.29	23.67	22,94	0.37	<0.001	0.093	0.506
Yellowness, <i>b</i> *	16.84 ^x	14.57 ^y	14.32 ^b	16.38 ^a	16.27 ^a	15,87 ^a	0.25	<0.001	0.001	0.487
Chrome, <i>C</i> *	30.30 ^x	26.00 ^y	26.44 ^b	29.30 ^a	28.74 ^a	27,91 ^{ab}	0.44	<0.001	0.030	0.494
Hue, <i>h</i> (degree)	33.76	34.19	32.72 ^b	33.99 ^b	34.67 ^{ab}	34,86 ^a	0.25	0.200	0.004	0.686

SEM = standard error of mean.

¹Murrah buffalo and Nellore cattle.

²Significant probabilities ($P < 0.05$) are written in bold.

^{x,y} Means followed by different letters, between species, differ from each other ($P < 0.05$) by the F test.

^{a-b} Means followed by different letters, between aging, differ from each other ($P < 0.05$) by Tukey's test.

Higher ($P<0.05$) metmyoglobin (MMb) and lower ($P<0.05$) deoxymyoglobin (DMb) and oxymyoglobin (OMb) were observed in buffalo meat than in beef (Table 3). Although they have not estimated the proportion of chemical forms of myoglobin, Tateo, De Palo, Quaglia, and Centoducati (2007) concluded in their study that thawed beef has a greater tendency to produce OMb, and buffalo thawed meat tends to produce MMb.

None of the color indices were affected ($P>0.05$) by the interaction between species and aging time. Buffalo meat has lower ($P<0.05$) lightness (L^*) than beef (Table 3) and this difference between species was also reported by Lapitan et al. (2008) and Spanghero et al. (2004). According to Dosi et al. (2006), the color of buffalo meat is darker than bovine meat probably due to other factors than the oxidation rate of its myoglobin. These authors observed that the myoglobin content in buffalo meat (0.393 g/100 g of tissue) are almost twice as high as bovine meat (0.209 g/100 g of tissue). One explanation may be the greater oxygenation observed in buffalo meat, since Aroeira et al. (2017) reported that higher OMb content also contributed to higher L^* values in beef. The variation in L^* values during aging may have been due to the degradations of protein with endogenous proteases, leading to weakening of protein structure, which results in more light dispersion (MacDougall, 1982).

Higher ($P<0.05$) redness (a^*), yellowness (b^*) and chroma (C^*) values were observed for buffalo meat than beef. These are consistent with the higher a^* (Hassan et al., 2018; Spanghero et al., 2004) and b^* (Spanghero et al., 2004) values reported for buffalo meat when compared with beef. Aroeira et al. (2017) reported positive correlations of the OMb with a^* ($r = 0.68$) and b^* ($r = 0.45$) values in beef, but high OMb content was not the reason for the higher values observed in this experiment, since buffalo meats have less blooming. Anyway, although significant, the shifts in color seem to be rather limited in nature and may not be perceived by consumers. The higher DMb content in beef is consistent with its greater oxygenation capacity, that is, in the presence of oxygen, this chemical form is easily converted to OMb. Furthermore, the greater oxidizing tendency of buffalo meat is also suggested by the low percentage of DMb.

During aging time, a slight increase ($P<0.05$) in b^* and C^* values were observed, regardless the specie (Table 3). A slight increase in these values in the bovine longissimus muscle along conventional aging has been reported in many studies (Aroeira et al., 2017), in the same way as for buffalo meats (Luz et al., 2017).

An increase ($P<0.05$) in hue angle (h value) was also observed during aging (Table 3). The hue angle describes the development of a hue color from red to yellow; lower and higher angles indicate reddish and yellowish hues, respectively (Ramos & Gomide, 2017). In

general, the hue angle is associated with the meat discoloration, increasing during aging due to the OCR and MRA reduction (Aroeira et al., 2017).

3.4. Volatile compound profiles

The volatile compound profiles identified 15 compounds (Table 4), classified as alcohols (n = 5), aldehydes (n = 8), and ketones (n = 2).

Eight compounds (octanol, benzaldehyde, decanal, heptanal, hexanal, nonanal, octanal and tetradecanal) were identified in both species. As expected in vacuum-packed red meats, aldehydes are the main products derived from lipid autoxidation (Watanabe, Kamada, Imanari, Shiba, Yonai, & Muramoto, 2015). According to Elmore, Mottram, Enser, and Wood (1999) aldehyde compounds from lipid oxidation are the main contributors to sensory perception due to their low threshold of perception.

According to Calkins and Hodgen (2007) the octanol 1-Octanol is associated with fatty, waxy, citrus, oily, walnut, moss, chemical, metal and burnt. The benzaldehyde is formed by arachidonic acid and linoleic acid degradation but could also be formed through a non-lipid route (Mottram & Edwards, 1983). Heptanal and octanal are oleic acid degradation products, being heptanal one of the main fat oxidation products and has been associated with a pungent and penetrating smell and green fruit scents (Nieto, Bañón, & Garrido, 2011). Hexanal is the dominant aldehyde produced during oxidation, indicating lipid oxidation of meat more effectively than any other volatile component (Ross & Smith, 2006). (Ross & Smith, 2006). However, single compound evaluation alone does not predict lipid oxidation profile and extent of in the meat or the sensory flavor characteristics perceived (Nieto et al., 2011). The nonanal compound comes from the oxidation of oleic acid and is associated with the floral, citric, and grassy aromas and decanal are related to the aldehyde and orange aroma (Calkins & Hodgen, 2007; Nieto et al., 2011).

Three compounds were identified only in buffalo meat (benzeneacetaldehyde, 2-heptanone and 3-octan-2-one). According to Calkins and Hodgen (2007), the compound 2-heptanone is assigned a fruity odor, and the presence of 3-octen-2-one is associated with the odor of nuts, crushed, earthy, spicy, herbal, sweet, mushroom, and hay odors. The presence of 2-heptanone has been proposed as an indicator of a greater extent of lipid oxidation in pork meat (Estévez et al., 2012) and, suggested as responsible for the differences in the aroma of oxidized cooked meat (Resconi, Escudero, Beltrán, Olleta, Sañudo, & Campo Mdel, 2012).

Table 4. Volatile compounds (total ion count $\times 10^3$) of meat (*L. thoracis*) from Murrah buffalo and Nellore cattle before and after 21 days of aging.

N	Compound	Murrah		Nellore		Mean	SEM
		0 day	21 days	0 day	21 days		
<i>Alcohols</i>							
1	1-Heptanol	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	26	26	3
2	1-Nonanol	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	36	36	4
3	1-Octanol	151	23	285	126	146	21
4	1-Octen-3-ol	<i>nd</i>	<i>nd</i>	3	51	27	4
5	Benzeneethanol	<i>nd</i>	<i>nd</i>	<i>nd</i>	534	534	46
<i>Aldehydes</i>							
6	Benzaldehyde	287	175	105	207	194	46
7	Benzeneacetaldehyde	32	1334	<i>nd</i>	<i>nd</i>	683	177
8	Decanal	30	<i>nd</i>	37	<i>nd</i>	34	12
9	Heptanal	95	<i>nd</i>	84	<i>nd</i>	90	19
10	Hexanal	620	1051	119	<i>nd</i>	597	129
11	Nonanal	2336	709	1806	520	1343	241
12	Octanal	474	52	234	60	205	58
13	Tetradecanal	253	276	79	439	262	32
<i>Ketones</i>							
14	2-Heptanone	7175	3008	<i>nd</i>	<i>nd</i>	5092	687
15	3-Octanone	23	72	<i>nd</i>	<i>nd</i>	48	17
	Σ Alcohols	151	23	288	773		
	Σ Aldehydes	4127	3597	2464	1226		
	Σ Ketones	7198	3080	<i>nd</i>	<i>nd</i>		

SEM = standard error of mean; *nd* = not detected.

Another three compounds were found only in beef (1-Heptanol, 1-nonanol and 1-octen-3-ol). The 1-octen-3-ol originates from the degradation of linoleic and arachidonic acid and is associated with the odor of mushrooms, moss, and walnuts, whereas heptanol imparts a fragrant, woody aroma, oily, green, fat, wine, sap and grass, and the 1-heptanol, is associated with fragrant, woody, oily, green, fatty, winey, sap, herb (Calkins & Hodgen, 2007).

Aging favors the lipid oxidation process, due to factors such as oxidation of iron present in myoglobin and post-mortem proteolysis, with an increase in the content of aldehydes

expected after 21 days (Zhao et al., 2020). However, not all compounds indicative of lipid oxidation increased during aging, this is due to the interactions between peptides and amino acids released from proteolysis with secondary compounds (aldehydes) (Ross & Smith, 2006).

Beef had greater number of compounds with the alcohol function than buffalo meat, especially after 21 days. Alcohol compounds are usually products of the reaction of amino acids with lipid oxidation compounds (Resconi, Bueno, Escudero, Magalhaes, Ferreira, & Campo, 2018) Therefore, the predominance of alcohols at 21 days seems to be consistent, since they are dependent on lipid oxidation and proteolysis.

The two principal components from the PCA (Figure 3) explained 88.01% of the variation in the volatile compound profiles for buffalo meat and beef: the first principal component (PC1) explained 49.61% and the second principal component (PC2) explained 33.40%. The VOCs dispersion in the PCA shows that different volatile compounds appeared during aging. As expected, we observed volatile meat compound profile variations with aging, favored by enzymatic proteolysis that releases precursors for the synthesis of aromatic compounds (Ha et al., 2019).

