

Uso da Microbiologia Preditiva na Segurança Alimentar de Produtos

Cárneos Use of Predictive Microbiology in Food Safety of Meat Product

DOI:10.34117/bjdv6n12-790

Recebimento dos originais: 10/12/2020

Aceitação para publicação: 04/12/2020

Ana Luiza Lira

Mestranda em Engenharia de Alimentos

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621 – Bairro Fátima, Erechim - RS, 99709-910, RS/Brasil.

E-mail: analuizalira8@gmail.com

Josieli Fátima Vesoloski

Mestranda em Engenharia de Alimentos

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621 – Bairro Fátima, Erechim - RS, 99709-910, RS/Brasil.

E-mail: josy_vesoloski@hotmail.com

Marcieli Peruzzolo

Mestranda em Engenharia de Alimentos

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621 – Bairro Fátima, Erechim - RS, 99709-910, RS/Brasil.

E-mail: marciperuzzolo@yahoo.com.br

Rogério Luis Cansian

Professor do Programa de Pós-Graduação Stricto sensu em Engenharia de Alimentos Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621 – Bairro Fátima, Erechim - RS, 99709-910, RS/Brasil.

E-mail: cansian@uricer.edu.br

Geciane Toniazzo Backes

Professora do Programa de Pós-Graduação Stricto sensu em Engenharia de Alimentos Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Av. Sete de Setembro, 1621 – Bairro Fátima, Erechim - RS, 99709-910, RS/Brasil.

E-mail: gtoniazzo@uricer.edu.br

RESUMO

Microrganismos são capazes de acarretar problemas de forma irreversível nos alimentos, causando grande preocupação, pois podem afetar a qualidade e a segurança alimentar, além de gerar perdas econômicas. Dessa forma, algumas ferramentas são fundamentais para conter esses patógenos, como a utilização da microbiologia preditiva. Seu uso, através de modelos matemáticos primários, secundários e terciários, fornece informações sobre a concentração de microrganismos nos produtos, controlando o crescimento dos mesmos dentro dos processos microbiológicos, assim como na estimativa de vida de prateleira e permitem a simulação da influência de alguns fatores, como pH, temperatura e atividade da água. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi fazer uma análise sobre a importância da microbiologia preditiva na segurança alimentar, focando no crescimento microbiano em produtos cárneos. A microbiologia preditiva é uma ferramenta muito importante para garantir a qualidade,

contribuindo assim na tomada de decisões na indústria alimentícia. Os modelos mais utilizados são os secundários (polinomiais, da raiz e cardinal), dentro desse grupo são levadas em consideração muitas variáveis ao longo do tempo, como por exemplo a temperatura. Os terciários também são muito conhecidos, apesar de existirem muitos softwares o ComBase é o mais citado, por possuir mais de 60.000 registros, o que torna possível prever o crescimento e inativação de qualquer microrganismo presente no seu banco de dados. Já o modelo primário considera apenas o crescimento dos microrganismos e não as variáveis do ambiente, por isso é menos usado.

Palavras-chave: Microrganismos. Modelos matemáticos. Crescimento microbiano. Indústria de alimentos.

ABSTRACT

Microorganisms are capable of causing problems irreversibly in food, causing great concern, as they can affect food quality and safety, in addition to generating economic losses. Thus, some tools are essential to contain these pathogens, such as the use of predictive microbiology. Its use, through primary, secondary and tertiary mathematical models, provides information on the concentration of microorganisms in the products, controlling their growth within microbiological processes, as well as in the shelf life estimate and allows the simulation of the influence of some factors, such as pH, temperature and water activity. In this sense, the objective of this work was to analyze the importance of predictive microbiology in food safety, focusing on microbial growth in meat products. Predictive microbiology is a very important tool to guarantee quality, thus contributing to decision making in the food industry. The most used models are the secondary (polynomial, root and cardinal), within this group many variables are taken into account over time, such as temperature. Tertiaries are also well known, although there is a lot of software, ComBase is the most cited, as it has more than 60,000 records, which makes it possible to predict the growth and inactivation of any microorganism present in its database. The primary model, on the other hand, considers only the growth of microorganisms and not the variables of the environment, so it is less used.

Keywords: Microorganisms. Mathematical models. Microbial growth. Food industry.

