

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 03/05/2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Eduardo Oliveira Ignácio

REDUÇÃO DE SÓDIO EM PRODUTOS CÁRNEOS COM ATIVIDADE DE
ÁGUA INTERMEDIÁRIA E SORÇÃO DE ÁGUA: CASO DA COPA

São José do Rio Preto
2024

EDUARDO OLIVEIRA IGNÁCIO

REDUÇÃO DE SÓDIO EM PRODUTOS CÁRNEOS COM ATIVIDADE DE
ÁGUA INTERMEDIÁRIA E SORÇÃO DE ÁGUA: CASO DA COPA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos) do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Prof^a. Dra. Andrea Carla da Silva Barretto

Coorientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto

2024

I24r

Ignácio, Eduardo Oliveira

Redução de sódio em produtos cárneos com atividade de água intermediária e sorção de água: o caso da copa / Eduardo Oliveira Ignácio. -- São José do Rio Preto, 2024
85 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Andrea Carla da Silva Barretto

Coorientador: Javier Telis Romero

1. Alimentos Atividade da água. 2. Alimentos saudáveis. 3. Redução sódio. 4. Tecnologia inovadora. 5. Umidade de equilíbrio. I. Título.

EDUARDO OLIVEIRA IGNÁCIO

REDUÇÃO DE SÓDIO EM PRODUTOS CÁRNEOS COM ATIVIDADE DE
ÁGUA INTERMEDIÁRIA E SORÇÃO DE ÁGUA: CASO DA COPA

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos) do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Comissão Examinadora

Profª. Dra. Andrea Carla da Silva Barretto
UNESP – Campus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Lucas Arantes Pereira
IFTM – Campus Uberaba

Profª. Dra. Teresa Cristina Castilho Gorayeb
FATEC - Campus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Tiago Luís Barretto
IFSP – Campus Barretos

Prof. Dr. Roger Darros-Barbosa
UNESP – Campus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto

3 de maio de 2024

Dedicatória

Esta é a página mais aguardada, a mais importante e a mais difícil de ser escrita, quantas vezes nessa longa jornada me peguei sonhando com essas linhas.

Obrigado meu Deus por cada momento, sei que estás comigo, guiando-me e amparando-me com teu amor inabalável. Agradeço pelas muitas bênçãos que recebi, por cada lição que aprendi e por cada pessoa que colocastes em meu caminho. Mesmo diante das dificuldades, confio em tua sabedoria e sei que tudo concorre para o meu bem. Que minha vida seja um constante louvor a Ti, em tudo dando graças por tua infinita misericórdia e amor.

Aos meus pais, Edson e Dalva, minha mais profunda gratidão por todo o amor, dedicação e sacrifício que vocês empenharam à nossa educação e formação. Vocês têm sido os pilares que nos sustentaram, guiaram, encorajaram e inspiraram em cada etapa de nossas vidas. Nos ensinaram não apenas com palavras, mas com o exemplo vivo de suas vidas. Com seu caráter, trabalho árduo, determinação e compromisso inabalável comigo, com o Douglas e com o Cleber, vocês nos mostraram o verdadeiro significado de perseverança e resiliência. Vocês nos deram mais do que simplesmente conforto material; nos deram a educação e os valores que moldaram nossas mentes e corações e nos proporcionaram a melhor família que eu poderia ter.

Suas escolhas e sacrifícios não passaram despercebidos. Cada vez que alcanço uma conquista, seja acadêmica, profissional ou pessoal, sei que é o resultado de seus esforços e investimentos em mim. Vocês me deram asas para voar, mas também me mantiveram firmemente enraizado em valores que hoje sonho que sejam refletidos nos meus filhos.

A minha esposa Jaqueline e os meus pequenos André e Mariana, vocês fazem cada pedacinho dessa jornada ter mais sentido, foram muitos momentos de ausências e milhares de quilômetros rodados, mas vocês me mantiveram firme, me dando razões para continuar lutando e buscando o melhor para nossa família e aprendendo a valorizar cada volta para casa recheada de beijo e abraço. Vocês são a resposta das minhas orações, minha fortaleza, minha fonte de força e a luz que ilumina meus dias.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Andrea Carla da Silva Barretto, cuja competência acadêmica sempre fonte de inspiração e admiração. No entanto, o que verdadeiramente distingue a senhora, sob minha perspectiva, vai além dos livros, artigos e congressos. É o seu senso prático, sua sensibilidade humana aguçada, que sempre soube equilibrar a arte de cobrar resultados com a generosidade de incentivar e oferecer atenção nos momentos necessários. Essa habilidade rara transformou nosso laboratório em um espaço de crescimento, não só intelectual, mas também pessoal.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Javier Telis Romero, cuja presença atenta e pronta disposição em auxiliar a todos ao seu redor, aliadas à sua capacidade de infundir leveza e perspectiva positiva nos momentos mais críticos, enriquecem seu notável conhecimento científico, tornando-o um verdadeiro exemplo para todos nós.