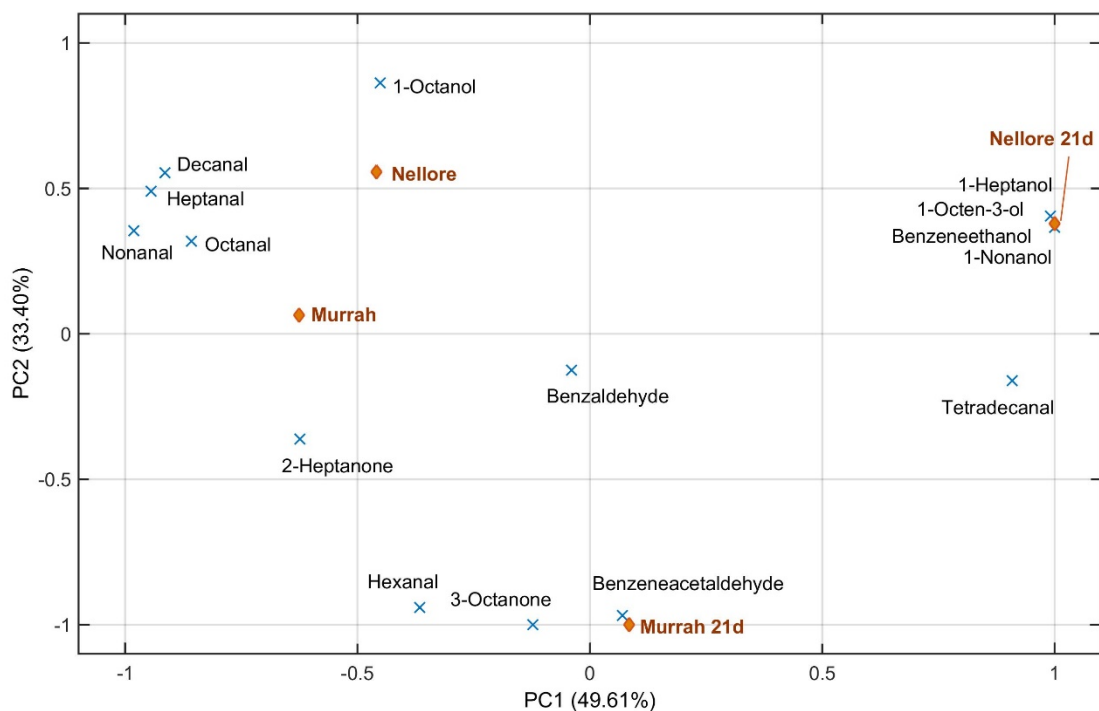


Figure 3. Principal component analysis (PCA) of volatile compounds of meat (*L. thoracis*) from Murrah buffalo and Nellore cattle before and after 21 days of aging.

On day 0 of maturation, the Nelore buffalo meat samples were in the same upper left quadrant, that is, they had similar volatile compound profiles. At 21 days of maturation, the meat samples were located on the right and in different quadrants, superior bovine and inferior buffalo. This result suggests that maturation favored the formation and distinction of volatile compounds in buffalo and beef. There was a large dispersion in the volatile compound profile of beef at days 0 and 21 of aging, with the appearance of heptanol, 3-octenol, nonanal, and phenethyl alcohol (benzenethanol), exclusively in beef. Concerning the buffalo meat, the presence of phenylacetaldehyde and 3-octanone was verified.

The difference between species was expected as the volatile compound formation depends on the intramuscular lipid composition (Calkins & Hodgen, 2007). Tissues with a higher degree of polyunsaturated fat are expected to produce higher overall concentrations of volatile compounds derived from lipid oxidation (Ross & Smith, 2006). To the best of our knowledge, no comparative study focuses on cattle and buffaloes volatile compound profiles. A difference in the lipid profile between beef and buffalo meat was reported, in which buffalo meat has a higher unsaturated fatty acids content than beef (Giuffrida-Mendoza et al., 2015; Spanghero et al., 2004). Moreover, differences in postmortem proteolysis during aging also contributed to differences between species in terms of the volatile's compounds formed.

4. Conclusions

Buffalo meat had greater myofibrillar fragmentation compared to beef, but fragmentation occurred more intensely in beef in the first 14 days-aging. The meat tenderness of both species was favored with aging. However, buffalo meat had higher water retention capacity and is more tender than beef at all times. Buffalo meat was darker and had higher red color intensity than beef.

The results obtained for the analysis of volatile compounds suggest that buffalo meat presented higher lipid oxidation on day 0 of maturation in relation to beef. The differences in volatile compound profiles indicate that there might be a sensory difference between these meats, which, might be affected by aging. Thus, further studies would be necessary to better understand these aspects.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; CVZ APQ-02015-15) and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; MCT 430206/2016-0) for their financial support and the FAPEMIG for the scholarship granted (master degree) to the first author.

Conflict of interest

The authors declare no potential conflicts of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

References

- Andrade, B. F., Castro, M. M., Rodrigues, L. M., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Ramos, E. M., & Ramos, A. L. (2020). Effects of delayed chilling on rigor development and meat quality of Murrah buffalo from different production systems. *International Journal of Food Science & Technology*, (submitted for publication).
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Gomide, L. A. M., Ramos, A. L. S., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2016). Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Meat Science*, *116*, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.006>
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., Contreras Castillo, C. J., Hopkins, D. L., & Ramos, E. M. (2020). Comparison of different methods for determining the extent of myofibrillar fragmentation of chilled and frozen/thawed beef across postmortem aging periods. *Meat Science*, *160*, 107955. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107955>
- Aroeira, C. N., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., Gomide, L. A. M., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. *Meat Science*, *125*, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>
- Bergman, I., & Loxley, R. (1963). Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry*, *35*, 1961-1965. <https://doi.org/10.1021/ac60205a053>
- Calkins, C. R., & Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, *77*(1), 63-80. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.016>

- Cross, H. R., Carpenter, Z. L., & Smith, G. C. (1973). Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*, 38(6), 998-1003. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02133.x>
- Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M. T., & Dal Molin, E. (2008). Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science*, 78, 153-156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.05.031>
- Dosi, R., Di Maro, A., Chambery, A., Colonna, G., Costantini, S., Geraci, G., & Parente, A. (2006). Characterization and kinetics studies of water buffalo (*Bubalus bubalis*) myoglobin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 145(2), 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.07.006>
- Ekiz, B., Yilmaz, A., Yalcintan, H., Yakan, A., Yilmaz, I., & Soysal, M. i. (2018). Carcass and meat quality of male and female Water Buffalos finished under an intensive production system. *Annals of Animal Science*, 18(2), 557-574. <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0036>
- Elmore, J. S., Mottram, D. S., Enser, M., & Wood, J. D. (1999). Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47(4), 1619-1625. <https://doi.org/10.1021/jf980718m>
- Giuffrida-Mendoza, M., de Moreno, L. A., Huerta-Leidenz, N., Uzcátegui-Bracho, S., Valero-Leal, K., Romero, S., & Rodas-González, A. (2015). Cholesterol and fatty acid composition of longissimus thoracis from water buffalo (*Bubalus bubalis*) and Brahman-influenced cattle raised under savannah conditions. *Meat Science*, 106, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.03.024>
- Ha, Y., Hwang, I., Ba, H. V., Ryu, S., Kim, Y., Kang, S. M., Kim, J., Kim, Y., & Cho, S. (2019). Effects of dry- and wet-ageing on flavor compounds and eating quality of low fat Hanwoo beef muscles. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 655-667. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e58>
- Haddad, G. B. S., Silva, D. R. G., Oliveira, S. K., Paula, M. M. O., Ramos, A. L., & Ramos, E. M. (2020). Effects of freezing/thawing processes on volatile and fatty acid profiles of wet- and dry-aged beef from Nellore cattle. *Meat Science*, (submitted for publication).
- Hassan, M. A., Abdel-Naeem, H. H. S., Mohamed, H. M. H., & Yassien, N. A. (2018). Comparing the physico-chemical characteristics and sensory attributes of imported Brazilian beef meat and imported Indian buffalo meat. *Journal of Microbiology*,

- Biotechnology and Food Sciences*, 8(1), 672-677.
<https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.8.1.672-677>
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- Hughes, J. M., Oiseth, S. K., Purslow, P. P., & Warner, R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98(3), 520-532. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.022>
- IBGE. (2019). Municipal Livestock Production (PPM) 2018 (in portuguese). In). São Paulo, SP: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Irurueta, M., Cadoppi, A., Langman, L., Grigioni, G., & Carduza, F. (2008). Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. *Meat Science*, 79(3), 529-533. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.010>
- Kandeepan, G., Anjaneyulu, A. S. R., Kondaiiah, N., Mendiratta, S. K., & Lakshmanan, V. (2009). Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat. *Meat Science*, 83(1), 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.003>
- Kandeepan, G., & Biswas, S. (2007). Effect of Low Temperature Preservation on Quality and Shelf Life of Buffalo Meat. *American Journal of Food Technology*, 2(3), 126-135. <https://doi.org/10.3923/ajft.2007.126.135>
- Kiran, M., Naveena, B. M., Reddy, K. S., Shahikumar, M., Reddy, V. R., Kulkarni, V. V., Rapole, S., & More, T. H. (2016). Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *Animal*, 10(6), 1007-1015. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002931>
- Koohmaraie, M., & Geesink, G. H. (2006). Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.025>
- Krzywicki, K. (1979). Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science*, 3(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(79)90019-6)
- Lambertz, C., Panprasert, P., Holtz, W., Moors, E., Jaturasitha, S., Wicke, M., & Gauly, M. (2014). Carcass characteristics and meat quality of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) fattened at different feeding intensities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(4), 551-560. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13555>

- Lapitan, R. M., Del Barrio, A. N., Katsube, O., Ban-Tokuda, T., Orden, E. A., Robles, A. Y., Cruz, L. C., Kanai, Y., & Fujihara, T. (2008). Comparison of fattening performance in Brahman grade cattle (*Bos indicus*) and crossbred water buffalo (*Bubalus bubalis*) fed on high roughage diet. *Animal Science Journal*, 79(1), 76-82. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2007.00500.x>
- Li, Q., Wang, Y., Tan, L., Leng, J., Lu, Q., Tian, S., Shao, S., Duan, C., Li, W., & Mao, H. (2018). Effects of age on slaughter performance and meat quality of Binlangjiang male buffalo. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.001>
- Luz, P. A. C. d., Jorge, A. M., Francisco, C. d. L., Mello, J. L. M. d., Santos, C. T., & Andrighetto, C. (2017). Chemical-physical characteristics of buffalo (*Bubalus bubalis*) meat subjected to different aging times. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39, 419-428. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36799>
- MacDougall, D. B. (1982). Changes in the colour and opacity of meat. *Food Chemistry*, 9(1), 75-88. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(82\)90070-X](https://doi.org/10.1016/0308-8146(82)90070-X)
- Marcondes, C. R. (2011). Melhoramento de búfalos no Brasil: avanços, entraves e perspectivas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 307-315.
- Marino, R., Albenzio, M., della Malva, A., Santillo, A., Loizzo, P., & Sevi, A. (2013). Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Science*, 95(2), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.009>
- Marques, C. S. S., Oaigen, R. P., Moraes, C. M. d., Santos, M. A. S. d., Lourenço Júnior, J. d. B., & Abel, I. (2016). Segmentation of the buffalo meat consumer market in Belém, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 336-344.
- Mello, J. L. M., Rodrigues, A. B. B., Giampietro-Ganeco, A., Ferrari, F. B., Souza, R. A., Souza, P. A., & Borba, H. (2018). Characteristics of carcasses and meat from feedlot-finished buffalo and *Bos indicus* (Nellore) bulls. *Animal Production Science*, 58(7), 1366-1374. <https://doi.org/10.1071/AN16556>
- Mottram, D. S., & Edwards, R. A. (1983). The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(5), 517-522. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740340513>
- Naveena, B. M., & Kiran, M. (2014). Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Animal Frontiers*, 4(4), 18-24. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0029>