1 INTRODUÇÃO

Os microrganismos desempenham diversas funções nos alimentos, tanto benéficas, a exemplo das transformações de alimentos em novos produtos, quanto malélicas, como deterioração e contaminações que podem afetar a qualidade dos alimentos e a segurança alimentar. Sendo assim, é de extrema importância conhecer esses patógenos a ponto de prevenir que eles encontrem na carne um ambiente propício para a sua proliferação (REIS et al., 2020). A segurança alimentar é fundamental para evitar com que ocorram surtos de doenças na população, e a tecnologia vem somar quando o quesito é rastreabilidade, assim como permite o desenvolvimento de modelos preditivos para assegurar a qualidade dos alimentos (TAMPLIN, 2018).

Segundo Silva et al. (2020b) deterioração da carne engloba a combinação de processos químicos e biológicos complexos causados por populações bacterianas variadas, por isso compreender o seu desenvolvimento é fundamental para garantir a qualidade desse alimento. Barbosa et al. (2020), também cita as bactérias como os principais microrganismos veiculados as Doenças Transmitidas por

Alimentos (DTAs) que afetam cerca de 1 a cada 10 pessoas por ano, sendo a *Salmonella* spp. e *Escherichia coli* os principais agentes patogênicos envolvidos.

Wu et al. (2020) menciona a *Listeria monocytogenes* como uma das principais bactérias associadas as contaminações em alimentos, limpezas profundas nos utensílios, equipamentos e ambiente de trabalho, além da higiene pessoal podem auxiliar significativamente na segurança alimentar a curto e a longo prazo.

Desta forma, a presença de patógenos torna-se uma das maiores preocupações da indústria de alimentos, pois levam a inúmeras perdas econômicas, alteram a composição química dos produtos e causam contaminações. Os contaminantes alimentares podem ser classificados de acordo com sua origem, sendo físicos, químicos ou biológicos, dependendo do processo e do tipo de produto envolvido. As principais rotas de contaminação por microrganismos são via contato de superfície, pessoal ou ainda via ar. Sendo assim, é importante que além dos aspectos que podem ser controlados e dos ambientes de sala limpa, se busque práticas diárias para prevenir a existência desses perigos dentro dos processos, estruturas e higiene pessoal (MASOTTI, 2019).

A microbiologia preditiva, através de modelos matemáticos prediz efeitos no comportamento microbiano nos alimentos com relação a fatores como temperatura, quantidade de sal e conservantes (LÓPES et al., 2014). Esta ferramenta começou a ser considerada no início do século XX quando Bigelow, Esty e Meyer propuseram um modelo para descrever a cinética de morte bacteriana por calor e o aplicaram na indústria de alimentos (PRADHAN et al., 2019).

Segundo Amaral e Potrich (2019), ao longo dos anos esse estudo obteve muitos progressos, através de novos modelos e análises multivariadas e, atualmente, o conhecimento sobre estatística aplicada, engenharia e microbiologia estão integrados com a microbiologia preditiva. O desenvolvimento de softwares que utilizam modelos matemáticos é essencial à indústria de alimentos, pois além de fornecerem informações sobre os processos microbiológicos, auxiliam na estimativa de vida de prateleira e permitem a simulação da influência de diversos fatores (SCHLEI et al., 2018). Amaral e Potrich (2019), também citam que, geralmente, a experimentação microbiológica é feita de maneira univariada, pois as condições de todos os parâmetros experimentais variam individualmente.

A presente pesquisa tem como objetivo fazer uma análise da importância da microbiologia preditiva na segurança alimentar, focando no crescimento microbiano em produtos cárneos.

2 METODOLOGIA

Este trabalho de revisão foi desenvolvido por pesquisa bibliográfica realizada em artigos científicos, dissertações e teses oriundos de bases de dados online e portais de pesquisa como Wiley Online Library, Science Direct, Scielo (Scientific Electronic Library Online) e Google Acadêmico. Forma

utilizados trabalhos publicados entre 2012 a 2020, e analisados durante o período de setembro a novembro de 2020.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MICROBIOLOGIA PREDITIVA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Ferramentas como a microbiologia preditiva possuem capacidade de avaliar quantitativamente o desenvolvimento de patógenos nos alimentos no decorrer do processo produtivo e os possíveis impactos possíveis na saúde pública. Auxiliam na tomada de decisão quando se trata de segurança alimentar (GONZÁLEZ et al., 2018).

A elaboração de modelo preditivo em alimentos envolve uma série de etapas que incluem: estudo detalhado do produto escolha de um projeto experimental apropriado, coleta de dados, modelagem primária e secundária e validação do modelo. Desta forma, o resultado final é uma ferramenta segura e útil para avaliar as aplicações de ações corretivas durante o processamento de alimentos (LÓPEZ et al., 2014).

