

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 03/02/2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Bruna Grassetti Fonseca

Produção de *bacon* assistida por ultrassom: caracterização da barriga
suína, cinética de salga úmida e propriedades de sorção do produto acabado

São José do Rio Preto
2023

Bruna Grassetti Fonseca

Produção de *bacon* assistida por ultrassom: caracterização da barriga suína, cinética de salga úmida e propriedades de sorção do produto acabado

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 do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto. Área de concentração: Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andrea Carla da Silva Barretto
Coorientador: Prof. Dr. Tiago Carregari Polachini

São José do Rio Preto
2023

F676p

Fonseca, Bruna Grassetti

Produção de bacon assistida por ultrassom : caracterização da barriga suína, cinética de salga úmida e propriedades de sorção do produto acabado / Bruna Grassetti Fonseca. -- São José do Rio Preto, 2023

130 p. : il., tabs.

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

Orientador: Javier Telis-Romero

1. Barriga suína. 2. Salga úmida. 3. Transferência de massa. 4. Ultrassom de potência. I. Título.

Bruna Grassetti Fonseca

Produção de *bacon* assistida por ultrassom: caracterização da barriga suína, cinética de salga úmida e propriedades de sorção do produto acabado

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 do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto. Área de concentração: Engenharia de Alimentos.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Corrêa Basso
UNIFAL – Campus Poços de Caldas

Prof^ª. Dr^ª. Jéssica Thaís do Prado Silva
USP – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA)

Prof^ª. Dr^ª. Patrícia de Carvalho Damy Benedetti
União das Faculdades dos Grandes Lagos - UNILAGO

Prof. Dr. Wellington Mamoro Umeda
SEBRAE – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
03 de fevereiro 2023

Dedico este trabalho ao meu companheiro da vida, Fabiano, por estar ao meu lado na realização dos meus sonhos; aos meus pais, Edenir e Lourival, por todo amor e incentivo; à minha irmã, Bárbara, pelo carinho, parceria e força.

Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que acima de tudo, orienta, fortalece e sustenta nossas vidas;

Ao meu orientador, Javier, pelos ensinamentos, paciência, apoio, confiança, e auxílio incondicional na condução deste trabalho;

Aos meus coorientadores, Andrea e Tiago, pelo apoio na execução deste trabalho.

Ao meu esposo, Fabiano, por sempre acreditar em meu desenvolvimento profissional, pelo amor, paciência, compreensão e, por ser o alicerce diante dos desafios;

Aos meus pais, Edenir e Lourival, por serem os maiores incentivadores dos meus sonhos, sempre, gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim com todo amor;

À minha irmã, Bárbara, por ser a maior torcedora das minhas realizações, pelo apoio e compreensão;

Aos demais familiares pelo carinho e apoio;

Aos meus colegas de laboratório, especialmente Márcio Augusto Ribeiro Sanches, pela amizade e por me ajudar em muitos momentos da execução deste trabalho;

A União das Faculdades dos Grandes Lagos (Unilago) e Centro Universitário de Rio Preto (UNiRP) pelo auxílio e compreensão durante esta etapa;

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do IBILCE-Unesp e a todos os seus docentes, funcionários e discentes que me ajudaram direta ou indiretamente;

Obrigado a todos que me ajudaram de forma direta e indireta para que este trabalho fosse realizado, por me fazerem crescer como pessoa e como profissional.