- Neath, K. E., Del Barrio, A. N., Lapitan, R. M., Herrera, J. R., Cruz, L. C., Fujihara, T., Muroya, S., Chikuni, K., Hirabayashi, M., & Kanai, Y. (2007). Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Science*, 75(3), 499-505. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.08.016>
- Nieto, G., Bañón, S., & Garrido, M. D. (2011). Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat. *Food Chemistry*, 125(4), 1147-1152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.090>
- Rajagopal, K., & Oommen, G. T. (2015). Myofibril Fragmentation Index as an Immediate Postmortem Predictor of Buffalo Meat Tenderness. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1166-1171. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12331>
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2017). *Meat Quality Assessment: Fundamentals and Methodologies (in portuguese)* (2a ed.). Viçosa: Editora UFV.
- Resconi, V. C., Bueno, M., Escudero, A., Magalhaes, D., Ferreira, V., & Campo, M. M. (2018). Ageing and retail display time in raw beef odour according to the degree of lipid oxidation. *Food Chemistry*, 242, 288-300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.036>
- Resconi, V. C., Escudero, A., Beltrán, J. A., Olleta, J. L., Sañudo, C., & Campo Mdel, M. (2012). Color, lipid oxidation, sensory quality, and aroma compounds of beef steaks displayed under different levels of oxygen in a modified atmosphere package. *Journal of Food Science*, 77(1), S10-18. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02506.x>
- Riley, D. G., Johnson, D. D., Chase, C. C., West, R. L., Coleman, S. W., Olson, T. A., & Hammond, A. C. (2005). Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Science*, 70(2), 347-356. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.01.022>
- Ross, C. F., & Smith, D. M. (2006). Use of Volatiles as Indicators of Lipid Oxidation in Muscle Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 18-25. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x>
- Shackelford, S. D., Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1995). Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science* 73(11), 3333-3340.
- Silva, D. R. G., Torres Filho, R. A., Cazedey, H. P., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., & Ramos, E. M. (2015). Comparison of Warner–Bratzler shear force values between round and square cross-section cores from cooked beef and pork Longissimus muscle. *Meat Science*, 103, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.12.009>

- Smulders, F. J., Marsh, B. B., Swartz, D. R., Russell, R. L., & Hoenecke, M. E. (1990). Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*, 28(4), 349-363. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90048-b](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90048-b)
- Spanghero, M., Gracco, L., Valusso, R., & Piasentier, E. (2004). In vivo performance, slaughtering traits and meat quality of bovine (Italian Simmental) and buffalo (Italian Mediterranean) bulls. *Livestock Production Science*, 91(1), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.013>
- Tateo, A., De Palo, P., Quaglia, N. C., & Centoducati, P. (2007). Some qualitative and chromatic aspects of thawed buffalo (*Bubalus bubalis*) meat. *Meat Science*, 76(2), 352-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.12.003>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493-508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
- Valin, C., Pinkas, A., Dragnev, H., Boikovski, S., & Polikronov, D. (1984). Comparative study of buffalo meat and beef. *Meat Science*, 10(1), 69-84. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(84\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(84)90032-9)
- Warner, R. D., Greenwood, P. L., Pethick, D. W., & Ferguson, D. M. (2010). Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science*, 86(1), 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.042>
- Warris, P. D. (2000). *Meat science: an introductory text*. Wallingford, UK; Cambridge, USA: CAB International.
- Watanabe, A., Kamada, G., Imanari, M., Shiba, N., Yonai, M., & Muramoto, T. (2015). Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. *Meat Science*, 107, 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.004>
- Zhao, D., Li, H., Huang, M., Wang, T., Hu, Y., Wang, L., Xu, D., Mao, S., Li, C., & Zhou, G. (2020). Influence of proteolytic enzyme treatment on the changes in volatile compounds and odors of beef longissimus dorsi. *Food Chemistry*, 333, 127549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127549>

ARTIGO 3 - Influência de fatores intrínsecos e extrínsecos sobre a percepção sensorial e na intenção de compra da carne de búfalo por consumidores do Sudeste do Brasil

Artigo redigido nas normas do periódico

Appetite (ISSN 0195-6663)

Bruna Fernandes Andrade¹, Marielle Maria de Oliveira Paula¹, João de Deus Souza Carneiro¹, Paulo Rogério Fontes², Robledo de Almeida Torres Filho³, Eduardo Mendes Ramos¹, Alcinéia de Lemos Souza Ramos^{1*}

¹ Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

² Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 36570-900, Brasil.

³ Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, Campus UFV Florestal, Florestal, Minas Gerais, 35690-000, Brasil.

*Corresponding author: Tel: +55 (35) 2142-2113; E-mail: alcineia@ufla.br. (A. L. S. Ramos)

Influência de fatores intrínsecos e extrínsecos sobre a percepção sensorial e na intenção de compra da carne de búfalo por consumidores do Sudeste do Brasil

Resumo

Ainda não há na literatura estudos sobre como as características comportamentais do consumidor impactam no momento da decisão de compra e após a degustação da carne de búfalo. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de fatores extrínsecos (tipo de carne, preço e alegações nutricionais) sobre a intenção de compra e a percepção de fatores intrínsecos (maciez, suculência e sabor) no contra-filé de búfalo, em uma região do Brasil cuja a comercialização de carne de búfalo não é comum. Os bifes de contrafilés, bovinos e bubalino, foram dispostos em sistema de *retail display* e os rótulos foram elaborados para a simulação da situação de compra. A análise conjunta foi realizada para avaliar os efeitos dos fatores extrínsecos enquanto testes sensoriais de diferença do controle, intenção de compra e aceitação global foram realizados para os fatores intrínsecos. A preferência pela carne de búfalo foi atribuída por um grupo específico de consumidores. A presença de alegações nutricionais no rótulo foi importante para a maioria dos consumidores, mas eles não estão dispostos a pagar a mais por isso. A carne de búfalo foi menos aceita e teve menor intenção de compra do que as bovinas, mas não foi rejeitada pelos consumidores.

Palavras-chaves: Análise conjunta, intenção de compra, aceitação, diferença do controle, Murrah.

1. Introdução

A bubalinocultura é importante para a produção de carne, leite e demais coprodutos em países menos industrializados, principalmente na Ásia. A Índia é a maior produtora mundial de carne de búfalo, que é considerada de menor qualidade em relação à bovina em razão, principalmente da falta de padronização do rebanho e do abate de grande quantidade de animais com idade avançada (Kiran, et al., 2016; Lambertz, et al., 2014). O Brasil possui o maior rebanho de bubalinos do ocidente, totalizando 1,4 milhões de animais (IBGE, 2019), porém, o consumo de carne de búfalo ainda é limitado a algumas regiões do país. A carne bubalina não possui identificação em parte do Brasil devido a similaridade com a carne bovina, pois há registros de que a carne de bubalinos seja comercializada de duas maneiras

distintas: como carne de búfalos, rotuladas como de alto padrão de qualidade (*premium*); e àquelas vendidas como bovinas, quando são classificadas com qualidade inferior (como fêmeas descartadas após período produtivo) ou desvalorizadas na região produtora (Andrade, et al., 2020; Oliveira, et al., 2015).

Há poucos os estudos que discutem sobre a qualidade de carne bubalina, principalmente em relação à qualidade sensorial e dos fatores que influenciam a escolha do consumidor. O estudo da qualidade de carne é complexo, pois as percepções e as preferências dos consumidores são afetadas por um conjunto de fatores intrínsecos e extrínsecos (Meyerding, Gentz, Altmann, & Meier-Dinkel, 2018; Shan, et al., 2017). As características intrínsecas estão relacionadas a aspectos como cor, textura, suculência, sabor e aroma, enquanto as extrínsecas correspondem aos fatores psicológicos e de marketing, informações presentes no rótulo, o *design* da embalagem, o preço, as características sociodemográficas e culturais dos consumidores (Bello Acebrón & Calvo Dopico, 2000; Resurreccion, 2004). Desse modo, o consumidor dificilmente faz escolhas utilizando apenas um atributo. Geralmente são feitas associações de um conjunto de fatores que podem promover ou não a sua satisfação. Em função disso, as preferências e a intenção de compra dos consumidores não são homogêneas, i.e., as decisões de comprar ou não um produto podem ser tomadas mediante a diferentes atributos de qualidade (Verbeke & Viaene, 1999).

A *conjoint analysis* permite avaliar a influência de determinados fatores extrínsecos pré-selecionados sobre a intenção de compra ou aceitação de grupos de consumidores (Green & Krieger, 1993). Para carne e produtos cárneos em geral, as pesquisas realizadas têm indicado alguns atributos com maior efeito sobre a tomada de decisão do consumidor, como país de origem de produção (Bernabéu, Rabadán, El Orche, & Díaz, 2018), tipo de carne (Kibar & Mikail, 2018), preço (Font i Furnols, et al., 2011; Meyerding, et al., 2018; Shan, et al., 2017), avisos nutricionais (Schnettler, et al., 2019), rastreabilidade (du Plessis & du Rand, 2012), sistema de criação dos animais (García-Torres, López-Gajardo, & Mesías, 2016), selo de qualidade (Bernabéu, et al., 2018; Font i Furnols, et al., 2011) e segurança alimentar (Kibar & Mikail, 2018).

Recentemente, estudos com análise conjunta foram associados a testes sensoriais de degustação de carne vermelha, e resultaram em uma melhor compreensão da preferência do consumidor na tomada de decisão do consumidor no ato da compra e após a compra, que prediz a repetição da escolha (Meyerding, et al., 2018; Schnettler, et al., 2019). Devido a inexistência de trabalhos que avaliem os fatores relevantes na compra de carne de búfalo, objetivou-se compreender a influência dos fatores extrínsecos tipo de carne (Nelore, Angus e

Búfalo), preço (alto e baixo) e alegações nutricionais nos rótulos da carne de búfalo (sem e com) sobre a intenção de compra, bem como avaliar sensorialmente os atributos intrínsecos (maciez, suculência e sabor), intenção de compra e aceitação global com consumidores em uma região do Brasil em que a comercialização da carne de búfalo não é comum.

2. Materiais e métodos

2.1. Obtenção da matéria-prima

Contrafilés (*M. Longissimus lumborum*) desossados, embalados a vácuo, com data de produção de 24 h (máximo 48 h *postmortem*) de búfalos da raça Murrah foram e de novilhas de bovinos Nelore e Aberdeen Angus rotulados como *premium* foram obtidos de plantas comerciais localizadas na região sudeste do Brasil. Os contrafilés foram transportados em caixa térmica até o Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (LabCarnes), na Universidade Federal de Lavras, e submetidos a maturação em câmara climática (modelo EL202; Eletrolab Indústria e Comércio Ltda., São Paulo, Brazil) à temperatura de 1,5 ° C por 21 dias. Posteriormente, os contrafilés foram congelados (-20 °C) por 30 dias até a data da análise sensorial.