Os modelos matemáticos são usados para prever o comportamento, crescimento, sobrevivência e respostas dos microrganismos em diferentes condições ambientais, assim como temperaturas, pHs e atividade da água (a_w), ajustando os dados a uma equação matemática (PRADHAN et al., 2019). Um banco de dados de modelos preditivos pode ser estabelecido, o que permite que o comportamento microbiano seja previsto sob condições não testadas especificamente nos experimentos originais.

Classificam-se em três níveis, descritos como primário, secundário e terciário, e são aplicados no intuito de melhorar a qualidade e segurança alimentar. O modelo primário está ligado às alterações microbiológicas de acordo com o tempo para o microrganismo crescer, já o secundário, aos efeitos das condições ambientais, enquanto que o terciário é considerado a junção dos dois níveis na forma de programa de computador, que simula o comportamento microbiano em diferentes condições (FAKRUDDIN et al., 2011; MATOS, 2014).

3.2 MODELOS DE CRESCIMENTO PRIMÁRIO

Os primeiros modelos foram estudados por Buchanan em 1918 e nesses casos, foram levados em consideração apenas a concentração celular e a variação do tempo, como por exemplo uma curva de mortalidade ou crescimento de microrganismos, sem considerar as variáveis do meio, temperatura ou pH. A partir dele, surgiram outros estudos, como o de Pearlde 1927 que levou em consideração os achados de Verhulst de 1838 criando o modelo primário logístico (SCHLEI et al., 2018).

Segundo Akkermans et al. (2017), este modelo primário simples é utilizado para estimar a taxa de crescimento microbiano, onde $N(t)$ é a densidade celular em função do tempo e μ_{max} é a taxa máxima de crescimento específico, como observa-se na Equação 1:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \mu_{max} \cdot N(t) \tag{1}$$

Akkermans et al. (2017) ainda citam o modelo de Baranyi e Roberts para interpretar o cálculo dos intervalos de confiança do modelo, onde μ_{max} é a taxa máxima de crescimento específico; n_{max} é a densidade celular máxima; $q(t)$ é uma medida do estado fisiológico das células e serve para descrever a fase de latência da curva de crescimento. Mostrado na Equação 2 e 3:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{1}{1 + \exp(-q(t))} \cdot \mu_{max}(T) \cdot [1 - \exp(n(t) - n_{max})] \tag{2}$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = \mu_{max}(T) \tag{3}$$

Segundo Schlei et al. (2018), o modelo de Gompertz é, atualmente, um dos mais utilizados como modelo primário pelo fato de ser simples. Nele, o “ N_t ” representa a quantidade de microrganismos de acordo com o tempo, “ A ” simboliza a concentração inicial de microrganismos, “ C ” é a diferença entre o valor mais alto e mais baixo, “ M ” é o ponto em que a velocidade de crescimento que aumentava começa a cair e “ B ” é a velocidade de crescimento quando $(t - M)$, como pode ser visto na Equação 4:

$$\log_{10}(N_t) = A + C \cdot e^{-e^{-B(t-M)}} \tag{4}$$

3.3 MODELOS DE CRESCIMENTO SECUNDÁRIO

Dentro desse grupo são levadas em consideração muitas variáveis e suas alterações ao longo do tempo. Normalmente, os modelos secundários são divididos em duas classes: os polinomiais (efeitos ambientais são descritos por funções polinomiais) e os do tipo raiz e cardinal (os parâmetros são calculados por equações a parte, principalmente com modelos de raiz quadrada e cardinal (SCHLEI et al., 2018)).

Akkermans et al. (2017) citam que o modelo de temperatura cardinal com inflexão foi usado para descrever a taxa máxima de crescimento específico (μ_{max}) em função da temperatura (T), sendo considerado a temperatura mínima e máxima (°C) para definir as diversas condições ambientais onde o crescimento é possível; T_{opt} é a temperatura para taxa de crescimento ideal (μ_{opt}) é atingida, conforme verifica na Equação 5:

$$\mu_{max}(T) = \mu_{opt} \cdot \frac{(T - T_{min})^2 \cdot (T - T_{max})}{(T_{opt} - T_{min}) \cdot [(T_{opt} - T_{min}) \cdot (T - T_{opt}) \cdot (T_{opt} - T_{max}) \cdot (T_{opt} + T_{min} - 2T)]} \quad (5)$$

Segundo Schlei et al. (2018), o modelo da raiz quadrada mostra a velocidade de crescimento de microrganismos em função da temperatura, no qual o parâmetro b é uma constante obtida por regressão, Equação 6:

$$\sqrt{\mu} = b (T - T_{min}) \quad (6)$$

3.4 MODELOS DE CRESCIMENTO TERCIÁRIO

Esses modelos são ferramentas utilizadas a partir de softwares que envolvem aplicações de um ou mais modelos secundários, assim como algoritmos, para fornecer previsões (STAVROPOULOU; BEZIRTZOGLU, 2019). Os softwares mencionados permitem uma análise das respostas de diversos microrganismos em diversos alimentos, utilizados por profissionais da área de segurança alimentar, indústrias de alimentos e acadêmicos (SCHLEI et al., 2018).