RESUMO

O bacon é um dos derivados cárneos processados mais consumidos mundialmente, utilizado como ingrediente em diversas receitas e formulações alimentícias. Embora haja um crescente consumo de carne suína e do próprio bacon, o processamento da barriga suína em bacon é um gargalo principalmente devido aos longos tempos associados às etapas de salga. Nesse sentido, o ultrassom de alta intensidade (US) surge como uma tecnologia capaz de reduzir o tempo de processamento através da intensificação da transferência de massa em comparação com os métodos convencionais de agitação. Entretanto, tais efeitos são dependentes do material e de suas propriedades físicas. Nesse sentido, a presente tese buscou, inicialmente, avaliar as propriedades físicas de amostras de barriga suína em função do teor de umidade e da concentração NaCl. As barrigas suínas foram submetidas ao processo de salga úmida em soluções de NaCl na presença US e agitação mecânica convencional (AG). Amostras comerciais de bacon com diferentes teores de NaCl tiveram suas propriedades de sorção de água determinadas em diferentes temperaturas. Como resultado, obteve-se que a espessura e volume da barriga suína diminuíram com o aumento da concentração de sal nas amostras, enquanto que a área superficial para troca se manteve constante. Modelos lineares foram utilizados para representar estas propriedades em função das variáveis significativas. Ao analisar o processo de salga úmida, observou-se que o emprego de US ou AG intensificou as taxas de perda de água, ganho de sólido e conteúdo de NaCl nas amostras de barriga suína comparado a salga úmida estática. Ao comparar os dois métodos de aplicação, o US foi mais eficiente. A cinética do processo foi bem representada pelo modelo de Peleg, com boa precisão de ajuste aos dados experimentais de desidratação osmótica. No produto acabado (bacon comercial), as isotermas do tipo III foram afetadas pelo teor de NaCl e temperatura de armazenamento. Através do ajuste ao modelo de GAB, evidenciou-se uma redução na umidade de equilíbrio e umidade de monocamada na medida em que a temperatura do meio aumentou e o conteúdo de NaCl das amostras diminuiu. Com as informações obtidas, verificou-se que é possível intensificar os processos de salga pelo uso de US e projetar as condições de armazenamento de diferentes amostras de bacon de maneira mais eficiente pelo emprego das isotermas de sorção.

Palavras-chave: Barriga suína. Espessura. Salga úmida. Transferência de massa. Tecnologias emergentes.

ABSTRACT

Bacon is one of the most consumed processed meat products worldwide, being used as an ingredient in several recipes and food formulations. Although there is a growing consumption of pork meat and bacon itself, the processing of pork belly into bacon is a challenge mainly due to the long times associated with the salting step. In this sense, high-intensity ultrasound (US) appears as a technology that is able of reducing processing times by intensifying mass transfer compared to conventional agitation methods. However, such effects are dependent on the material and its physical properties. In this sense, this thesis initially aimed at evaluating the physical properties of pork belly samples as a function of moisture content and NaCl concentration. Pork bellies were subjected to wet salting in NaCl solutions in the presence of US and conventional mechanical agitation (AG). Commercial samples of bacon with different NaCl contents had their water sorption properties determined at different temperatures. As a result, it was found that the thickness and volume of the pork belly decreased with increasing salt concentration in the samples, while the surface area available for exchange remained constant. Linear models were used to represent these properties as functions of the significant variables. When analyzing the wet salting process, it was observed that the use of US or AG intensified the rates of water loss, solid gain and NaCl content in pork belly samples compared to static wet salting. When comparing the two applied methods, US was the more efficient. The process kinetics was well represented by the Peleg model, with good fitting accuracy to the experimental osmotic dehydration data. In the final product (commercial bacon), the type III isotherms showed to be affected by the NaCl content and storage temperature. By using the GAB model, a reduction in equilibrium moisture and monolayer moisture content was observed as the temperature of the medium increased and the NaCl content of the samples decreased. With the obtained information, it was verified that it is possible to intensify the salting processes by using US and to design the storage conditions of different bacon samples in a more efficient way by the use of sorption isotherms.