2.2. Caracterização instrumental das carnes

As carnes foram descongeladas (4 °C/24 h) e um bife de 2,5 cm de espessura foi obtido para a caracterização instrumental dos animais avaliados. Os bifos foram expostos ao ar à temperatura ambiente por 60 minutos para a oxigenação (*blooming*). Em seguida, eles foram fotografados em estúdio fotográfico (Photosimile 100 Studio; Ortery, Irvine, CA, EUA) composto por quatro lâmpadas verticais (Philips Ecotone PL-L 865/4p; 18 W, 6500 K, 1200 lm e 80 Ra) em cada canto por uma câmera Canon PowerShot SX120 IS de 12 megapixels, posicionada a 34 cm do chão do equipamento e programada para autofoco e velocidade ISO 80. As imagens foram utilizadas para a elaboração dos rótulos da análise conjunta (item 2.3).

Posteriormente, a cor instrumental dos bifos foi avaliada utilizando um colorímetro espectrofotométrico Minolta CM-700 (Kônica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão), com abertura de 8 mm, iluminante A, ângulo de observador de 10° e com componente especular excluído (SCE), conforme descrito por (Ramos & Gomide, 2017). A partir de cinco leituras conduzidas na superfície dos bifos, foram obtidos os valores de luminosidade (L^*), índice de

vermelho (a^*), índice de amarelo (b^*), saturação (C^*) e o ângulo da tonalidade (h , graus). O pH foi mensurado, em triplicata, utilizando pHmetro portátil (modelo HI99163; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, EUA) acoplado a um eletrodo de inserção.

Por fim, a força de cisalhamento (FC) dos bifés foi avaliada nas mesmas condições de cozimento da análise sensorial. Os bifés foram temperados com 1% de sal refinado e grelhado em chapa (modelo SCGE; Croydon; Duque de Caxias, RJ, Brazil) pré-aquecida a 200 °C por exatos 2 minutos e 50 segundos, com termopar localizado em seu centro geométrico. O cozimento foi conduzido até os bifés atingirem temperatura interna de 75 °C. Em seguida, os bifés foram resfriados à temperatura ambiente por 4 horas e a FC foi mensurada segundo a metodologia Warner-Bratzler square Shear Force (WBsSF) proposta por Silva, et al. (2015), utilizando um texturômetro TA.XTplus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK).

2.3. Avaliação sensorial

Os testes de diferença do controle, intenção de compra, impressão global e disposição a pagar foram utilizados na análise sensorial. Foram recrutados 100 avaliadores, não-treinados, elegíveis para participar do estudo segundo o critério de consumir carne vermelha e de estar interessado e disponível em participar. Durante o recrutamento dos avaliadores, nenhuma informação a respeito do objetivo específico da pesquisa foi fornecida. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Lavras (CAAE: 20353519.5.0000.5148) e todos os avaliadores estavam de acordo com o termo de consentimento do estudo. Os avaliadores responderam um questionário com perguntas sobre características demográficas e perfil de consumo de carne vermelha antes de realizar os testes sensoriais.

Após descongelamento (4 °C/24 h), os contrafilés foram porcionados em bifés de 2,5 cm de espessura (200 g; corte transversal), salgados (cloreto de sódio 1%) e grelhados conforme descrito no item 2.2. A temperatura final de cozimento (75°C) foi determinada de acordo com o hábito brasileiro de consumo de carne vermelha, que compreende predominantemente de “carne ao ponto” (“*medium*”) e “bem passada” (“*well done*”). Uma amostra retangular interna de tamanho padrão (~8,0 cm × 4,0 cm × espessura do bife) foi removida (excluindo as bordas e as gorduras externas), cortada transversalmente (ao seu maior comprimento) em amostras de 1 cm de espessura e novamente cortadas ao meio, obtendo-se amostras de aproximadamente 4-6 g (2 × 2 × 1 cm) para serem servidas aos painelistas.

Quatro amostras foram disponibilizadas para o teste: uma amostra rotulada como referência (carne de bovino Nelore); e, a direita desta, três amostras codificadas (três dígitos) foram distribuídas de forma casualizada e balanceada, correspondentes as carnes de búfalo e de bovinos Angus e Nelore. Foi requisitado aos avaliadores que provassem a amostra referência e em seguida as amostras codificadas, limpando o paladar com água entre cada avaliação.

Primeiramente foi solicitado que o avaliador indicasse a relação existente, de intensidade da diferença ou similaridade, entre cada amostra codificada e a referência para os atributos de maciez, suculência e sabor, por meio de uma escala estruturada de cinco pontos, em que: (1) muito menos macio/suculento/saboroso do que a referência; (2) menos macio/suculento/saboroso do que a referência; (3) igual a referência; (4) mais macio/suculento/saboroso do que a referência; e (5) muito mais macio/suculento/saboroso do que a referência. Em seguida, foi solicitado que os avaliadores indicassem a aceitação e a intenção de compra para cada amostra codificada, utilizando escalas hedônicas estruturadas de cinco pontos, compostas respectivamente por: (1) desgosta muito, (2) desgosta pouco, (3) indiferente, (4) gosta pouco e (5) gosta muito; e (1) não comprarei com certeza, (2) provavelmente não comprarei, (3) posso ou não comprar, (4) provavelmente comprarei e (5) comprarei com certeza. Por fim, os avaliadores foram solicitados a indicar por qual das amostras codificadas eles com certeza pagariam mais caro.

2.4. Análise conjunta de fatores

Os fatores extrínsecos presentes no rótulo que mais influenciam no processo de escolha dos consumidores foram avaliados de acordo com Resurreccion (2004). O método de coleta de dados de perfil completo (Green & Srinivasan, 1978), foi conduzido em dois experimentos para a definição dos tratamentos. Os fatores tipo de carne (contrafilés de Búfalo, Angus e Nelore) e preço (R\$ 49,99/Kg e R\$ 29,99/Kg) foram avaliados no primeiro experimento, enquanto os fatores de alegação nutricional (com e sem alegação nutricional) e preço (R\$49,99/Kg e R\$29,99/Kg) apenas para a carne de búfalo foram avaliados no segundo experimento. Os tratamentos foram formados pela combinação de um nível de cada fator, totalizando seis tratamentos (3 tipos de carne × 2 preços) no primeiro experimento e quatro tratamentos (2 alegações nutricional × 2 preços) no segundo experimento.

Os preços utilizados para o quilograma do contrafilé foram baseados nos valores praticados nos mercados locais na região de Lavras-MG para a linha *premium*. Os avisos

nutricionais para a carne de búfalo foram formulados segundo informações da Associação Brasileira de Criadores de Búfalos (ABCB), em que se tem menor percentual de calorias (menos 45%) e maior de proteínas (mais 11%) em relação a carne bovina.

Rótulos e etiquetas de preço virtuais para o teste foram desenvolvidos no programa CoreIDRAW® 2019, conforme as normas brasileiras de rotulagem de alimentos. O *desing* do rótulo e marca do produto foram padronizados, diferenciando apenas no que se refere às informações do tipo de carne, a presença de alegação nutricional e a imagem do animal. A etiqueta de preço também foi padronizada, contendo somente as informações básicas. As imagens de cada tipo de carne, obtidas conforme descrito no item 2.2, foram utilizadas na criação das bandejas virtuais (Figura 1) simulando a condição de comercialização de carne a varejo (*retail display*).



Figura 1. Imagens dos tratamentos apresentados aos respondentes com preço de R\$ 49,99/kg: contrafilés de bovinos das raças (a) Angus e (b) Nelore e de búfalos (c); e contrafilés de búfalos (c) sem e (d) com alegação nutricional.

As imagens dos produtos foram avaliadas por 403 respondentes, recrutados na internet, não-treinados, elegíveis para participar do estudo segundo o critério de consumir carne vermelha e de estar interessado e disponível em participar. Não foram concedidas informações a respeito do objetivo específico da pesquisa, sendo realizado após a aprovação pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Lavras (CAAE: 20353519.5.0000.5148) e com o consentimento dos respondentes. Os respondentes também responderam a um questionário a respeito de algumas características demográficas e perfil de consumo de carne vermelha. Os resultados deste questionário foram apresentados nas tabelas (Tabela 3 e 5) em formato reduzido.

A análise foi conduzida por meio de um formulário *online*, dividido em três seções, em que a primeira foi composta pela caracterização dos respondentes e perfil de consumo de carne, a segunda seção correspondeu às fotos das embalagens de produtos com os fatores estudados no primeiro experimento (tipo de carne x preço) e a terceira seção correspondeu às fotos das embalagens de carne de búfalo com os fatores estudados no segundo experimento (alegação nutricional x preço). As fotos das embalagens foram apresentadas de forma aleatória, em cada seção, e de forma monádica. Os respondentes foram orientados sobre o procedimento experimental e da situação proposta a fim de aumentar a validade dos resultados (Jaeger, et al., 2017). Foi solicitado aos respondentes que avaliassem os produtos no contexto de uma situação de escolha cotidiana em uma gôndola de mercado/açougue, sendo realizado uma única vez. Aos respondentes foi solicitado mensurar a sua intenção de compra para cada produto, usando uma escala hedônica linear, de 1 a 5, com as seguintes expressões nas extremidades: não compraria (1), à esquerda e compraria (5), à direita.

2.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram conduzidas no programa SAS® System for Windows™ (version 9.0; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), com nível de 5% de significância. Os resultados obtidos nos testes de diferença do controle, intenção de compra e aceitação foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), e em seguida foi realizado teste de médias de Tukey.

A análise conjunta de fatores utilizou o modelo aditivo como regra de composição (Steenkamp, 1986) e o modelo *clustering segmentation* como estratégia de análise (Moore, 1980). A princípio, as *part-worths* foram estimadas por meio de regressão linear múltipla, com variáveis *dummy*, e com métodos de mínimos quadrados, para cada um dos respondentes.

Em seguida, os respondentes que não se adequaram ao modelo ($P > 0,10$) foram excluídos, mas sem efeito significativo para nenhum fator avaliado. Os respondentes que se adequaram ao modelo ($P < 0,10$) foram agrupados pelo método *average linkage* com a distância euclidiana como medida de dissimilaridade das *part-worths*. Os grupos foram formados por participantes que apresentaram comportamento de compra (*part-worths*) semelhante. Após a definição do número de grupos, a análise agregada foi realizada para cada grupo, estimando-se as *part-worths* e as importâncias relativas para cada grupo formado.