As aplicações da microbiologia preditiva são extensas, mas podem ser resumidas em três grupos: inovação de produto, suporte operacional e suporte a incidentes. Os quais fornecem informações de segurança alimentar durante o desenvolvimento de novos produtos, fabricação de alimentos. Esses softwares avaliam a velocidade de proliferação microbiana, limites de crescimento ou taxa de inativação associada a formulações de alimentos e/ou condições de processo específicas para desenvolver novos produtos e processos (PRADHAN et al., 2019). Na Tabela 1 é possível visualizar os softwares mais utilizados para modelar o crescimento de microrganismos em alimentos.

Tabela 1- Softwares de modelos matemáticos terciários empregados em microbiologia preditiva.

Software	Descrição	Ano de criação	Fonte
ComBase	Descreve a evolução (crescimento e inativação) de vários microrganismos em meios de cultura ou alimentos. Também fornece alguns módulos de ajuste e simulação para crescimento e inativação. Possui 15 microrganismos em seu bando de dados.	2004	http://www.combase.cc/
GroPIN 2013	Simula o comportamento de microrganismos, incluindo espécies patogênicas e deteriorantes, em diferentes matrizes alimentares. Um banco de dados de modelos preditivos também é fornecido e pode ser implementado com novos modelos. Simulações de Monte Carlo também são propostas para levar em consideração a variabilidade.	2013	http://www.aua.gr/psomas/gropin
PMM-Lab	Simula o comportamento de patógenos e spoilers em diferentes matrizes alimentares.	2012	https://sourceforge.net/projects/pmmlab/
Predictor (FSSP) entre LAB e L. USDA Pathogen Modeling (iPMP)	Bactéria láctica (LAB); <i>Listeria monocytogenes</i> . Queijo tipo cottage, Produtos de carne, Frutos do mar e vários outros alimentos.	2012	http://fssp.food.dtu.dk/
	Ferramenta de pesquisa e instrução para estimar os efeitos de múltiplas variáveis no crescimento, inativação ou sobrevivência de patógenos transmitidos por alimentos.	2013	https://meathaccp.wisc.edu/index.html

A partir do levantamento de dados desta pesquisa na literatura estudada, constatou-se que o software ComBase foi o mais utilizado, representando 38% esse software compreende um conjunto de modelos de previsão de resposta de patógenos importantes de origem alimentar. Ele possui mais de 60.000 registros, para descrever ambientes alimentares, incluindo temperatura, pH, atividade da água e os mais diversos fatores que afetam o crescimento de bactérias, incluindo o desenvolvimento de novos produtos e a reformulação de alimentos através de planos de segurança alimentar e avaliação quantitativa de riscos.

Comparado a outros programas como GroPIN (367 modelos) e iPMP estes possuem menos registros e possibilidades de comportamento entre os patógenos, tornando-o com uma viabilidade mais restrita.

3.5 FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DE MICRORGANISMOS

O pH não afeta apenas o desenvolvimento dos microrganismos, mas também influencia a sua taxa de sobrevivência durante o armazenamento e conservação do produto. A maioria dos microrganismos prefere o pH próximo da neutralidade (7,0) para se multiplicar, sendo assim poucos se

desenvolvem abaixo de 2 e acima de 10, mas cada microrganismo possui um valor ideal para se desenvolver (MATOS, 2014).

A temperatura também afeta o desenvolvimento dos microrganismos. A multiplicação dos microrganismos pode ocorrer em uma ampla faixa de temperatura, em um mínimo de -35°C e um máximo de 90°C , por isso o controle é muito importante, visto que qualquer alteração nesta variável faz com que ocorra o desenvolvimento microbiano de uma forma muito rápida, diminuindo a vida útil do produto (DANIELLI, 2020). Mesmo com temperaturas relativamente baixas, se a umidade for elevada o desenvolvimento de microrganismos pode ocorrer de forma rápida (MATOS, 2014).

O controle microbiano pode se fazer por diversos fatores, entre eles Danielli (2020) cita a atividade de água (a_w), que corresponde a quantidade de água presente nos alimentos, geralmente em abundância. O crescimento microbiano ocorre quando os alimentos apresentam valores de a_w acima de 0,85, estando desta forma vulneráveis à deterioração por microrganismos.