Keywords: Pork belly. Thickness. Wet salting. Mass transfer. Emerging technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Organização da apresentação dos resultados originados da presente tese de doutorado.....	19
Figura 4.1	Salga seca da carne.....	24
Figura 4.2	Produtos cárneos em salmoura.	25
Figura 4.3	Processo de salga por injeção.	26
Figura 4.4	Difusão de sal e água em regime transiente em uma manta de carne considerada como uma placa plana infinita.....	42
Figura 4.5	Esquema de um processo de equilíbrio molecular entre o alimento e o ambiente.....	45
Figura 4.6	Mapa de estabilidade dos alimentos em função da atividade de água.....	47
Figura 4.7	Tipos de isotermas de sorção de Van Der Waals.....	48
Figura 4.8	Isoterma de sorção de água de um alimento hipotético do tipo II.....	50
Figura 4.9	Tendência das alterações na atividade de água de um alimento submetido a diferentes temperaturas.....	52
Figura 5.1	Formato aproximado das amostras de barriga suína.....	68
Figura 5.2	Aparelho experimental utilizado para determinação do volume das amostras.....	70
Figura 6.1	Aparato experimenta: a) salmoura estática (SB); b) agitada mecanicamente (AG); c) assistida por ultrassom (US).....	83
Figura 6.2	Efeito da temperatura sobre a perda de água (WL) durante a salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US).....	88
Figura 6.3	Efeito da temperatura sobre o ganho de sólidos (SG) durante a salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US).....	90
Figura 6.4	Efeito da temperatura sobre o conteúdo de sal durante a salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US).....	91
Figura 6.5	Efeito da salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US) sobre a perda de água (WL) em diferentes.....	93

Figura 6.6	Efeito da salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US) sobre o ganho de sólidos (SG) em diferentes temperaturas de processo.....	93
Figura 6.7	Efeito da salga úmida de barriga suína em salmoura estática (SB), agitada mecanicamente (AG) e assistida por ultrassom (US) sobre o conteúdo de sal (SC) em diferentes temperaturas de processo.....	94
Figura 7.1	Efeito da temperatura sobre as isotermas de sorção de água de cinco amostras de bacon comerciais, ajustadas pelo modelo de GAB.....	118
Figura 7.2	Isotermas de sorção de água das amostras T3 e T4 de bacon em diferentes temperaturas.....	120
Figura 7.3	Isotermas de sorção de água das amostras T3 e T5 de bacon em diferentes temperaturas.....	121
Figura 7.4	Isotermas de sorção de água das amostras T2 e T4 de bacon em diferentes temperaturas.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Efeitos do uso do ultrassom sobre alguns parâmetros físico-químicos de carne e produtos cárneos.....	28
Tabela 4.2	Características de sorção de água de carnes e produtos cárneos....	51
Tabela 4.3	Modelos mais utilizados para ajustar as isotermas de sorção de água dos alimentos.....	54
Tabela 5.1	Medidas de massa e área de uma folha de papel sulfite.....	71
Tabela 5.2	Composição química da barriga suína.....	73
Tabela 5.3	Umidade e teor de NaCl, volume, área e espessura da barriga suína em diferentes tempos de secagem para cada processo de salga.....	73
Tabela 5.4	Umidade e teor de NaCl, volume, área e espessura da barriga suína em diferentes tempos de secagem para cada processo de salga (continuação).....	74
Tabela 5.5	Parâmetros do ajuste da Equação (5) aos dados de volume, área e espessura das amostras de barriga suína em função da umidade e teor de NaCl.....	76
Tabela 6.1	Parâmetros do modelo de Peleg para Perda de água (WL).....	96
Tabela 6.2	Parâmetros do modelo de Peleg para o ganho de sólidos (SG).....	97
Tabela 6.3	Parâmetros do modelo de Peleg para o conteúdo de sal (SC).....	98
Tabela 6.4	Parâmetros do modelo Weibull para Perda de água (WL).....	104
Tabela 6.5	Parâmetros do modelo Zugarramurdi & Lupín para Perda de água (WL).....	105
Tabela 6.6	Parâmetros do modelo Weibull para Ganho de sólidos (SG).....	106
Tabela 6.7	Parâmetros do modelo Zugarramurdi & Lupín para o Ganho de sólidos (SG).....	107
Tabela 6.8	Parâmetros do modelo Weibull para o Conteúdo de sal (SC).....	108
Tabela 6.9	Parâmetros do modelo Zugarramurdi & Lupín para o Conteúdo de sal (SC).....	109
Tabela 7.1	Modelos usados para ajustar as isotermas de sorção de água do bacon.....	115
Tabela 7.2	Composição química das cinco diferentes amostras de bacon.....	116