3. Resultados e discussões

3.1. Caracterização instrumental dos contrafilés

A medida de pH, e as características instrumentais de força de cisalhamento (WBsSF) e os índices de cor dos bifes de contrafilés bubalino (Murrah) e bovino (Nelore e Angus) estão demonstrados na Tabela 1. Estes resultados são apenas descritivos das amostras utilizadas.

Tabela 1. Características de qualidade do músculo *L. lomburum* de búfalo (Murrah) e de bovinos da raça Nelore e Angus.

Características	Búfalo	Nelore	Angus
pH	5,55	5,59	5,59
WBsSF (N)	18,11	17,91	17,53
Índices de cor			
Luminosidade, L^*	37,17	33,99	39,20
Índice de vermelho, a^*	16,00	21,18	23,21
Índice de amarelo, b^*	7,32	12,32	14,81
Saturação, C^*	17,60	24,51	27,53
Ângulo de tonalidade, h (°)	24,58	30,18	32,54

WBsSF = Warner-Blatzer square Shear Force.

3.2 Avaliação sensorial

Dos 100 provadores, 51 consumidores eram mulheres e 49 homens, a maioria (58%) jovens com idade entre 18 e 29 anos, renda familiar predominante de 2 a 5 salários-mínimos. 57% dos consumidores classificaram o seu consumo como “diário”, sendo que a maioria (57%) já havia consumido carne de Angus e apenas 16% já haviam consumido carne de búfalo. Os participantes apresentaram preferência de consumo de carne ao ponto (53%).

3.2.1 Diferença do controle

A maciez, o sabor e a suculência das carnes de búfalo e de bovinos, Nelore e Angus, em comparação com a carne bovina de Nelore (referência) estão demonstradas na Figura 2. A carne de búfalo foi considerada ($P < 0,05$) menos macia e suculenta, enquanto a carne de Angus foi considerada ($P < 0,05$) mais macia e suculenta, em relação à referência de carne bovina Nelore. Por outro lado, o sabor das carnes de búfalo e bovina de Angus não diferiu ($P > 0,05$) da referência de carne de bovinos Nelore. Além disso, as notas de maciez, sabor e suculência próximas a “(3) igual a referência” indicaram a acuracidade do painel sensorial pela similaridade da referência de carne de Nelores com a sua amostra codificada.

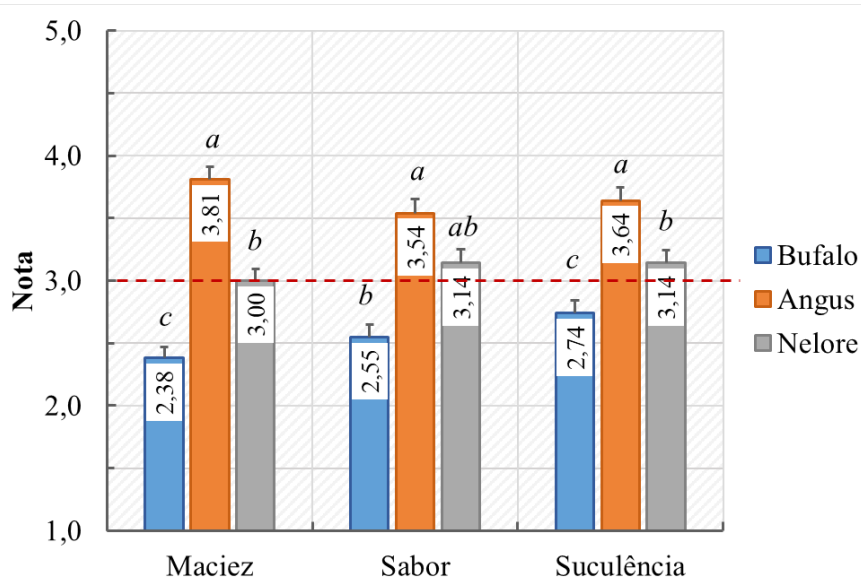


Figura 2. Maciez, sabor e suculência das carnes de búfalo Murrah e bovinas Nelore e Angus em relação a referência (Nelore). Escala: (1) muito menos macio/suculento/saboroso do que a referência; (2) menos macio/suculento/saboroso do que a referência; (3) igual a referência; (4) mais macio/suculento/saboroso do que a referência; e, (5) muito mais macio/suculento/saboroso do que a referência. ^{a-c} Médias com letras diferentes, no mesmo atributo, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A maciez, suculência e sabor da carne são atributos de grande importância para a palatabilidade geral da carne (O’Quinn, Legako, Brooks, & Miller, 2018). A carne de búfalo foi percebida como de menor maciez e suculência do que as carnes de bovinos Nelore e Angus, o que é coerente, pois a suculência é um dos fatores que contribuem para a sensação

de maciez (Muchenje, et al., 2009). Pela avaliação instrumental (Tabela 1), todas as três carnes se encontravam abaixo da força de cisalhamento (WBsSF) de 31,5 N reportada por Belew, Brooks, McKenna, and Savell (2003) para músculos “muito macios”, o que era esperado para carnes *premium*. Ao avaliar consumidores em restaurantes e domicílios, Huffman, et al. (1996) sugeriu que carnes bovinas dentro de um mesmo limiar de maciez instrumental (força de cisalhamento), em geral, estão dentro de um mesmo limiar de aceitação para a percepção sensorial de maciez. Desta forma, é provável que outros fatores tenham contribuído para a maciez, especialmente o grau de gordura de marmoreio das carnes, que é altamente relacionado aos atributos de suculência e de sabor (Thompson, 2004). A gordura de marmoreio refere-se a gordura intramuscular, ou seja, ao teor de gordura distribuída entre as fibras musculares, sendo que animais de genótipo europeu (*Bos indicus*), como o Angus, possuem maior tendência em acumular este tipo de gordura do que a carne de animais zebuínos (*Bos indicus*), como o Nelore (Bressan, Rodrigues, Rossato, Ramos, & Gama, 2011). Segundo Irurueta, Cadoppi, Langman, Grigioni, and Carduza (2008) as carcaças de búfalos Murrah apresentam uma baixo grau de marmorização, correspondendo ao grau de “pequena quantidade” na escala Americana de marmoreio para bovinos. Isto condiz com os resultados apresentados na Figura 2, em que se observa uma maior sensação de suculência, maciez e sabor nas carnes de bovinos Angus, seguido das carnes de Nelore e de búfalos.

Apesar das diferenças significativas na suculência e na maciez, o sabor das carnes de búfalo foi considerado similar ($P < 0,05$) a de Nelores. Hassan, Abdel-Naeem, Mohamed, and Yassien (2018) avaliaram por um painel treinado as diferenças sensoriais entre carnes bovina brasileira e bubalina indiana congeladas importadas e relataram menor maciez, suculência e sabor para as carnes de búfalos. Por outro lado, Canozzi, et al. (2016) relataram que entre os consumidores do Rio Grande do Sul, Brasil, a carne de búfalo apresentou maior maciez em relação a carne de Angus e da cruz Brangus (Angus x Brahman), sem no entanto diferença para os atributos de suculência e aceitação sensorial. Ainda, segundo esses autores, somente a idade e a renda obtiveram relação com as respostas dos consumidores.

3.2.2 Intenção de compra, aceitação global e disposição a pagar

Todas as amostras se localizaram na região de aceitação e intenção de compra positiva, porém houve diferença ($P < 0,05$) na aceitação e intenção de compra entre as amostras (Figura 3). A aceitação e intenção de compra da carne de Angus foram maiores ($P < 0,05$) do

que a carne de Nelore, que por sua vez foram maiores ($P < 0,05$) do que a carne de búfalo. Além disso, a maioria dos avaliadores pagariam mais caro pela carne de Angus (79%) e de Nelore (56%) enquanto apenas 21% dos avaliadores pagariam mais pela carne de búfalo.

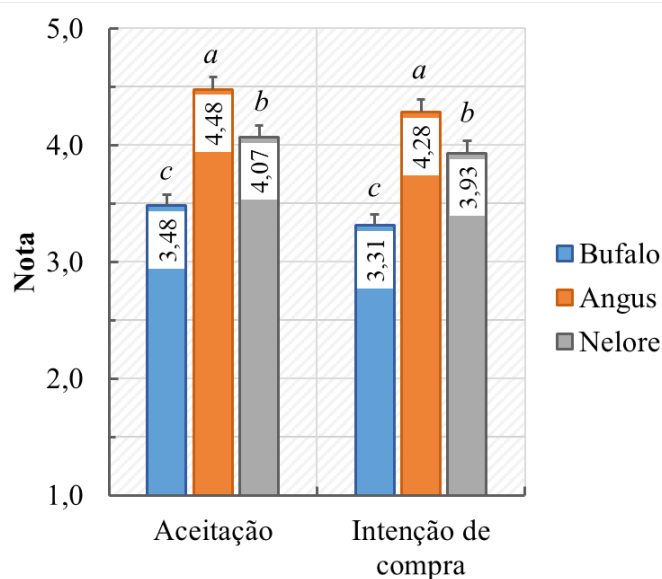


Figura 3. Valores médios das notas ($n = 100$) de aceitação e intenção de compra das carnes de búfalo e de bovinos Nelore e Angus. Escala de aceitação: (1) não comprarei com certeza; (2) provavelmente não comprarei; (3) posso ou não comprar; (4) provavelmente comprarei; e (5) comprarei com certeza. Escala de intenção de compra: (1) desgosta muito; (2) desgosta pouco; (3) indiferente; (4) gosta pouco; e (5) gosta muito. ^{a-c} Médias com letras diferentes, no mesmo atributo, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Embora a carne de búfalo tenha sido avaliada com menores escores sensoriais para a intenção de compra e aceitação, não foi verificada rejeição pelos avaliadores. A aceitação, a intenção de compra e a disposição em pagar mais pelas carnes foram coerentes com a percepção de maciez e de suculência (Figura 2).

3.3. Análise conjunta

3.3.1 Efeito dos fatores tipo de carne e preço na intenção de compra dos consumidores

No primeiro experimento, a respeito do efeito dos fatores tipo de carne e preço sobre a intenção de compra dos respondentes, apenas 35 dos 403 respondentes não se adequaram ao

modelo e foram excluídos. A análise de agrupamento formou sete grupos com *part-worths* semelhantes, constituídos respectivamente por 250, 55, 44, 15, 2, 1 e 1 respondentes. Os três últimos grupos não foram discutidos porque foram formados por poucos respondentes. As características demográficas e perfil de consumo de carne vermelha para cada grupo foram representados na Tabela 2.