Aos meus companheiros de aventuras no Laboratório de Carnes, "*Que jornada!!!*" Foi uma experiência incrivelmente rica com cada um de vocês ao longo destes anos. Para garantir que ninguém seja esquecido e diante da complexidade de expressar minha gratidão a todos individualmente, opto por agradecer em nome de três pessoas que simbolizam o nosso lab.: Camila e Elisa, que estiveram desde o início, não apenas abrindo as portas, mas também mantendo-as abertas, oferecendo suporte contínuo e indispensável; e João Marcos, cuja influência foi crucial desde os meus dias na Fatec, despertando e nutrindo meu desejo de trabalhar com produtos cárneos, o que eventualmente me levou de volta ao doutorado. João Marcos, um aluno que se tornou colega, depois amigo e, por fim, professor, é um daqueles talentos raros, um verdadeiro catalisador de pessoas.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situado no campus de São José do Rio Preto. A infraestrutura de excelência disponibilizada pelo departamento foi fundamental para o desenvolvimento e sucesso da pesquisa apresentada neste trabalho. Estendo meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e a todos os professores associados ao programa. O apoio e o ambiente enriquecedor proporcionado por vocês foram decisivos em minha jornada acadêmica ao longo desses anos. Um agradecimento especial também aos técnicos Luiz, Tânia e Alana, cuja indispensável colaboração tornou possível a realização deste trabalho.

A Sra. Maria Teresa Bernardo Chumah e a todos do Salamanca Jamones Serranos de Catanduva-SP, por sua generosidade e acolhimento caloroso, compartilhando conosco não apenas o espaço, mas a paixão e excelência na produção dos melhores embutidos do Brasil.

A Paróquia Nossa Senhora de Fátima, em São José do Rio Preto, que literalmente se tornou minha casa durante esses anos, toda a minha gratidão e orações. Andreia, todos os colaboradores e voluntários e o Padre Cesarino Pietra (*in memoriam*), Padre Luís de Sousa Dias e Padre José Eduardo Andreazzi Vitoreti que foram para mim a atualização do Evangelho de São Mateus 25:35, onde eu em terras estrangeiras fui acolhido.

A Fatec Rio Preto e a todos os colegas, que foram essenciais na minha trajetória até aqui. A docência, inicialmente uma possibilidade, transformou-se em uma paixão e um propósito de vida, uma transformação que ocorreu graças às experiências valiosas e ao aprendizado compartilhado neste ambiente. A Fatec Marília e a Fatec Pompéia que se tornaram meu novo endereço, que orgulho fazer parte desse time de ponta.

Aos meus avós Maximino e Elite, que neste ano celebram 67 anos de casados, e são nossa riqueza, a minha avó Yolanda (*in memoriam*) a minha maior fã. A toda minha “grade família”, os tios, tias, primos e primas, que torcem, rezam e se alegram por cada conquista. Amo vocês e cada uma tem um pedacinho aqui.

Aos meus pais, minha esposa, meus filhos, meus irmãos, minhas cunhadas e meus sobrinhos, nada disso seria possível sem vocês. Deus é bom demais para comigo.

A todos os professores, aos que passaram em minha vida e me trouxeram até aqui, em especial a Professora Maria do Carmo Rodrigues dos Santos Vieira, minha professora de ciências no ensino fundamental, que olhou um dia para menino travesso, inquieto e questionador e me disse eu seria cientista. Não entendi, mas essas palavras de alguma forma ficaram gravadas e hoje fazem todo sentido. Esse vídeo é para senhora e para todos nós pais e educadores, a lembrança de quão potente podem ser nossas ações. Que eu nunca deixe meu mundo perder a cor e que não tire a cor do mundo dos que me cercam.



Louvado seja nosso Senhor Jesus Cristo. Para sempre seja louvado.