Os ácidos orgânicos também influenciam na estabilidade dos alimentos, segundo Nyhan et al. (2018), a adição de ácidos ou sais são fatores que devem ser controlados, sendo um método de preservação comumente usado já que produz efeitos inibitórios sobre bactérias. O autor também cita o ácido propiônico por sua eficácia como conservante de alimentos, conhecido por suas atividades antifúngicas e antibacterianas.

A carne é uma ótima fonte de proteínas, apresenta pH próximo da neutralidade (em torno de 5,6) e possui alta atividade de água. Sendo assim, se não forem adotadas medidas adequadas para sua produção, manipulação e comercialização, torna-se suscetível à contaminação microbiana (SILVA et al., 2020b).

3.6 EMPREGO DA MICROBIOLOGIA PREDITIVA EM PRODUTOS CÁRNEOS

As doenças transmitidas por alimentos (DTAs) são a causa da mortalidade de muitas pessoas em todo o mundo e assim, a microbiologia preditiva é aplicada para garantir a segurança do alimento durante toda cadeia de produção, distribuição e armazenamento. Para colocar a microbiologia preditiva em prática alguns aspectos básicos devem ser levados em consideração, como por exemplo a curva de crescimento microbiano (SCHLEI et al., 2018).

Bactérias são os microrganismos muito importantes em surtos alimentares, assim como agentes químicos, vírus e parasitas, estes, representando uma pequena fração. Problemas de origem bacteriana podem ocorrer de três diferentes formas: devido a infecções (quando agentes patogênicos são ingeridos através dos alimentos e se instalam no trato gastrointestinal), por intoxicações (quando os alimentos ingeridos contêm toxinas produzidas pelos patógenos) e oriundos de toxinfecções (quando a bactéria é ingerida, se instala e produz toxinas no sistema gastrointestinal) (SILVA et al., 2017). As bactérias

mais envolvidas na contaminação da carne são *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (SILVA et al., 2020b).

As bactérias do gênero *Salmonella* sp. se caracterizam por bastonetes, Gram-positivos, não esporulados que causam graves intoxicações alimentares já que colonizam, inicialmente, o trato gastrointestinal do ser humano e dos animais. Além de afetar a segurança dos alimentos, outro problema é seu grande potencial de resistência em relação ao seu controle, principalmente a fármacos (SILVA et al., 2020b; QUEIROZ, 2017). Segundo Matos (2014) a temperatura (35 a 37°C), pH (6,5 a 7,5) e atividade de água (0,99) são as condições ótimas para *Salmonella* sobreviver e desenvolver-se nos alimentos.

Outro grupo importante é os coliformes totais, que embora também se encontrem na forma de bastonetes, são Gram-negativos e não esporogênicos, aeróbios e anaeróbios facultativos que produzem gás. A presença deles indica condições higiênico-sanitárias inadequadas, assim como a ocorrência de *Escherichia coli* que faz parte dos coliformes termotolerantes e indica contaminação fecal e higiene inadequada do manipulador (SILVA et al., 2020b). Matos (2014) cita as condições ótimas para essa bactéria: temperatura de (35 a 40°C), pH (4,0) e atividade de água (0,95).

Listeria monocytogenes pertence à família *Listeriaceae*, é um bacilo Gram-positivo, responsável por vários surtos de listeriose, em animais e humanos, suas condições ideais são: temperatura (30 a 37°C), pH (6,0 a 8,0) e atividade de água (0,92) (MATOS, 2014). O *Staphylococcus aureus* é uma bactéria Gram-positiva e caracteriza-se por possuir a forma de cocos, quando ela encontra condições propícias, como: temperatura (35 a 40°C), pH (6,0 a 7,0) e atividade de água (0,98) pode produzir enterotoxinas, que causam intoxicação alimentar (MATOS, 2014).

A Tabela 2 apresenta uma breve revisão literária envolvendo diversos produtos cárneos, os microrganismos contaminantes, as variáveis observadas pelos autores e os modelos de análise utilizados. Dentre as referências citadas destaca-se Milkiewicz et al. (2018) que realizaram seu estudo com carne de frango, citaram que o modelo de Baranyi-Roberts apresentou os melhores resultados para os dados estudados, sendo utilizado como base para os modelos secundários, onde destacou-se o modelo da raiz quadrada. Enquanto que Danielli (2020), também realizou estudos com carne de frango, concluiu que o software ComBase Predictor® foi o que melhor se adaptou as previsões necessárias neste estudo, mesmo possuindo ampla faixa nas variáveis utilizadas. Apesar de alguns limites de temperatura e atividade de água, foi possível realizar todas as simulações necessárias, considerando pequena tolerância em algumas.

