



Misturas de fosfatos alteram o processo de maturação do salame

[Phosphate blends change the salami ripening process]

Adrieli Maiandra Piccinin do Amaral¹ , Elisa Mohr¹ , Isadora Gazoni¹ , Cristiane Carla Bugs¹ ,
Érica Paganini Maia¹ , Luana Bettanin¹ , Liziane Schittler Moroni¹ , Elisandra Rigo¹ , Georgia Ane
Raquel Sehn¹ , Darlene Cavaleiro^{*1} 

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Pinhalzinho, Santa Catarina, Brasil 

*autor correspondente: darlene.cavaleiro@udesc.br

Recebido: 06 de agosto de 2025. Aceito: 09 de fevereiro de 2025. Publicado: 25 de março de 2026.

Editor: Luiz Augusto B. Brito

Resumo: Este estudo avaliou os efeitos de três misturas de fosfatos no processo de maturação de linguiças fermentadas secas (salame) em comparação com uma amostra controle sem fosfato, por meio da avaliação de características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais. As misturas de fosfatos alcalinos (BRS450 e BRS460) foram mais eficazes em acelerar a maturação, em três dias, em relação à amostra controle, observado pela maior perda de peso e menores teores de umidade e atividade de água; entretanto, a redução do pH ocorreu de forma mais lenta. Essas formulações também resultaram em uma linguiça com maior dureza devido ao menor teor final de umidade, níveis semelhantes de oxidação lipídica e menores contagens de bactérias mesófilas. As amostras apresentaram aceitação sensorial satisfatória (escore > 7) para cor, aparência, aroma, sabor e textura. De modo geral, os resultados indicam que as misturas de fosfatos representam uma estratégia tecnológica eficaz para acelerar a maturação do salame sem comprometer a qualidade do produto, contribuindo para a redução do tempo de processamento e potenciais benefícios econômicos.

Palavras-chave: linguiça fermentada seca; perda de massa; umidade; aceitação sensorial.

Abstract: This study evaluated the effects of three phosphate blends on the ripening process of dry fermented sausages (salami) in comparison with a phosphate-free control by assessing physicochemical, microbiological, and sensory characteristics. The alkaline phosphate blends (BRS450 and BRS460) were more effective in accelerating ripening by three days compared with the control, as indicated by greater weight loss and lower moisture content and water activity; however, the reduction in pH occurred more slowly. These formulations also resulted in sausages with higher hardness due to the lower final moisture content, similar levels of lipid oxidation, and reduced mesophilic bacteria counts. The samples exhibited satisfactory sensory acceptance (scores > 7) for color, appearance, aroma, flavor, and texture. Overall, the results indicate that phosphate blends represent an effective technological strategy to accelerate salami ripening without impairing product quality, contributing to shorter processing times and potential economic benefits.

Keywords: Dry fermented sausage; weight loss; moisture; sensory acceptance.

1. Introdução

A linguiça fermentada seca (salame) é um produto cárneo típico fermentado e seco, elaborado a partir de carne crua e tecidos adiposos, sais, agentes de cura, açúcares e especiarias. Os ingredientes são misturados e embutidos em tripas, sendo posteriormente submetidos ao processo de maturação, que compreende as etapas de fermentação e secagem, fundamentais para o desenvolvimento das propriedades sensoriais do produto ⁽¹⁾. Entretanto, para alcançar características sensoriais desejáveis e garantir a segurança do alimento, esse produto requer a combinação adequada de diversos fatores, incluindo matérias-primas como sal e sais de cura, além da redução do pH, da atividade de água (aw) e do teor de umidade ^(2,3).

Entre os aditivos tecnológicos mais importantes utilizados na produção eficiente e segura de salames estão os agentes de cura, como os fosfatos. Os fosfatos são reconhecidos como aditivos apropriados para uso na indústria de alimentos. São aplicados em diferentes formas moleculares e selecionados de acordo com a função desejada na matriz alimentar ⁽⁴⁾. Os mecanismos de ação dos fosfatos em matérias-primas cárneas são complexos e envolvem interações entre íons, água e proteínas, sendo suas funções influenciadas pelo teor de água e pelos valores de pH ⁽⁴⁾.

Os fosfatos de grau alimentício são utilizados em produtos cárneos devido às suas capacidades emulsificantes e estabilizantes, atuando na modificação e/ou estabilização do pH, no aumento da capacidade de retenção de água, na redução da perda de massa durante o processamento térmico e na melhoria da textura e das propriedades sensoriais, como maciez, suculência, cor e sabor ^(4,5).

Diversos autores têm estudado o uso de diferentes níveis de fosfatos em produtos cárneos emulsificados e processados ⁽⁶⁾, isoladamente ou combinados com outros compostos ⁽⁷⁾. Contudo, as pesquisas que abordam os efeitos dos fosfatos, incluindo diferentes misturas comerciais, em produtos cárneos maturados e secos ainda são limitadas. Fonseca et al. ⁽⁸⁾ avaliaram a adição de uma mistura comercial de fosfatos em embutidos espanhóis maturados do tipo *salchichón* e *chorizo*. No *salchichón*, a adição de fosfato resultou em aumento significativo da taxa de secagem, da dureza e da mastigabilidade, além de tendência à menor oxidação lipídica. No *chorizo*, observou-se aumento da dureza, elasticidade e mastigabilidade, bem como menor intensidade da cor amarela. Apesar desses achados, a literatura disponível permanece escassa e concentra-se, principalmente, no uso de uma única mistura comercial, sem abordar os efeitos comparativos de diferentes formulações de fosfatos durante o processo de maturação.

Diante da limitada evidência científica sobre o uso de misturas de fosfatos em produtos cárneos maturados e da relevância prática de acelerar a maturação mantendo a qualidade e a segurança do produto, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes misturas de fosfatos nas características físico-químicas, tecnológicas, microbiológicas e sensoriais do salame ao longo do processo de maturação.