Oh, Bom Deus, apesar de nossa pequenez, queremos te agradecer nas pequenas coisas do dia-a-dia. Dai-nos um coração cheio de amor por ti e pela Igreja, para que amando a ti, amemos também todos os nossos irmãos

RESUMO

Esta tese investigou algumas estratégias no desafio de produzir carne curada com redução de sódio, diante da crescente demanda por alimentos mais saudáveis e da preocupação com os impactos do consumo excessivo de sódio na saúde, especialmente relacionados a doenças cardiovasculares e hipertensão. A estrutura foi dividida em capítulos para propiciar uma organização lógica e coerente do conteúdo, otimizando a compreensão e facilitando o processo de revisão e correção, além de possibilitar a publicação de partes da pesquisa como artigos científicos independentes, amplificando a visibilidade do trabalho no âmbito acadêmico. O estudo iniciou com uma revisão de literatura sobre as estratégias e os desafios de se reduzir o teor de sódio em produtos cárneos com atividade de água intermediária. Na sequência, avaliou-se o efeito da substituição parcial de NaCl por KCl e CaCl₂ em copa seca e curada nas propriedades físico-químicas e aceitação sensorial. Foram realizados cinco tratamentos: Controle (CON) com 100% de NaCl; “25K” com redução de 25% de NaCl e adição de 25% de KCl; “25KCa” com redução de 25% de NaCl, adição de 15% de KCl e 10% de CaCl₂; “50K” com redução de 50% de NaCl e adição de 50% de KCl; e “50KCa” com redução de 50% de NaCl e adição de 25% de KCl e 25% de CaCl₂. Observou-se que a redução de até 50% não afetou a aceitabilidade global, sendo a substituição parcial do NaCl uma alternativa viável. Por fim, a pesquisa examinou a composição química e as isotermas de sorção de oito copas comerciais em diferentes temperaturas (5, 10, 20, 30 e 40°C). As informações sobre o comportamento das copas comerciais em relação à umidade podem auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao armazenamento, embalagem e controle de qualidade. Foram observadas diferenças na composição química, e as isotermas de sorção foram classificadas como tipo II, exibindo um comportamento sigmoidal. O modelo matemático GAB apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais ($R^2_{adj} \geq 0,99$, $\chi^2 \leq 3,84 \cdot 10^{-4}$ e $REQM \leq 0,02$). O teor de umidade da monocamada (X_m) diminuiu com o aumento da temperatura. Os resultados obtidos, em geral, apresentaram contribuições para a indústria de alimentos, sugerindo métodos para desenvolver carnes curadas mais saudáveis, que alinham a produção às preocupações contemporâneas de saúde pública, sem comprometer as características desejadas pelos consumidores.

Palavras-chave: Produtos mais saudáveis, tecnologias inovadoras, aceitação do consumidor e umidade de equilíbrio.

ABSTRACT

This thesis investigated strategies for producing cured meat with reduced sodium content, addressing the growing demand for healthier foods and concerns about the impacts of excessive sodium consumption on health, particularly related to cardiovascular diseases and hypertension. The structure was divided into chapters to provide a logical and coherent organization of the content, optimizing comprehension and facilitating the review and correction process, as well as enabling the publication of parts of the research as independent scientific articles, amplifying the visibility of the work in the academic sphere. The study began with a literature review on strategies and challenges in reducing sodium content in meat products with intermediate water activity. Subsequently, the effect of partial substitution of NaCl with KCl and CaCl₂ on the physicochemical properties and sensory acceptance of dry-cured coppa was evaluated. Five treatments were performed: Control (CON) with 100% NaCl; “25K” with a 25% reduction in NaCl and addition of 25% KCl; “25KCa” with a 25% reduction in NaCl, addition of 15% KCl, and 10% CaCl₂; “50K” with a 50% reduction in NaCl and addition of 50% KCl; and “50KCa” with a 50% reduction in NaCl and addition of 25% KCl and 25% CaCl₂. It was observed that a reduction of up to 50% did not affect overall acceptability, indicating that partial substitution of NaCl is a viable alternative. Finally, the research examined the chemical composition and sorption isotherms of eight commercial coppas at different temperatures (5, 10, 20, 30, and 40°C). Information on the behavior of commercial coppas in relation to moisture can assist in decision-making related to storage, packaging, and quality control. Differences in chemical composition were observed, and the sorption isotherms were classified as type II, exhibiting sigmoidal behavior. The GAB mathematical model presented the best fit to the experimental data ($R^2_{adj} \geq 0.99$, $\chi^2 \leq 3.84 \cdot 10^{-4}$, and $RMSE \leq 0.02$). The monolayer moisture content (X_m) decreased with increasing temperature. The results obtained, in general, presented contributions to the food industry, suggesting methods for developing healthier cured meat products that align production with contemporary public health concerns without compromising the characteristics desired by consumers.