Tabela 2- Estudos que utilizaram a microbiologia preditiva em produtos cárneos

Produto	Microrganismo	Variáveis	Modelo	Referência
Carne de Frango	Coliformes Termotolerantes; <i>Staphylococcus aureus</i> ; <i>Listeria monocytogenes</i> ; <i>Salmonella</i> spp.	pH e temperatura	ComBase Predictor®	Danielli (2020)
Carne de frango	<i>Salmonella</i> spp.	Temperatura	Modelo secundário e software ComBase	Milkiewicz et al. (2018)
Carne de frango	<i>Campylobacter jejuni</i>	Temperatura, concentração de sorbato de potássio e embalagem em filmes plásticos.	Modelo primário, equação de Gompertz e Weibull	Sansalone et al. (2010)
Carne de frango	<i>Salmonella enterica</i>	Temperatura e atividade de água	Software ComBase	Zhou et al. (2014)
Carne bovina embalada a vácuo	Bactérias mesófilas, psicrotróficas e ácidos lácticas	Tempo e temperatura	Modelo primário de Huang	Silva et al. (2020a)
Carne bovina	<i>Shigella sonnei</i>	Temperatura	Modelo primário de Gompertz modificado	Chai et al. (2016)
Carnes vermelha	<i>Pseudomonas</i> spp.	Temperatura, permeabilidade da embalagem e a composição inicial do espaço livre	Modelo matemático primário adaptado a Baranyi e Roberts	Hutchings et al. (2020)
Filés de cavalo	<i>Pseudomonas, B. thermo-sphacta, Enterobacteriaceae</i> e bactérias de ácido láctico	Armazenamento aeróbio em condições isotérmicas (0-15 ° C)	Software ComBase	Pavlidis et al. (2020)
Carne suína	<i>Listeria monocytogenes</i>	Temperatura, água eletrolisada de baixa concentração e com ácido forte	Modelo primário de Gompertz modificado	Wang et al. (2012)
Presunto com adição de óleo essencial de orégano	Bactérias ácido lácticas (BAL)	pH, atividade de água e concentração de cloreto de sódio	Modelo primário (Baranyi e Roberts) e modelo secundário (Raiz quadrada e exponencial)	Menezes (2016)
Salsicha	<i>Clostridium perfringens</i>	Efeito inibitório de uma composição antimicrobiana à base de ácido fólico.	Modelo primário de Gompertz modificado	Nogues (2018)

Carne de peixe	<i>Pseudomonas</i> spp.	Crescimento isotérmico e não isotérmico	Modelo primário baseado no uso do Teorema do Limite Central	Robazza et al. (2017)
Carcças e Animais Bovinos	<i>Pseudomonas</i> spp., bactérias de ácido láctico, <i>Brochothrix thermosphactae</i> ; <i>Clostridium</i> spp	temperatura superficial e central, pH e atividade de água	Modelo terciário ComBase Predictor	Reid et al. (2017)

Milkievicz et al. (2018) que realizaram seu estudo com carne de frango, citaram que o modelo de Baranyi-Roberts apresentou os melhores resultados para os dados estudados e então ele foi utilizado como base para os modelos secundários, onde destacou-se o modelo da raiz quadrada. Enquanto que Danielli (2020) também realizou estudos com carne de frango e concluiu que o software ComBase Predictor® foi o que melhor se adaptou as previsões necessárias neste estudo, mesmo possuindo ampla faixa nas variáveis utilizadas. Apesar de alguns limites de temperatura e atividade de água, foi possível realizar todas as simulações necessárias, considerando pequena tolerância em algumas.

Menezes (2016), estudou o efeito da adição de óleo essencial de orégano sobre a vida útil de presunto fatiado embalado a vácuo, já que este é um antimicrobiano natural. Na sua pesquisa, foi utilizado o modelo de Baranyi e Roberts unido aos dados experimentais obtidos do presunto e o tratamento com óleo foi eficaz na extensão da vida útil, reduzindo a contagem bacteriana.

4 CONCLUSÃO

Os modelos mais utilizados são os secundários e terciários, muitas vezes em conjunto. No que diz respeito aos modelos secundários, o da raiz e o cardinal são os mais utilizados e se tratando de modelo para crescimento terciário o software ComBase é o mais citado na literatura, por possuir uma grande variedade de registros, tornando possível prever o crescimento de qualquer um dos microrganismos presentes no banco de dados. O primário só leva em consideração a concentração celular e a variação do tempo, estimando a taxa de crescimento microbiano.