Tabela 7.3	Parâmetros de ajuste do modelo GAB para todas as amostras de bacon nas diferentes temperaturas.....	124
------------	---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

a*	Valor Instrumental para Cor Vermelha na Carne
AG	Agitação Mecânica
ANOVA	Análise de Variância
AOAC	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
Aw	Atividade de Água
CRA	Capacidade de Retenção de Água
KHz	Quilo-hertz
L*	Valor Instrumental para Clareza de Cor na Carne
LD	<i>Longissimus Dorsi</i>
NaCl	Cloreto de Sódio
NaN₂	Nitrito de Sódio
OMS	Organização Mundial da Saúde
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio
RQEM	Raiz Quadrada do Erro Médio
SB	Salmoura Estática
SC	Conteúdo de Sal
SG	Ganho de Sólidos
URE	Umidade Relativa de Equilíbrio
US	Ultrassom
WL	Perda de Água
Xeq	Umidade de Equilíbrio
XG	Condição de Equilíbrio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	ORGANIZAÇÃO DA TESE	18
4	CAPÍTULO I - Revisão Bibliográfica	20
4.1	Produção e consumo de carne suína	20
4.2	Aspectos da produção e qualidade do bacon	20
4.3	Salga e cura da carne	21
4.3.1	Métodos de salga (ou cura de carne)	23
4.3.1.1	Salga seca (ou cura seca)	23
4.3.1.2	Salga úmida ou cura em salmoura	24
4.3.1.3	Salga/cura por injeção	25
4.4	Ultrassom como tecnologia emergente para intensificação dos processos de transferência de massa em produtos cárneos	26
4.4.1	Capacidade de retenção de água (CRA)	29
4.4.2	Cor	30
4.4.3	Textura	32
4.4.4	Características sensoriais	33
4.5	Modelagem matemática de perda de água (WL) e ganho de sólidos (GS) no processo de salga úmida e seca	34
4.5.1	Modelo de Peleg	35
4.5.2	Modelo Exponencial de Weibull	36
4.5.3	Modelo Exponencial	37
4.5.4	Modelo de Azuara	38
4.5.5	Relação entre os modelos de Peleg e Azuara	40
4.5.6	Modelo de Difusão	41
4.6	Isotermas de sorção	44
4.6.1	Efeito da temperatura nas isotermas de sorção	52
4.6.2	Efeito da composição química nas isotermas de sorção	52
4.6.3	Modelagem matemática das isotermas de sorção	53
4.7	REFERÊNCIAS	55

5	CAPÍTULO II - “Efeito da umidade e concentração de NaCl nas propriedades físicas de barriga suína no processo de produção de bacon”	64
6	CAPÍTULO III - “Estudo comparativo do efeito da agitação mecânica e aplicação de ultrassom na difusão de sal durante a salga de barriga suína”	78
7	CAPÍTULO IV - “Efeito da temperatura e da composição química nas propriedades de sorção de água de bacon”	110
8	CONCLUSÕES GERAIS	129

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um dos principais produtores de proteína bovina, suína e avícola do mundo que produz, além de carne fresca e congelada, diversos outros produtos cárneos fermentados, curados, secos e/ou cozidos. Além do crescimento já evidenciado na produção e o consumo de proteínas de origem animal nos últimos anos, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019) projeta maior crescimento nos próximos dez anos, com liderança na exportação de carne de origem suína. Por essa razão, existe uma demanda para estratégias de diferenciação de produtos derivados de suínos.

Enquanto o consumo de carne suína pelo mercado externo se dá principalmente por meio da comercialização de carcaças inteiras ou cortes específicos *in natura*, 70% do consumo de carne suína pelo mercado interno ocorre através de produtos processados, e.g. embutidos e defumados, frente a 30% na forma de cortes *in natura*. Isso acontece devido às estratégias de agregação de valor aos cortes oriundos do processo de espostejamento. Com isso, produtos como o salame, copa e presunto acabam apresentando muitas vezes um valor agregado maior do que cortes mais nobres. Além da questão de agregação de valor, as técnicas de processamento contribuem para diferentes experiências sensoriais além da própria conservação dos cortes.