Keywords: Healthier products, innovative technologies, consumer acceptance, and equilibrium moisture content.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 - IMPACT OF NaCl PARTIAL REPLACEMENT BY KCl AND CaCl₂ ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND SENSORIAL PREFERENCE OF DRY-CURED *COPPA*

Figure 1 - Vacuum-packed dry-cured *Coppa* samples received by the panelists 62

CAPÍTULO 3 - INFLUENCE OF TEMPERATURE AND CHEMICAL COMPOSITION ON THE WATER SORPTION ISOTHERMS OF COMMERCIAL *COPPAS*

Figure 1 - Influence of temperature on the sorption isotherms of eight commercial *coppas* (C1 to C8). 81

Figure 2 - Sorption isotherms of samples C1 and C3 at 5 and 40°C 82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 -PROCESSING CHALLENGES AND STRATEGIES FOR LOW-SODIUM DRY-CURED MEAT: AN OVERVIEW

Table 1 - Strategies for Sodium Reduction	41
---	----

CAPÍTULO 2 - IMPACT OF NaCl PARTIAL REPLACEMENT BY KCl AND CaCl₂ ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND SENSORIAL PREFERENCE OF DRY-CURED *COPPA*

Table 1 - Proximate composition, water activity (A_w), pH values, TBARs, and weight loss of dry-cured <i>Coppa</i>	62
---	----

Table 2 – Texture profile analysis, instrumental color and calcium, potassium, and sodium content of dry-cured <i>Coppa</i>	63
---	----

Table 3 – Sensorial preference of dry-cured <i>Coppa</i>	63
---	----

CAPÍTULO 3 - INFLUENCE OF TEMPERATURE AND CHEMICAL COMPOSITION ON THE WATER SORPTION ISOTHERMS OF COMMERCIAL *COPPAS*

Table 1 - Water activity of saturated salt solutions at temperatures between 5 and 40°C.	77
---	----

Table 2 - Mean values ($\pm$ standard deviation) of the percentage composition of commercial <i>coppas</i>	78
---	----

Table 3 - Mathematical parameters of the GAB model	79
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
REFERÊNCIAS	16
OBJETIVOS	17
a) Objetivo Geral	17
b) Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO 1	18
PROCESSING CHALLENGES AND STRATEGIES FOR LOW-SODIUM DRY-CURED MEAT: AN OVERVIEW.....	19
1. Introduction	20
2. Meat products with intermediate water activity	23
3. Sodium reduction strategy	26
4. Future prospects and challenges	29
5. Final Considerations	33
6. References	34
CAPÍTULO 2	45
IMPACT OF NaCl PARTIAL REPLACEMENT BY KCl AND CaCl ₂ ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND SENSORIAL PREFERENCE OF DRY-CURED <i>COPPA</i>	46
1. INTRODUCTION	47
2. MATERIALS AND METHODS.	48
2.1. Material.....	48
2.2. Manufacture of dry-cured <i>Coppa</i> with reduction of NaCl.	48
2.3. Technological characterization	49
2.4. Instrumental color.....	49

2.5. Texture profile analysis	49
2.6. Microbiological analysis	50
2.7. Determination of Calcium, Potassium and Sodium content.....	50
2.8. Sensorial preference	50
2.9. Statistical analysis	51
3. RESULTS.....	51
3.1. Technological characterization.....	51
3.2. Instrumental color, Texture profile analysis and mineral content.....	52
3.3. Microbiological analyses	54
3.4. Sensorial preference	54
4. DISCUSSION.....	54
Acknowledgments	55
Authors' Contributions	56
5. REFERENCES	56
CAPÍTULO 3	64
INFLUENCE OF TEMPERATURE AND CHEMICAL COMPOSITION ON THE WATER SORPTION ISOTHERMS OF COMMERCIAL <i>COPPAS</i>	65
1. Introduction	66
2. Material and methods	67
2.1 Sample preparation.....	67
2.2 Chemical composition	67
2.3 Determination of sorption isotherms	67
2.4 Mathematical Modeling of Sorption Isotherms.....	68
3 Results and discussion.....	69
3.1 Chemical composition	69
3.2 Sorption isotherms.....	70