A segurança alimentar está aliada à saúde pública e com ela, muitos problemas econômicos e higiênico-sanitários podem ser evitados. A microbiologia preditiva é uma ferramenta muito importante para esta finalidade, visto que através dela é possível atrelar diversas condições de estudo aos produtos, encontrando os melhores métodos e perspectivas para preservá-los e aumentar o tempo de prateleira, contribuindo assim na tomada de decisões na indústria alimentícia.

CONFORMIDADE COM AS NORMAS ÉTICAS

Os autores declaram não haver conflitos de interesse potenciais

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil (FAPERGS).

REFERÊNCIAS

AKKERMANS, S.; LOGIST, F.; IMPE J. F. V. Parameter estimations in predictive microbiology: Statistically sound modelling of the microbial growth rate. *Food Research International*, v. 106, p. p. 1105-1113, 2017.

AMARAL, L. S.; POTRICH. O uso de ferramentas da microbiologia preditiva para análise multivariada em experimentos. In: *Workshop de Inovação, Pesquisa, Ensino e Extensão, 2019*, São Carlos, SP. Anais [ISSN 2525-9377] São Carlos, 2019.

BARBOSA N. C.; SILVA M. D.; ARRAIS B. R.; CARVALHO I. C.; FERREIRA M. R. A.; MOREIRA C. N. Qualidade microbiológica de lombo suíno e correlação entre microrganismos indicadores. *Brazilian Journal of Development*, n. 5, v. 6, p. 24591-24600, 2020.

CHAI, C.; JANG, H; OH, S. Real-time PCR-based quantification of *Shigella sonnei* in beef and a modified Gompertz equation-based predictive modeling of its growth. *Applied Biological Chemistry* n. 59, v. 1, p. 67–70, 2016.

DANIELLI, A. J. Validação de Softwares de Microbiologia Preditiva para Aplicação em Abatedouro de Aves. 2020, 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – URI, Erechim, RS, Brasil, 2020.

FAKRUDDIN, M. D.; MAZUMDER, R. M.; MANNAN, K. S. B. *Ceylon Journal of Science* n.40, v. 2, p. 121-131, 2011.

GONZÁLEZ, S. C.; POSSAS, A.; CARRASCO, E.; VALERO, A.; BOLÍVAR, A.; IZQUIERDO, G. D. P.; GIMENO, R.M. G.; ZURERA, G.; RODRÍGUEZ, F. P. ‘MicroHibro’: A software tool for predictive microbiology and microbial risk assessment in foods. *International Journal of Food Microbiology*, v. 290, p. 226-236, 2018.

HUTCHINGS, N.; SMYTH, B.; CUNNINGHAM, E.; MANGWANDI, C. Development of a mathematical model to predict the growth of *Pseudomonas* spp. In, and film permeability requirements of, high oxygen modified atmosphere packaging. *Journal of food engineering*, v. 289, p. 110251, 2020.

LÓPES, F. N. A.; GALLEGO, J. B.; VALERO, A.; GIMENO, R. M. G.; FERNÁNDEZ, A. G. Predictive Microbiology: A Valuable Tool in Food Safety and Microbiological Risk Assessments. In: *Practical Food Safety: Contemporary Issues and Future Directions*. 1. Ed. Córdoba, Spain, p. 517-534, 2014.

MASOTTI, F.; CATTANEO, S.; STUKNYTĖ, M.; NONI, I. Airborne contamination in the food industry: An update on monitoring and disinfection techniques of air. *Trends in Food Science & Technology*, v. 90, p. 147-156, 2019.

MATOS, L. R. Microbiologia Preditiva aplicada à análise de amostras de carne de vaca e porco. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2014.

MENEZES N. M. C. Efeito da adição de óleo essencial de orégano sobre a vida útil de presunto fatiado embalado a vácuo: modelagem em condições isotérmicas e não isotérmicas. 2016.78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – UFSC, Florianópolis, SC, 2016.

MILKIEVICZ, T.; SARTOR, J. V. B.; BADIA, V.; LONGHI, D. A.; GALVÃO, A. C.; ROBAZZA, W. S. Modelagem de crescimento de *Salmonella* spp. Em carne de frango submetida a um regime de temperatura variável. In: 6º simpósio de segurança alimentar, 2018, Gramado, RS, Brasil.

NOGUES D. R. N. Avaliação do efeito inibitório do ácido fólico sobre esporos de *Clostridium perfringens* Tipo A aplicado em produtos cárneo cozido. 2018, 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – UTFPR, Medianeira, Paraná, Brasil, 2018.