Embora diversas tecnologias sejam utilizadas para o processamento e conservação de produtos cárneos, o processo de salga ainda continua sendo um dos métodos mais aplicados para estender o *shelf-life* deste tipo de produto em comparação com a carne *in natura*. A estabilidade de produtos cárneos salgados é fator ainda mais relevante para regiões cuja cadeia de frio é escassa e/ou inexistente. Nesse sentido, a salga é um das principais técnicas para produção de um dos produtos cárneos salgados e curados mais consumidos mundialmente: o bacon.

O bacon é considerado um produto cárneo, originário do abate suíno, que apresenta propriedades sensoriais diferenciadas resultado dos processos de salga, cura e defumação. Ele é considerado um ingrediente versátil na culinária brasileira e mundial nas mais diferentes preparações e refeições. Sua qualidade física, química, microbiológica e sensorial resulta de uma combinação de diversos fatores, desde a qualidade da matéria-prima até o processo e armazenamento. Por essa razão, ainda que se obtenha uma matéria-prima de ótima qualidade, o produto final não apresentará o mesmo padrão se as condições de processo e estocagem não forem bem estudadas ou se os mecanismos envolvidos não forem bem compreendidos.

A salga é um processo já consolidado, mas ainda apresenta restrições quanto ao tempo de processamento elevado. Por esta razão, tecnologias não-convencionais vêm surgindo com o objetivo de promover e/ou acelerar as reações já existem para desenvolvimento de propriedades tecnológicas. Tecnologias emergentes de processamento como o ultrassom vêm sendo cada vez mais inseridas para acelerar e intensificar diferentes processos de transferência de massa. Sua utilização abre novos caminhos para o processamento de alimentos devido à economia de energia de processo, aumento de rendimento e/ou qualidade do produto final.

As ondas ultrassônicas de alta intensidade emitidas pelo transdutor são capazes de gerar o fenômeno de cavitação, dentre outros mecanismos, favorecendo os processos de transferência de massa na interface sólido-líquido. Nesse contexto, a aplicação de ultrassons representa uma potencial tecnologia coadjuvante e inovadora para o processamento de produtos cárneos – como o bacon – com a possibilidade de reduzir o tempo de salga e eventuais efeitos negativos do processamento convencional. Entretanto, a quantificação de tal contribuição e forma de atuação dos mecanismos no caso específico do bacon ainda necessita ser elucidada na literatura.

Ainda que o bacon seja submetido aos processos de salga e cura, ele ainda necessita ser armazenado em condições adequadas para evitar reações indesejáveis de deterioração. Dentre essas condições, encontram-se, principalmente, os processos de oxidação lipídica e desenvolvimento microbiológico. Estas reações são minimizadas quando o produto é armazenado em condições controladas de estocagem, diferentemente do que é muitas vezes encontrado comercialmente. Sendo assim, independentemente dos processos de produção, a forma como a atividade de água do bacon é influenciada por condições de estocagem é fator fundamental para garantir a qualidade final do produto.

Dessa forma, este trabalho buscou avaliar diferentes etapas do processamento do bacon: transferência de massa durante a salga e propriedades de sorção de água no armazenamento. A primeira etapa já é bastante estudada, porém a adição de tecnologias assistentes e inovadoras como o ultrassom requer uma avaliação mais aprofundada do processo. Por outro lado, o armazenamento do produto final é uma etapa convencional que é, muitas vezes, desprezada em produtos curados. A escassez e negligência de seu estudo também foi matéria de estudo na presente tese.

7.4. Conclusão

As isothermas de sorção das amostras de bacon exibiram características das isothermas do tipo III, sendo o modelo GAB o mais adequado para descrever o comportamento dessas curvas nas diferentes temperaturas de armazenamento, dentre os cinco modelos testados. A capacidade de sorção das amostras demonstrou dependência da temperatura, diminuindo o teor de umidade de equilíbrio à medida que a temperatura aumentou. Além disso, verificou-se que a conteúdo de sódio também afetou significativamente as isothermas de sorção e a umidade da monocamada, apresentando maior teor de umidade de equilíbrio em amostras com maior conteúdo de sódio.