3.3 Mathematical modeling	72
4. Conclusion.....	72
5. References	73
CONCLUSÃO GERAL	85

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, o avanço tecnológico, impulsionado pela crescente preocupação da sociedade e dos governos com a promoção de uma alimentação mais saudável, tem despertado o interesse de pesquisadores em iniciativas para reduzir o teor de cloreto de sódio (NaCl) em produtos alimentícios. Ao longo dos anos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) vem continuamente emitindo documentos que abordam a questão do consumo excessivo de sódio e seus impactos na saúde. Em 2012, foi publicada a diretriz "Ingestão de Sódio para Adultos e Crianças (OMS, 2012), estabelecendo recomendações claras sobre os limites de ingestão diária de sódio. Em um esforço para conscientização sobre a importância da redução de sódio vem lançando constantemente recomendações ao longo do tempo, e em 2021, divulgou o guia "Referências Globais da OMS para o Sódio em Diferentes Categorias de Alimentos" (OMS, 2021), com o objetivo de auxiliar os países na redução do teor de sódio em alimentos processados.

Esses documentos demonstram o compromisso contínuo da OMS em alertar sobre o consumo excessivo de NaCl e reitera a associação entre a quantidade de sódio ingerida e o aumento da pressão arterial, resultando em maior risco de doenças cardiovasculares, as quais respondem por 32% das mortes relacionadas à doenças crônicas não transmissíveis em escala global (Ruusunen & Puolanne, 2005; Schivazappa & Virgili, 2020)

O NaCl desempenha um papel fundamental como conservante em alimentos por ajuda na redução da atividade de água. Apesar dos avanços nos sistemas de refrigeração que possibilitaram uma redução no uso de conservantes, o NaCl ainda é amplamente utilizado no processamento de alimentos (Inguglia et al., 2017). Além de aumentar a vida útil dos produtos, o sal tem importantes funções sensoriais, como melhorar o sabor, aroma e textura dos alimentos (Desmond, 2006).

Estudos realizados em contextos internacionais indicaram que aproximadamente 77% do sódio consumido pelos indivíduos é proveniente do sal adicionado durante a produção industrial de alimentos, enquanto 12% está naturalmente presente nos alimentos e 11% é adicionado durante o preparo ou consumo (Aaslyng et al., 2014; Inguglia et al., 2017). Entre os grupos de produtos industrializados, as principais fontes de sódio são as carnes processadas (18%), pães e produtos de panificação (13%), laticínios (12%) e molhos e pastas (11%).

A ingestão elevada de sódio tem impacto significativo na pressão arterial dos indivíduos, e a Organização Mundial da Saúde tem recomendado a limitação da ingestão de NaCl a até 5g

por dia, visando a redução da incidência de hipertensão, doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais (Aliño et al., 2010; Armenteros et al., 2012; WHO, 2012).

Na indústria de produtos cárneos, o NaCl desempenha múltiplos papéis, sendo utilizado para realçar o sabor, agir como agente bacteriostático e conferir a textura desejada aos produtos. Além disso, suas propriedades funcionais são responsáveis por várias funções importantes, tais como a solubilização de proteínas, que aumenta a hidratação e a capacidade de retenção de água, bem como melhora a capacidade de ligação das proteínas para aprimorar a textura. O NaCl também aumenta a viscosidade da massa cárnea e melhora a capacidade de emulsificação com a incorporação de gorduras (Desmond, 2006).

A redução NaCl tem se mostrado um desafio significativo para a indústria de produtos cárneos, principalmente por ser um dos ingredientes mais acessíveis economicamente, e sua substituição implicaria em aumento nos custos de produção. Diversas estratégias têm sido propostas para enfrentar esse desafio, incluindo: (i) a redução do NaCl com base na aceitação sensorial do consumidor e/ou a substituição parcial por outro sal ou mistura de sais, sendo o cloreto de potássio (KCl) o mais comumente utilizado, embora também sejam empregados cloreto de cálcio (CaCl_2) e cloreto de magnésio (MgCl_2); (ii) o uso de realçadores de sabor que não possuem gosto salgado, como o glutamato monossódico e o extrato de levedura; (iii) a modificação da forma física do NaCl para torná-lo mais disponível; e (iv) o aumento da difusão do NaCl utilizando pressão ou ultrassom (Desmond, 2006; Inguglia et al., 2017). Em produtos cárneos com atividade de água intermediária, a atividade de água varia entre 0,60 e 0,85. Esses produtos possuem menos água livre quando comparados a alimentos frescos e mais perecíveis, e são consumidos sem reidratação. Assim, a redução de sódio se contradiz com o suporte tecnológico que este ingrediente traz, auxiliando na redução da atividade de água e também na perda de peso ao longo do período de secagem, além de influenciar no aspecto sensorial.