Tabela 2. Características demográficas e perfil de consumo dos respondentes por grupo relativo aos efeitos dos fatores tipo de carne e preço na intenção de compra dos consumidores. (Continua)

	Grupo 1 (n=250)	Grupo 2 (n=55)	Grupo 3 (n=45)	Grupo 4 (n=15)
% do total de consumidores	67,9	14,9	12,2	4,0
Descritores (%)				
Gênero				
Feminino	55,2	69,4	80,0	63,6
Masculino	44,8	30,6	20,0	36,4
Idade (anos)				
18 a 29	69,2	78,2	16,7	63,6
30 a 49	28,0	16,4	50,0	27,3
> 50	2,8	5,5	33,3	9,1
Renda (em salários-mínimos)¹				
< 2	26,2	30,6	0,0	27,3
2 a 5	40,2	44,9	33,3	45,5
5 a 10	21,3	16,3	16,7	27,3
>10	12,6	6,1	33,3	0,0
Responsável por comprar carne				
Sempre	23,0	18,4	50,0	6,6
Frequentemente	30,5	24,5	16,6	20,0
Às vezes	23,5	26,5	16,7	26,7
Ocasionalmente/nunca	23,0	30,6	16,7	46,7
Frequência de consumo				
Raramente (<1 x por semana)	7,6	12,7	0,0	18,2
1 a 2 x semana	24,0	25,5	66,7	36,4
3 a 5 x semana	52,0	49,1	16,6	36,4
Todo dia	16,4	12,7	16,7	9,0

Tabela 2. Características demográficas e perfil de consumo dos respondentes por grupo relativo aos efeitos dos fatores tipo de carne e preço na intenção de compra dos consumidores. (Conclusão)

	Grupo 1 (n=250)	Grupo 2 (n=55)	Grupo 3 (n=45)	Grupo 4 (n=15)
% do total de consumidores	67,9	14,9	12,2	4,0
Descritores (%)				
Tipos de carne que já consumiu				
Ovina	39,5	34,7	16,7	45,5
Caprina	20,6	14,3	16,7	18,2
Bubalina	15,0	8,2	0,0	18,2
Equina	2,4	0,0	0,0	9,1
Já consumiu carne exótica?				
Sim, consumiria novamente	39,2	38,8	45,5	33,3
Sim, mas não consumiria novamente	10,1	4,1	18,1	16,7
Não, mas consumiria	26,6	36,7	36,4	16,7
Não, mas não consumiria	24,1	20,4	0,0	33,3
Já consumiu carne de Angus?				
Sim	69,2	57,1	16,7	63,6

¹ Na época da pesquisa, o salário-mínimo brasileiro era de R\$1.045,00. Alguns descritores foram retirados para facilitar a compreensão, sem que comprometessem as conclusões tomadas.

Todos os grupos foram formados majoritariamente por respondentes do sexo feminino (55,2 a 80,0%). O perfil de idade dos Grupos 1, 2 e 4, formados majoritariamente por jovens entre 18 e 29 anos (63,6 a 78,2%), diferiu do Grupo 3, formados majoritariamente por respondentes entre 30 e 49 anos (50,0%). A renda de 2 a 5 salários-mínimos foi a mais frequente em todos os grupos (33,3 a 45,5%), com o Grupo 3 tendo a renda acima de 10 salários-mínimos também como mais frequente (33,3%), o que é coerente com o seu perfil de idade mais velha.

O Grupo 3 foi formado pelo maior percentual (50,0%) de respondentes que apresentaram a frequência de serem “sempre” os principais responsáveis pela compra de carne. Os respondentes do Grupos 1 apresentaram a frequência de “frequentemente” (30,5%) e “as vezes” (23,5%) serem os responsáveis pela compra de carne, diferentemente do Grupo 2 e 4, em que foram formados principalmente por respondentes que ocasionalmente ou nunca eram responsáveis por comprar a carne (30,6 e 46,7%, respectivamente). Os Grupos 1 e

2 tiveram uma maior frequência de consumo (49,1 a 52,0% com 3 a 5 x semana), enquanto o Grupo 3 teve uma menor frequência de consumo (66,7% com 1 a 2 x semana), com o Grupo 4 tendo um perfil de consumo mais diversificado.

Em geral, poucos respondentes possuíam expectativa baseada em um consumo prévio de carne de búfalo. Sendo que os maiores percentuais foram encontrados nos Grupos 1 e 4 (15 e 18,2%, respectivamente) seguido pelo Grupo 2 (8,2%) e nenhum dos respondentes do Grupo 3 haviam consumido carne de búfalo. A grande maioria dos respondentes apresentaram interesse em consumir carnes exóticas, de modo que o Grupo 3 apresentou maior percentual (81,9%) e o Grupo 4 menor percentual (50,0%). Já os demais Grupos 1 e 2 apresentaram percentuais intermediários (65,8 a 75,5%).

A grande maioria dos respondentes também possuíam expectativa baseada em um consumo prévio de carne de bovino Angus, sendo esse percentual de 69,2% (para o Grupo 1), 57,1% (Grupo 2) e 63,6% (Grupo 4). O Grupo 3 apresentou maior percentual de respondentes que não consumiram ou não sabiam responder (66,7%).

Na Tabela 3 é descrito a importância relativa (IR) e as *part-worths* para os quatro principais grupos formados.

Tabela 3. Importância relativa e *part-worths* para os grupos formados da análise conjunta dos fatores tipo de carne e preço no rótulo.

	Grupo 1 (n=250)	Grupo 2 (n=55)	Grupo 3 (n=45)	Grupo 4 (n=15)
% do total de consumidores	67,9	14,9	12,2	4,0
Atributos e níveis/ Importância relativa (IR)	Part-worths			
Carne				
Angus	1,27	-0,39	-0,27	-0,73
Búfalo	-1,91	0,08	0,23	-0,37
Nelore	0,64	0,31	0,04	1,10
Importância relativa (%)	93,40	21,38	14,90	54,46
Preço¹				
Baixo (R\$ 29,99/Kg)	0,11	1,30	1,43	0,77
Alto (R\$ 49,99/Kg)	-0,11	-1,30	-1,43	-0,77
Importância relativa (%)	6,60	78,62	85,10	45,54

¹ Em moeda brasileira (real; R\$).

No Grupo 1 (n=250), que representa a maioria (67,9%) dos respondentes, o tipo de carne apresentou maior IR (93,4%) que o preço (6,60%), indicando que o tipo de carne foi o fator que mais influenciou na intenção de compra desses respondentes. Eles atribuíram menor intenção de compra para a carne de búfalo (-1,91), indicando que estão menos dispostos a adquirir esse tipo de carne, mas maiores intenções de compra para a carne de Angus (1,27), seguida pela carne de Nelore (0,64).

Os Grupos 2 (n=55) e 3 (n=45), que representam 27,1% dos respondentes, atribuíram maior IR para fator preço (78,62 e 85,10%), e maior intenção de compra para as carnes com menor preço (R\$ 29,99/Kg), indicando que não estão dispostos a pagar mais pela carne. A carne de Angus afetou negativamente a intenção de compra desses grupos (-0,39 e -0,27, respectivamente). No entanto, o Grupo 3 apresentou maior intenção de compra para a carne de búfalo, enquanto o Grupo 2 apresentou maior intenção de compra para a carne de Nelore (0,23).

Já o Grupo 4 (n=15), que representam apenas 4,0% dos respondentes, não apresentou uma IR destacada para apenas um fator, com um maior equilíbrio da IR entre tipo de carne (54,46%) e preço (45,54%), indicando que ambos os fatores afetaram a intenção de compra desse grupo. Eles possuem maior intenção de compra da carne de Nelore com menor preço (R\$ 29,99/Kg). Destaca-se também que, tanto a carne de Angus quanto a carne de búfalo contribuíram negativamente na intenção de compra desse grupo (-0,73 e -0,37).

A grande maioria dos respondentes apresentaram maior intenção de compra para o menor preço, embora nem todos tenham atribuído a mesma importância relativa a esse fator. Desse modo, foi possível classificar os respondentes em aqueles “que selecionam o produto pelo tipo de carne, independente do preço” (Grupo 1, Tabela 3); aqueles “que optam pelo produto de menor preço” (Grupo 2 e 3); e aqueles “que baseiam sua escolha nos dois fatores: tipo de carne e menor preço” (Grupo 4).

Durante a tomada de decisão por comprar ou não um produto, o consumidor associa uma série de informações relacionadas a fatores extrínsecos do produto, como preço, país de origem, rastreabilidade, criação do animal, marca e cor (Meyerding, et al., 2018), e a experiência prévia de consumo, quando preexistente, pois o consumidor que confirmou ou superou sua expectativa em uma degustação anterior, tende a repetir sua tomada de decisão (Deliza & MacFie, 1996). Segundo Meyerding, et al. (2018), a percepção de qualidade e a preferência de carne são complexas, podendo variar de acordo com as mudanças socioculturais, tecnológicas, políticas e econômicas dos consumidores.

Por outro lado, a maior intenção de compra para o tipo de carne variou entre os diferentes grupos de respondentes. A carne de bovino Angus é, geralmente, comercializada com preço superior àquela de Nelore e não há, normalmente, oferta regular de carne de búfalo. Essa característica do mercado é coerente com o maior percentual de participantes “que selecionam o produto pelo tipo de carne, independente do preço” (67,9%) e apresentaram preferência pela carne de bovino Angus em relação àquela de Nelore enquanto os demais respondentes não preferiram a carne de Angus. Embora alguns autores (Schnettler, et al., 2019) reportem que a relação entre o preço e a qualidade de carne não seja sempre clara, aparentemente o resultado encontrado está de acordo com Meyerding, et al. (2018) em que os consumidores fizeram associação do genótipo à qualidade da carne e, em geral consideram a carne de Angus como de melhor qualidade. Desse modo, é esperado que eles associem o preço alto a uma proteção contra produtos de baixa qualidade (Merlino, Borra, Girgenti, Dal Vecchio, & Massaglia, 2018).

A carne de búfalo foi uma das carnes com maior intenção de compra, junto aquela de Nelore, para os 27,1% (Grupo 2 e 3) de respondentes “que optam pelo produto de menor preço”. Esses consumidores apresentaram maior interesse em consumir carnes ditas exóticas (75,5 a 81,9%) embora de menor percentual de respondentes que já haviam consumido a carne de búfalo (8,2 e 0,0%) e apresentaram a maior percentual de respondentes que “sempre” são os responsáveis pela compra de carne vermelha (Tabela 3).