NYHAN, L.; BEGLEY, M.; MUTEL, A.; JOHNSON, Y. Q. N.; CALLANAN, M. Predicting the combinatorial effects of water activity, pH and organic acids on *Listeria* growth in media and complex food matrices. *Food Microbiology*, v.74, p. 75-85, 2018.

PAVLIDIS, D. E.; MALLOUCHOS, A.; JOHN, G. Microbiological assessment of aerobically stored horse fillets through predictive microbiology and metabolomic approach. *Meat Science*, v. 172, 2020.

PRADHAN, A. K.; MISHRA, A.; PANG, H. Microbiologia preditiva e avaliação de risco microbiano. *Microbiologia Alimentar: Fundamentos e fronteiras*, 5. Ed. Washington, DC, 2019, p. 989-1006.

QUEIROZ I. K. A. Carne moída bovina em Araguaína: qualidade higiênico-sanitária e perfil de resistência antimicrobiana de *E. coli* e *Salmonella* sp. 2017. 82 f. Dissertação (Ciência animal) UFT, Araguaína, Tocantins, Brasil, 2017.

REID, R.; FANNING. S.; WHYTE. P.; KERRY. J.; LINDQVIST. R.; YU. Z.; BOLTON. D.; The microbiology of beef carcasses and primals during chilling and commercial storage. *Food Microbiology*, n, 61, p. 50 – 57, 2017.

REIS R. M.; SILVA J. S; PIMENTEL É. K.; OLIVEIRA B. C. R.; VASCONCELOS L. A. S.; SANTOS F. F. Ocorrência de microrganismos psicrotróficos em carne moída in natura comercializada na cidade de Manaus, Amazonas. *Brazilian Journal of Development*, n. 6, v. 6, p. 41750-41759, 2020.

ROBAZZA, W. D.; TELEKEN, J. T.; GALVÃO, A. C. Application of a Model Based on the Central Limit Theorem to Predict Growth of *Pseudomonas* spp. *Food and Bioprocess Technology*, n. 10, p. 1685–1694, 2017.

SANSALONE, L. P.; OTEIZA, J. M.; GIACOBONI, G.; GIANNUZZI, L. Predictive Models for the Survival of *Campylobacter* Jejuni Inoculated in Chicken Meat. *Journal of food processing and preservation*, v. 34, p. 247-264, 2010.

SCHLEI K. P.; REITER M. G. R.; BERTOLI S. L.; LICODIEDOFF S.; CARVALHO L. F. & SOUZA C. K. Microbiologia Preditiva: aspectos gerais e tendências. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v.10, p. 52-68, 2018.

SILVA A. A.; AMORIM B. O.; SOUZA M. N.; BATISTA C. A.; RITTER D. O. & LANZARIN M. Evaluation of hygienic – sanitary quality of ground beef exposed for sale. *Brazilian Journal of Development*, n. 3, v. 6, p.10513-10525, 2020b.

SILVA H. O.; VIDAL A. M. C.; JUNIOR O. D. R. Pathogenic bacteria in turkey meat: A review. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, n. 3, v.11, p. 338-353, 2017.

SILVA J. L.; CADAVEZ V. A. P.; MACHADO M. A. M.; DIAS B. C. L.; NETO A. C.; BARRON

U. G.; FIGUEIREDO E. E. S. Behavior of spoilage *acum ca* and *Salmonella acum ca* subspecies *acum ca* O:4,5 in *acum*-packaged beef during refrigeration. *Ciência Rural*, n. 7, v. 50, 2020a.

STAVROPOULOU E.; BEZIRTZOGLU E. Predictive Modeling of Microbial Behavior in Food. *Foods*, n. 8, v. 12, p. 654, 2019.

TAMPLIN, M. L. Integrating predictive models and sensors to manage food stability in supply chains. *Food Microbiology Journal*, v. 75, p. 90-94, 2018.

WANG, J.; RAHMAN, S. M. E.; PARK, M. Modeling the response of *Listeria monocytogenes* at various storage temperatures in pork with/without electrolyzed water treatment. *Food Science Biotechnology*, v. 21, p. 1549–1555, 2012.

WU, S. T.; HAMMONSA, S. R.; SILVERA, R.; NEALB, J. A.; OLIVERA, H. F. Retail deli managers and associates have better food safety culture in stores with lower *Listeria monocytogenes* contamination. *Food Control*, v. 110, p. 106983, 2020.

ZHOU, K.; ZHONG, K.; LONG, C.; HAN, X.; LIU, S. Development and Validation of a Predictive Model for the Growth of *Salmonella enterica* in Chicken Meat. *Journal of Food Safety*, v. 34, p. 326-332, 2014.