REFERÊNCIAS

- AASLYNG, M. D., VESTERGAARD, C., KOCH, A. G. (2014). The effect of salt reduction on sensory quality and microbial growth in hotdog sausages, bacon, ham and salami. *Meat Science*, 96(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2013.06.004>
- ALIÑO, M., Grau, R., TOLDRA, F., BARAT, J. M. (2010). Physicochemical changes in dry-cured hams salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Meat Science*, 86(2), 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.003>
- ARMENTEROS, M., ARISTOY, M. C., TOLDRA, F. (2012). Evolution of nitrate and nitrite during the processing of dry-cured ham with partial replacement of NaCl by other chloride salts. *Meat Science*, 91(3), 378–381. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.02.017>
- DESMOND, E. (2006). Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*, 74(1), 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.014>
- INGUGLIA, E. S., ZHANG, Z., TIWARI, B. K., KERRY, J. P., BURGESS, C. M. (2017). Salt reduction strategies in processed meat products – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.016>
- OMS. (2012). Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva: World Health Organization, 1-56. Disponível em https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/77985/9789241504836_eng.pdf?sequence=1 Acesso em 12 abril de 2024.
- OMS. (2021). WHO global sodium benchmarks for different food categories. Geneva: World Health Organization. 1-32. Disponível em <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341081/9789240025097-eng.pdf?sequence=1>. Acesso em 12 abril de 2024.
- RUUSUNEN, M., PUOLANNE, E. (2005). Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*, 70(3), 531–541. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.07.016>
- SCHIVAZAPPA, C., VIRGILI, R. (2020). Impact of salt levels on the sensory profile and consumer acceptance of Italian dry-cured ham. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(8), 3370–3377. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10370>

CONCLUSÃO GERAL

Este trabalho explorou a reformulação da copa para reduzir seu teor de sódio, uma necessidade evidenciada tanto pela demanda de consumidores quanto por diretrizes governamentais, considerando também a complexidade da produção deste produto cárneo de valor gastronômico e cultural. A investigação revelou que a variabilidade no teor de gordura, influenciada pela matéria-prima e diferenças anatômicas entre as carcaças, introduz desafios adicionais à análise, particularmente no que tange à heterogeneidade das sobrepaletas suínas e seu impacto nas propriedades físico-químicas e sensoriais do produto.

Foi possível uma redução de 40% no teor de sódio na copa, um avanço importante, mas ainda insuficiente para atingir as classificações de "baixo teor de sódio" e tampouco a de "reduzido teor de sódio" segundo Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil. A substituição de 50% do NaCl por uma mistura de KCl e CaCl_2 , que não alterou as características sensoriais do produto, indica a viabilidade de produzir carnes curadas mais saudáveis. Este resultado sugere caminhos para futuras pesquisas, visando não apenas cumprir, mas também superar as diretrizes nutricionais atuais, por meio de novas formulações e técnicas de processamento que permitam reduções ainda maiores no teor de sódio.

A aplicação de isotermas de sorção ao estudo da copa comercial ajudou a compreender a interação entre a água e os componentes do produto, fundamental para otimizar o processamento e armazenamento e garantir a segurança alimentar. A análise de oito amostras comerciais de copa, utilizando o modelo GAB, mostrou variações na composição química e no conteúdo de sódio e destacou a influência da temperatura e do sódio na umidade de equilíbrio. Este achado sublinha a utilidade dos modelos matemáticos na indústria alimentícia, oferecendo percepção para aprimorar a qualidade, a estabilidade e a rentabilidade econômica dos produtos, além de fundamentar pesquisas futuras voltadas à adequação dos produtos às preferências dos consumidores.

Portanto, os estudos realizados contribuíram para um melhor entendimento da produção de copa, apontando os desafios e as variáveis críticas no processo. As descobertas fornecem percepções úteis para a indústria de alimentos, indicando estratégias para otimizar formulações no intuito de melhorar a qualidade e aumentar o apelo saudável dos produtos cárneos curados a seco, mesmo diante das limitações causadas pela falta de bibliografia específica sobre o assunto.