7.5. Referências

- AHMAT, T., BRUNEAU, D., KUITCHE, A., & AREGBA, A. W. (2014). Desorption isotherms for fresh beef: An experimental and modeling approach. **Meat Science**, 96(4), 1417–1424. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.009>
- AL-MUHTASEB, A. H., MCMINN, W. A. M., & MAGEE, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- AOAC. (2007). Association of Official Analytical Chemistry. In *In: Official methods of analysis to AOAC International*. (18th ed.).
- AYKIN, E., & ERBAŞ, M. (2016). Quality properties and adsorption behavior of freeze-dried beef meat from the Biceps femoris and Semimembranosus muscles. **Meat Science**, 121, 272–277. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2016.06.030>
- AYKIN-DINÇER, E., & ERBAŞ, M. (2018). Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents. **Meat Science**, 145, 114–120. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.06.007>
- BARRETTO, T. L., POLACHINI, T. C., BARRETTO, A. C. D. S., & TELIS-ROMERO, J. (2018). Water sorption isotherms of cooked hams as affected by temperature and chemical composition. **Food Science and Technology**, 39, 677–683.
- BARRETTO, T. L., POLLONIO, M. A. R., TELIS-ROMERO, J., & DA SILVA BARRETTO, A. C. (2018). Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction. **Meat Science**, 145, 55–62. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.05.023>
- BETIOL, L. F. L., EVANGELISTA, R. R., SANCHES, M. A. R., BASSO, R. C., GULLÓN, B., LORENZO, J. M., BARRETTO, A. C. DA S., & TELIS-ROMERO, J. (2020). Influence of temperature and chemical composition on water sorption isotherms for dry-cured ham. **LWT**, 123, 109112. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109112>

BLIGH, E. G., & DYER, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, 37(8), 911-917.

BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, W. E., & TELLER, E. (1940). On the theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, 62(7), 1723–1732.

CLEMENTE, G., BON, J., BENEDITO, J., & MULET, A. (2009). Desorption isotherms and isosteric heat of desorption of previously frozen raw pork meat. **Meat Science**, 82(4), 413–418. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2009.02.020>

COMAPOSADA, J., ARNAU, J., & GOU, P. (2007). Sorption isotherms of salted minced pork and of lean surface of dry-cured hams at the end of the resting period using KCl as substitute for NaCl. **Meat Science**, 77(4), 643–648. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2007.05.017>

COMAPOSADA, J., GOU, P., & ARNAU, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. **Meat Science**, 55(3), 291–295. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00154-0)

CORDEIRO, D. S., RAGHAVAN, G. S. V., & OLIVEIRA, W. P. (2006). Equilibrium Moisture Content Models for Maytenus ilicifolia Leaves. **Biosystems Engineering**, 94(2), 221–228. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2006.03.004>

DELGADO, A. E., & SUN, D. W. (2002). Desorption isotherms for cooked and cured beef and pork. **Journal of Food Engineering**, 51(2), 163–170. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00053-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00053-X)

DENG, S., LIU, Y., HUANG, F., LIU, J., HAN, D., ZHANG, C., & BLECKER, C. (2021). Evaluation volatile flavor compounds during storage time in bacon made by different pig breeds. **Food Chemistry**, 357, 129765. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129765>

DOMÍNGUEZ, R., PURRIÑOS, L., PÉREZ-SANTAESCOLÁSTICA, C., PATEIRO, M., BARBA, F. J., TOMASEVIC, I., CAMPAGNOL, P. C. B., & LORENZO, J. M. (2019). Characterization of Volatile Compounds of Dry-Cured Meat Products Using HS-SPME-GC/MS Technique. **Food Analytical Methods**, 12(6), 1263–1284. <https://doi.org/10.1007/S12161-019-01491-X/TABLES/4>

ERBAŞ, M., AYKIN, E., ARSLAN, S., & DURAK, A. N. (2016). Adsorption behaviour of bulgur. **Food Chemistry**, 195, 87–90. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.06.050>