Ademais, o Grupo 3 (12,2% dos participantes) foi composto majoritariamente pelos respondentes que manifestaram preferência para a carne de búfalo (0,23) em relação a bovina de Nelore (0,04). Sendo que o Grupo 3 foi composto majoritariamente por respondentes de idade entre 40 e 49 anos (33,3%) e > 50 anos (33,3%), e com renda familiar média superior a 10 salários-mínimos (33,3%). Como a carne de búfalo não é ofertada regularmente no Brasil, a simulação de uma compra cotidiana em uma gôndola de supermercado ou frigorífico, pode ter contribuído para o maior preço do quilograma ser considerado como uma barreira à escolha do produto em vez de ser associado à qualidade.

Kibar and Mikail (2018) avaliaram o efeito do tipo de carne (bovina, ovina e caprina), fontes de compra e preço na escolha dos consumidores. Esses autores perceberam que os consumidores regulares decidem comprar ou não a carne se baseando principalmente no preço. Já os consumidores não regulares foram mais seletivos na escolha do tipo de carne. Du Plessis and du Rand (2012) também relataram que o preço foi o principal fator considerado na tomada de decisão dos consumidores na compra de carne de cordeiro.

Logo, os resultados sugerem que quando a carne de búfalo é comercializada em preços baixos, os respondentes que apresentam maior frequência na responsabilidade de compra de carne, com idade entre 30 e 39 anos, renda familiar média superior a 10 salários mínimos e com o maior percentual de participantes dispostos a consumir carnes exóticas, possivelmente seriam o público alvo para o mercado de carne de búfalo, embora não tivessem uma experiência prévia de consumo desse produto. Outros fatores também podem ter contribuído para as diferenças na intenção de compra dos produtos, como a aparência dos bifês (Figura 1), em que se diferenciam nos tamanhos e formatos, cor da carne e da gordura.

3.3.2 Efeitos dos fatores preço e alegação nutricional para a carne de búfalo

No segundo experimento a respeito do efeito dos fatores preço e alegação nutricional no rótulo da carne de búfalo sobre a intenção de compra dos respondentes, 146 respostas dos 403 respondentes foram eliminadas por não se adequarem ao modelo. A análise de agrupamento também formou sete grupos com *part-worths* semelhantes dentro de cada grupo, compostos por 172, 63, 6, 12, 2, 1 e 1 respondentes. Devido aos três últimos grupos serem formados por poucos respondentes, seus dados não serão discutidos. A Tabela 4 apresenta os dados associados às características demográficas e perfil de consumo de carne vermelha para cada grupo.

Os Grupos 1 e 3 foram formados majoritariamente por homens (50,6 a 66,7%) e os Grupos 2 e 4 por mulheres (65,1 a 83,3%). Todos os grupos foram formados majoritariamente por jovens entre 18 e 29 anos (73,5 a 85,7%), com renda familiar média de 2 a 5 salários-mínimos mais frequente em todos os grupos (33,3 a 50,0%) e frequência de consumo de 3 a 5 vezes por semana (44,5 a 66,6%).

Um baixo percentual de respondentes possuía expectativa baseada em um consumo prévio de carne de búfalo (8,3 a 33,3%) e um alto percentual de respondentes apresentaram interesse em consumir carnes exóticas (71,2 a 91,7%). Em geral, os respondentes apresentaram baixa frequência em ler os rótulos dos produtos, sendo os Grupos 2 e 4 compostos majoritariamente por aqueles que “ocasionalmente/nuca” leem os rótulos dos produtos (44,4 e 50,0%, respectivamente), e os Grupos 1 e 3 pelos respondentes que apresentam maior frequência (sempre/frequentemente) em ler os rótulos (40,0 e 50,0%, respectivamente).

Dentre as informações consideradas importantes nas embalagens de carnes congeladas ou embaladas a vácuo, em geral, a validade foi dita de maior importância (83,3 a 93,5%),

seguida pela marca (41,7 a 52,9%), presença de aditivos (20,6 a 33,3%), informações nutricionais (0,0 a 22,4%) e bem estar animal (0,0 a 7,9%). Sendo que, apenas no Grupo 4, todos os participantes não consideram as informações nutricionais em embalagens de carne.

Tabela 4. Características demográficas e perfil de consumo dos respondentes por grupo relativo aos efeitos dos fatores preço e alegação nutricional para a carne de búfalo. (Continua)

	Grupo 1 (n=172)	Grupo 2 (n=63)	Grupo 3 (n=6)	Grupo 4 (n=12)
% do total de consumidores	66,9	24,5	2,3	4,7
Descritores				
Gênero				
Feminino	49,4	65,1	33,3	83,3
Masculino	50,6	34,9	66,7	16,7
Idade (em anos)				
18 a 29	73,5	85,7	83,3	83,3
30 a 49	24,1	11,1	0,0	16,7
> 50	2,4	3,2	16,7	0,0
Renda (em salários-mínimos)^t				
< 2	27,1	31,7	50,0	25,0
2 a 5	44,1	44,4	50,0	33,3
5 a 10	18,8	12,7	0,0	33,3
> 10	10,0	11,2	0,0	8,4
Responsável por comprar				
Sempre	18,2	19,1	16,7	33,3
Frequentemente	32,4	30,2	33,3	8,3
Às vezes	25,3	20,6	33,3	41,7
Ocasionalmente/nunca	24,1	30,1	16,7	16,7
Frequência de consumo				
Raramente (<1 x por semana)	8,8	9,5	0,0	16,7
1 a 2 x semana	28,8	27,0	16,7	16,7
3 a 5 x semana	45,3	44,5	66,6	58,3
Todo dia	16,5	19,0	16,7	8,3
Tipos de carne que já consumiu				
Ovina	44,1	41,3	33,3	50,0
Caprina	20,0	23,8	0,0	25,0
Bubalina	12,9	19,0	33,3	8,3
Equina	3,5	1,6	0,0	0,0

Tabela 4. Características demográficas e perfil de consumo dos respondentes por grupo relativo aos efeitos dos fatores preço e alegação nutricional para a carne de búfalo. (Conclusão)

	Grupo 1 (n=172)	Grupo 2 (n=63)	Grupo 3 (n=6)	Grupo 4 (n=12)
% do total de consumidores	66,9	24,5	2,3	4,7
Descritores				
Já consumiu carne exótica?				
Sim, consumiria novamente	38,2	39,7	66,6	58,4
Sim, mas não consumiria novamente	9,4	6,3	0,0	0,0
Não, mas consumiria	33,0	36,5	16,7	33,3
Não, mas não consumiria	19,4	17,5	16,7	8,3
Tem costume de ler rótulos?				
Sempre/frequentemente	40,0	28,6	50,0	33,3
Às vezes	22,9	27,0	16,7	16,7
Ocasionalmente/nunca	37,1	44,4	33,3	50,0
Informações importantes das embalagens de carnes congeladas ou embaladas a vácuo				
Validade	93,5	96,8	83,3	83,3
Informações nutricionais	22,4	14,3	16,7	0,0
Informações do bem-estar animal	12,4	7,9	0,0	0,0
Marca	52,9	46,0	50,0	41,7
Aditivos	25,9	20,6	33,3	25,0

¹Na época da pesquisa, o salário-mínimo brasileiro era de R\$ 1.045,00. Alguns descritores foram retirados para facilitar a compreensão sem comprometer as conclusões tomadas.

A Tabela 5 demonstra a importância relativa (IR) e os *part-worths* para os quatro principais grupos formados. O Grupo 1 (n=172), que representa a maioria (66,9%) dos respondentes, o preço da carne de búfalo apresentou maior IR (98,33%) que as alegações nutricionais (1,67%), indicando que preço foi o fator que mais influenciou na intenção de compra desses respondentes. Eles atribuíram menor intenção de compra para ao maior preço (-0,17), indicando que estão não estão dispostos a pagar mais pela presença positiva de alegações nutricionais (0,003). O Grupo 2 (n=63), que representa 24,5% dos respondentes, teve perfil próximo aquele do Grupo 1, em que o menor preço (1,03) tem maior IR (84,09%) sobre a intenção de compra dos respondentes, i.e., não estão dispostos a pagar mais pela

presença positiva (0,19) de alegações nutricionais, porém com maiores valores dos *part-worths*.

Tabela 5. Importância relativa e *part-worths* para os grupos formados da análise conjunta dos fatores preço e presença da alegação nutricional no rótulo da carne de búfalo.

	Grupo 1 (n=172)	Grupo 2 (n=63)	Grupo 3 (n=6)	Grupo 4 (n=12)
% do total de consumidores	66,9	24,5	2,3	4,7
Atributos e níveis/ Importância relativa (IR)	Part-worths			
Preço¹				
Baixo (R\$ 29,99/Kg)	0,17	1,03	-0,67	1,71
Alto (R\$ 49,99/Kg)	-0,17	-1,03	0,67	-1,71
Importância relativa (%)	98,33	84,09	40,00	91,11
Alegação nutricional				
Sim	-0,003	-0,19	-1,00	0,17
Não	0,003	0,19	1,00	-0,17
Importância relativa (%)	1,67	15,91	60,00	8,89

¹ Em moeda brasileira (real; R\$).

O Grupo 1 (n=172), que representa a maioria (66,9%) dos respondentes, o preço da carne de búfalo apresentou maior IR (98,33%) que as alegações nutricionais (1,67%), indicando que preço foi o fator que mais influenciou na intenção de compra desses respondentes. Eles atribuíram menor intenção de compra para ao maior preço (-0,17), indicando que estão não estão dispostos a pagar mais pela presença positiva de alegações nutricionais (0,003). O Grupo 2 (n=63), que representa 24,5% dos respondentes, teve perfil próximo aquele do Grupo 1, em que o menor preço (1,03) tem maior IR (84,09%) sobre a intenção de compra dos respondentes, i.e., não estão dispostos a pagar mais pela presença positiva (0,19) de alegações nutricionais, porém com maiores valores dos *part-worths*.

Somente o grupo Grupo 3 (n=6), que representa apenas 2,3% dos respondentes, as alegações nutricionais apresentaram maior IR (60%) que o preço (40,0%), com a presença de alegações nutricionais (1,00) e de maior preço (0,67) contribuindo positivamente. Isso sugere que esses respondentes estão dispostos a pagar mais pela carne de búfalo em função dos benefícios nutricionais.

No Grupo 4 (n=12), que representa apenas 4,7% dos respondentes, o preço também teve maior IR (91,11%) que em relação as alegações nutricionais (8,89%), cujo menor preço apresenta maior intenção de compra (1,71). No entanto, as alegações nutricionais

contribuíram negativamente (-0,17) para a intenção de compra apenas dos respondentes do Grupo 4. Desse modo, esses respondentes preferem a carne de búfalo com menor valor e sem avisos nutricionais.