FREITAS, M. L. F., POLACHINI, T. C., DE SOUZA, A. C., & TELIS-ROMERO, J. (2016). Sorption isotherms and thermodynamic properties of grated Parmesan cheese. **International Journal of Food Science and Technology**, 51(1), 250–259. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12969>

GAN, X., LI, H., WANG, Z., EMARA, A. M., ZHANG, D., & HE, Z. (2019). Does protein oxidation affect proteolysis in low sodium Chinese traditional bacon processing? **Meat Science**, 150, 14–22. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.10.007>

JIMÉNEZ-COLMENERO, F., VENTANAS, J., & TOLDRÁ, F. (2010). Nutritional composition of dry-cured ham and its role in a healthy diet. **Meat Science**, 84(4), 585–593. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2009.10.029>

JIN, G., HE, L., YU, X., ZHANG, J., & MA, M. (2013). Antioxidant enzyme activities are affected by salt content and temperature and influence muscle lipid oxidation during dry-salted bacon processing. **Food Chemistry**, 141(3), 2751–2756. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.05.107>

KABIL, E., AKTAŞ, N., & BALCI, E. (2012). Effect of sodium chloride, sodium nitrite and temperature on desorption isotherms of previously frozen beef. **Meat Science**, 90(4), 932–938. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2011.11.035>

LOPES FILHO, J. F., ROMANELLI, P. F., BARBOZA, S. H. R., GABAS, A. L., & TELIS-ROMERO, J. (2002a). Sorption isotherms of alligator's meat (*Caiman crocodilus yacare*). **Journal of Food Engineering**, 52(2), 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00105-4)

LORIDO, L., VENTANAS, S., AKCAN, T., & ESTÉVEZ, M. (2016). Effect of protein oxidation on the impaired quality of dry-cured loins produced from frozen pork meat. **Food Chemistry**, 196, 1310–1314. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.092>

MARTINS, M. G., MARTINS, D. E. G., & PENA, R. DA S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. **LWT - Food Science and Technology**, 62(1), 144–151. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.01.010>

MCMINN, W. A. M., & MAGEE, T. R. A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, 60(2), 157–165. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00036-0)

MERLO, T. C., DA CRUZ ANTONIO, J., SAVIAN, T. V., VILLEGAS, C., DARGELIO, M. D. B., DA SILVA PINTO, J. S., ALENCAR, S. M. DE, RODRIGUES, A. L. R., SALDAÑA, E., & CONTRERAS-CASTILLO, C. J. (2020). Effect of the smoking using Brazilian reforestation woods on volatile organic compounds, lipid oxidation, microbiological and hedonic quality of bacons during shelf life. **Meat Science**, 164, 108110. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108110>

MOLINA-FILHO, L., PEDRO, M. A. M., TELIS-ROMERO, J., & BARBOZA, S. H. R. (2006). Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). **Food Science and Technology**, 26, 453–458.

PUGLIESE, C., SIRTORI, F., ACCIAIOLI, A., BOZZI, R., CAMPODONI, G., & FRANCI, O. (2013). Quality of fresh and seasoned fat of Cinta Senese pigs as affected by fattening with chestnut. **Meat Science**, 93(1), 92–97. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2012.08.006>

RAJ, S., SKIBA, G., WEREMKO, D., FANDREJEWSKI, H., MIGDAŁ, W., BOROWIEC, F., & POŁAWSKA, E. (2010). The relationship between the chemical composition of the carcass and the fatty acid composition of intramuscular fat and backfat

of several pig breeds slaughtered at different weights. **Meat Science**, 86(2), 324–330. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2010.04.037>

SALDAÑA, E., SOLETTI, I., MARTINS, M. M., MENEGALI, B. S., MERLO, T. C., SELANI, M. M., TEIXEIRA, A. C. B., DA SILVA, F. G., & CONTRERAS-CASTILLO, C. J. (2019). Understanding consumers' dynamic sensory perception for bacon smoked with different Brazilian woods. **Meat Science**, 154, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.006>

STAUDT, P. B., TESSARO, I. C., MARCZAK, L. D. F., SOARES, R. D. P., & CARDOZO, N. S. M. (2013). A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures: Extension to the GAB model. **Journal of Food Engineering**, 118(3), 247–255. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.04.013>