Dois perfis de respondentes foram formados para a carne de búfalo, sendo: aqueles “que querem pagar menos, independente das alegações nutricionais no rótulo” (Grupo 1, 2 e 4; Tabela 5); e aqueles “que pagariam mais pela carne com alegações nutricionais no rótulo” (Grupo 3), sendo este último muito pequeno.

Mesmo a maioria dos consumidores se importando muito mais com o preço do que com as alegações nutricionais, a grande maioria dos respondentes avaliaram positivamente a presença de alegações nutricionais no rótulo da carne de búfalo. Apenas um pequeno percentual dos respondentes estão dispostos a pagar a mais pela carne de búfalo com a presença de alegações nutricionais no rótulo, i.e., possuem maior preocupação com a saúde (Grupo 3); este grupo foi caracterizado majoritariamente por homens, com menor renda média familiar (< 2 salários mínimos, 50%, e de 2 a 5 salários mínimos, 50%), e que em relação aos demais grupos, possuem maior percentual (16,7%) de participantes com mais de 50 anos (Tabela 4). De acordo com Troy and Kerry (2010), a presença de informações associadas a saúde humana, como o teor de gordura e colesterol, no rótulo da carne bovina é capaz de influenciar a escolha do consumidor.

Merlino, et al. (2018) acreditam que a importância atribuída as informações nutricionais são dependentes do tipo de carne e produto cárneo avaliado. Contudo, Schnettler, et al. (2019) também relataram que os consumidores atribuíram importância positiva para as salsichas que apresentavam quantidade de sal e de gordura saturada reduzidas, mas não estavam dispostos a pagar a mais pelo produto. Além disso, Shan, et al. (2017) relataram que embora o consumidor valorize a salsicha reformulada com impacto positivo na saúde, a intenção de compra ainda é mais influenciada pelo preço. Esses resultados são importantes pois, embora sejam estudos realizados com outros respondentes, em geral, a reformulação de produtos cárneos, que por vezes possuem mais variações nos aspectos de saudabilidade em relação as carnes maturadas de diferentes espécies, não foram consideradas de maior impacto na decisão do consumidor.

A alegação nutricional para a carne de búfalo não influenciou positivamente na intenção de compra dos respondentes, sugerindo que esta não possua aceitabilidade para consumo. Desta forma, é sugerido que outros fatores sejam abordados, associados a qualidade sensorial como a maciez e suculência, para favorecer a compra de carne de búfalo.

5. Conclusões

A carne de búfalo é menos macia e suculenta que as carnes bovinas de Nelore e Angus, mas possui sabor semelhante. A carne de búfalo possui aceitação e intenção de compra positiva, mas menor que as carnes bovinas de Nelore e Angus, e apenas uma minoria dos respondentes estaria disposta a pagar mais por ela. Portanto, a aceitação, a intenção de compra e a disposição em pagar mais pelas carnes são coerentes com a percepção de maciez e de suculência dos respondentes. Apenas um pequeno grupo de respondentes, que se importam mais com o preço que com o tipo de carne, possui maior intenção de compra para a carne de búfalo que para as carnes bovinas. Em relação à carne de búfalo, o menor preço é mais importante que a presença dos avisos nutricionais para a maioria dos respondentes, enquanto somente um pequeno grupo de respondentes estaria disposto a pagar mais pela carne de búfalo em função dos seus benefícios nutricionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; CVZ APQ-02015-15) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; MCT 430206 / 2016-0) pelo apoio financeiro ao projeto e à FAPEMIG pela bolsa (Mestrado) concedida ao primeiro autor.

Referências

- Andrade, B. F., Castro, M. M., Rodrigues, L. M., Torres Filho, R. A., Fontes, P. R., Ramos, E. M., & Ramos, A. L. (2020). Effects of delayed chilling on rigor development and meat quality of Murrah buffalo from different production systems. *International Journal of Food Science & Technology*, (submitted for publication).
- Belew, J. B., Brooks, J. C., McKenna, D. R., & Savell, J. W. (2003). Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64, 507-512.
- Bello Acebrón, L., & Calvo Dopico, D. (2000). The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: an empirical application for beef. *Food Quality and Preference*, 11, 229-238.
- Bernabéu, R., Rabadán, A., El Orche, N. E., & Díaz, M. (2018). Influence of quality labels on the formation of preferences of lamb meat consumers. A Spanish case study. *Meat Science*, 135, 129-133.

- Bressan, M. C., Rodrigues, E. C., Rossato, L. V., Ramos, E. M., & Gama, L. T. (2011). Physicochemical properties of meat from *Bos taurus* and *Bos indicus*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *40*, 1250-1259.
- Canozzi, M. E., A. Sphor, L., McManus, C., Barcellos, J., Poli, C., Bergmann, G., & Kindlein, L. (2016). Sensory evaluation of beef and buffalo extensively reared and its relationship to sociodemographic characteristics of consumers. *Semina: Ciências Agrárias*, *37*, 1617.
- Deliza, R., & MacFie, H. J. H. (1996). The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings: a review. *Journal of Sensory Studies*, *11*, 103-128.
- du Plessis, H. J., & du Rand, G. E. (2012). The significance of traceability in consumer decision making towards Karoo lamb. *Food Research International*, *47*, 210-217.
- Font i Furnols, M., Realini, C., Montossi, F., Sañudo, C., Campo, M. M., Oliver, M. A., Nute, G. R., & Guerrero, L. (2011). Consumer's purchasing intention for lamb meat affected by country of origin, feeding system and meat price: A conjoint study in Spain, France and United Kingdom. *Food Quality and Preference*, *22*, 443-451.
- García-Torres, S., López-Gajardo, A., & Mesías, F. J. (2016). Intensive vs. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. *Meat Science*, *114*, 114-120.
- Green, P. E., & Krieger, A. M. (1993). Chapter 10 Conjoint analysis with product-positioning applications. In *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 5, pp. 467-515): Elsevier.
- Green, P. E., & Srinivasan, V. (1978). Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook. *Journal of Consumer Research*, *5*, 103-123.
- Hassan, M. A., Abdel-Naeem, H. H. S., Mohamed, H. M. H., & Yassien, N. A. (2018). Comparing the physico-chemical characteristics and sensory attributes of imported Brazilian beef meat and imported Indian buffalo meat. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *8*, 672-677.
- Huffman, K. L., Miller, M. F., Hoover, L. C., Wu, C. K., Brittin, H. C., & Ramsey, C. B. (1996). Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *Journal of Animal Science*, *74*, 91-97.
- IBGE. (2019). Municipal Livestock Production (PPM) 2018 (in portuguese). In. São Paulo, SP: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

- Irurueta, M., Cadoppi, A., Langman, L., Grigioni, G., & Carduza, F. (2008). Effect of aging on the characteristics of meat from water buffalo grown in the Delta del Paraná region of Argentina. *Meat Science*, *79*, 529-533.
- Jaeger, S. R., Hort, J., Porcherot, C., Ares, G., Pecore, S., & MacFie, H. J. H. (2017). Future directions in sensory and consumer science: Four perspectives and audience voting. *Food Quality and Preference*, *56*, 301-309.
- Kibar, M., & Mikail, N. (2018). Application of conjoint analysis to determine consumers' red meat preferences in Siirt province. *Scientific Papers-Series D-Animal Science*, *61*, 303-306.
- Kiran, M., Naveena, B. M., Reddy, K. S., Shahikumar, M., Reddy, V. R., Kulkarni, V. V., Rapole, S., & More, T. H. (2016). Understanding tenderness variability and ageing changes in buffalo meat: biochemical, ultrastructural and proteome characterization. *Animal*, *10*, 1007-1015.
- Lambertz, C., Panprasert, P., Holtz, W., Moors, E., Jaturasitha, S., Wicke, M., & Gauly, M. (2014). Carcass characteristics and meat quality of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) fattened at different feeding intensities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *27*, 551-560.
- Merlino, V. M., Borra, D., Girgenti, V., Dal Vecchio, A., & Massaglia, S. (2018). Beef meat preferences of consumers from Northwest Italy: Analysis of choice attributes. *Meat Science*, *143*, 119-128.
- Meyerding, S. G. H., Gentz, M., Altmann, B., & Meier-Dinkel, L. (2018). Beef quality labels: A combination of sensory acceptance test, stated willingness to pay, and choice-based conjoint analysis. *Appetite*, *127*, 324-333.
- Moore, W. L. (1980). Levels of Aggregation in Conjoint Analysis: An Empirical Comparison. *Journal of Marketing Research*, *17*, 516-523.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P. E., Hugo, A., & Raats, J. G. (2009). Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chemistry*, *112*, 279-289.
- O'Quinn, T. G., Legako, J. F., Brooks, J. C., & Miller, M. F. (2018). Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience¹. *Translational Animal Science*, *2*, 26-36.
- Oliveira, A. C. d. S., Ferreira, B. C. A., Cardoso, G. V. F., Silva, C. L., Silva, A. S., Silva, F., Melo, R. M., Cardilli, D. J., Leite, F. P. L., Roos, T. B., & Moraes, C. M. (2015).

- Evaluation of a multiplex PCR for detection of a fraud in the minced beef meat by adding buffalo meat (in portuguese). *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 74, 371-379.
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2017). *Meat Quality Assessment: Fundamentals and Methodologies (in portuguese)* (2a ed.). Viçosa: Editora UFV.
- Resurreccion, A. V. A. (2004). Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66, 11-20.
- Schnettler, B., Ares, G., Sepúlveda, N., Bravo, S., Villalobos, B., Hueche, C., & Lobos, G. (2019). Are consumers willing to pay more for reformulated processed meat products in the context of the implementation of nutritional warnings? Case study with frankfurters in Chile. *Meat Science*, 152, 104-108.
- Shan, L. C., De Brún, A., Henchion, M., Li, C., Murrin, C., Wall, P. G., & Monahan, F. J. (2017). Consumer evaluations of processed meat products reformulated to be healthier - A conjoint analysis study. *Meat Science*, 131, 82-89.
- Silva, D. R. G., Torres Filho, R. A., Cazedey, H. P., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., & Ramos, E. M. (2015). Comparison of Warner–Bratzler shear force values between round and square cross-section cores from cooked beef and pork Longissimus muscle. *Meat Science*, 103, 1-6.
- Steenkamp, J.-B. E. M. (1986). Perceived quality of food products and its relationship to consumer preferences: theory and measurement. *Journal of Food Quality*, 9, 373-373.
- Thompson, J. (2004). The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. *Animal Production Science*, 44, 645-652.
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*, 86, 214-226.
- Verbeke, W., & Viaene, J. (1999). Beliefs, attitude and behaviour towards fresh meat consumption in Belgium: empirical evidence from a consumer survey. *Food Quality and Preference*, 10, 437-445.