TOLDRA, F. (2006). The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions. **Trends in Food Science and Technology**, 17(4), 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.08.007>

YAN, H., CAI, B., CHENG, Y., GUO, G., LI, D., YAO, X., NI, X., PHILLIPS, G. O., FANG, Y., & JIANG, F. (2012). Mechanism of lowering water activity of konjac glucomannan and its derivatives. **Food Hydrocolloids**, 26(2), 383–388. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.02.018>

8 CONCLUSÕES GERAIS

Como principais conclusões obtidas da presente tese doutorais, pode-se destacar nos diferentes capítulos apresentados:

8.1 Capítulo I – Revisão bibliográfica

- A valorização da barriga suína para produção de *bacon* é amplamente empregada no mundo todo; entretanto, pouco se estuda sobre as tecnologias que visam acelerar os métodos convencionais – caso do ultrassom de alta intensidade;
- Os diferentes processos de salga são complexos, principalmente quando se trata de matérias-primas heterogêneas como o próprio caso da barriga suína;
- Além das propriedades físicas, químicas e sensoriais relacionadas ao processo de salga, a modelagem matemática da cinética de processo mostra-se como uma etapa inicial essencial ao desenvolvimento e comparação de uma nova aplicação frente os métodos convencionais;

8.2 Capítulo II – Propriedades físicas da barriga suína

- O teor de umidade das amostras de barriga suína diminuiu na medida em que se incorporou sal durante a desidratação osmótica – como consequência do aumento da concentração de NaCl – e durante a própria secagem;
- A espessura da barriga suína foi reduzida quando aumentou-se a concentração de NaCl, provavelmente devido à uma contração do tecido cárneo, levando a uma queda no volume global das amostras;
- O volume e a espessura puderam ser representados por modelos matemáticos lineares em função das variáveis significativas a 95% de confiança;

8.3 Capítulo III – Salga úmida de barriga suína assistida por ultrassom

- Os modelos de Peleg e de Weibull apresentaram os maiores coeficientes de determinação e menores erros residuais ao se ajustarem aos dados experimentais;
- Por possuir uma solução matemática mais simples, o modelo de Peleg foi escolhido para estimar os parâmetros cinéticos do processo a serem discutidos;
- O aumento da temperatura da salmoura aumentou a perda de água, o ganho de sólidos (NaCl) e o próprio teor de sódio na barriga suína;

- O emprego de agitação mecânica ou ultrassom de alta intensidade resultou em um aumento nas taxas de perda de água, ganho de sólidos e teor de sódio das amostras quando comparados ao processo de salga estática;
- Ao se comparar o uso de agitação mecânica e ultrassom, o segundo mostrou-se mais eficiente na redução do tempo de salga úmida;

8.4 Capítulo IV – Isotermas de sorção do bacon acabado

- As isotermas de sorção das amostras de bacon comerciais apresentaram comportamento sigmoidal, típico das isotermas do tipo II;
- O modelo GAB mostrou-se mais adequado para descrever o comportamento dessas curvas nas diferentes temperaturas de armazenamento;
- A capacidade de sorção das amostras demonstrou dependência da temperatura, diminuindo o teor de umidade de equilíbrio na medida em que a temperatura do meio aumentou;
- O conteúdo de NaCl teve efeito significativo sobre a umidade da monocamada, apresentando maiores valores em amostras com maior conteúdo de sódio;

Ao se fazer uma análise geral dos resultados obtidos na presente tese, pode-se afirmar que o emprego do ultrassom pode ser considerado para acelerar o processo de salga de barriga suína para produção de bacon. Além disso, foi observado que variações nas propriedades físicas na medida em que houve incorporação de sal ou perda de umidade nas amostras – devendo-se levar em consideração durante o desenvolvimento das operações. Tais alterações no conteúdo de sal, assim como a temperatura do meio, também se mostraram significantes para influenciar as propriedades de sorção de água no bacon acabado. Estas informações permitirão aplicar condições mais favoráveis para o aumento da vida de prateleira do bacon.