2. Material e métodos

2.1 Materiais

As matérias-primas (paleta suína, paleta bovina, toucinho suíno, sal, açúcar, alho e noz-moscada) foram adquiridas em um mercado local do município de Pinhalzinho, Santa Catarina, Brasil. Os aditivos comerciais eritorbato de sódio, nitrito de sódio e as misturas de fosfatos foram adquiridos de uma empresa especializada em aditivos para produtos cárneos. As misturas de fosfatos utilizadas nas formulações apresentaram as seguintes composições: BRS450 (35–45

% de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio – pH 7,5); BRS460 (30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio – pH 6,5); e TRS78 (90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio – pH 5,0). Todos os reagentes químicos utilizados nas análises foram de grau analítico.

2.2 Fabricação e amostragem do salame

Foram elaborados quatro tratamentos, conforme descrito a seguir: CONTROLE (formulação controle, sem adição de fosfatos), BRS450 (0,10 g/100 g), BRS460 (0,10 g/100 g) e TRS78 (0,10 g/100 g), conforme indicação do fabricante. Os seguintes ingredientes foram utilizados em todas as formulações: paleta suína (57,95 g/100 g), paleta bovina (19,31 g/100 g), toucinho suíno (19,31 g/100 g), sal (2,12 g/100 g), açúcar (0,48 g/100 g), alho (0,48 g/100 g), noz-moscada (0,02 g/100 g), eritorbato de sódio (0,10 g/100 g) e uma mistura comercial de nitrito de sódio e cloreto de sódio (0,13 g/100 g). Inicialmente, a paleta bovina e a paleta suína foram moídas em um moedor industrial (7000 Light, MSI-10, BRA), utilizando discos de 5 mm, e o toucinho suíno foi moído em discos de 8 mm, sendo posteriormente colocados em um recipiente plástico. Em seguida, as misturas de fosfatos e a mistura comercial (cloreto de sódio/nitrito de sódio) foram adicionadas à mistura carne/gordura e homogeneizadas manualmente por 20 minutos, até completa solubilização. Posteriormente, os demais ingredientes foram adicionados e misturados, também manualmente, por mais 5 minutos, até completa homogeneização.

A massa cárnea foi embutida em tripas naturais com diâmetro de 45–50 mm e comprimento de 10 cm, produzindo unidades individuais de salame com aproximadamente 100 g de massa. Para cada tratamento, foram produzidos três lotes independentes, sendo cada lote constituído de aproximadamente 2000 g de massa, resultando em cerca de 20 unidades de salame por lote. Os salames foram mantidos sob refrigeração (máx. 10 °C) por aproximadamente 20 h e, em seguida, encaminhados à empresa Embutidos Lamb (Pinhalzinho, Santa Catarina, Brasil) para defumação natural durante 10 h. A temperatura média e a umidade relativa durante o processo de defumação foram de 26,3 °C e 89 %, respectivamente.

Após a defumação natural, os salames foram armazenados em uma câmara de incubação BOD (SSBODu 342L, Solidsteel, BRA), sob condições controladas de umidade relativa (UR) e temperatura (°C), de acordo com as condições propostas por de Lima Alves et al. ⁽⁹⁾, com adaptações. A umidade relativa e a temperatura foram estabelecidas da seguinte forma: 85 % UR e 23 °C (dias 1, 2 e 3); 85 % UR e 22 °C (dia 4); 83 % UR e 21 °C (dia 5); 80 % UR e 20 °C (dia 6); 80 % UR e 19 °C (dia 7); e 75 % UR e 18 °C (do dia 8 até o final do período de maturação).

Os salames foram avaliados ao longo de 16 dias de maturação. Três lotes independentes foram produzidos para cada tratamento. Em cada tempo de amostragem, três unidades de salame por tratamento foram analisadas, sendo uma unidade retirada de cada lote. Todas as análises foram realizadas em triplicata, totalizando nove unidades experimentais (n = 9) por tratamento.

2.3 Composição centesimal, análises físico-químicas e perfil de textura

A composição centesimal foi determinada (n = 9) ao final do período de maturação (dia 16 após a fabricação), de acordo com a AOAC ⁽¹⁰⁾. O teor de lipídios foi determinado pelo método de extração Soxhlet (método 920.39c); o teor de proteínas foi determinado pelo método micro Kjeldahl (método 920.152), utilizando o fator de conversão 6,25; e o teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla a 550 °C (método 940.26).

As análises físico-químicas do salame foram realizadas nos dias 1, 4, 7, 10, 13 e 16 de maturação para determinação de perda de massa, pH, teor de umidade e atividade de água. A perda de massa foi determinada em porcentagem, por meio da diferença entre a massa inicial e a massa final das peças, utilizando uma balança semi-analítica (BEL, BRA). O teor de umidade foi determinado de acordo com o método 925.45b da AOAC ⁽¹⁰⁾, por meio do método gravimétrico de secagem direta em estufa a 105 °C (método 925.45b), até o peso constante. O pH foi determinado em uma suspensão da amostra com água destilada na proporção de 1:10 (m/v), utilizando um pHmetro de bancada (MS TecnoPON, mPA210, BRA), previamente calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7. A atividade de água (aw) foi medida a 25 °C em equipamento Aqualab (Pre Water Activity Analyzer, Decagon, BRA).

Os níveis de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foram determinados nos dias 1, 7 e 16 de maturação, utilizando o método espectrofotométrico descrito por Jo e Ahn ⁽¹¹⁾, com modificações. Para isso, 5 g de amostra foram homogeneizados com 30 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 7,5 %. A mistura foi filtrada em papel filtro qualitativo (Qualy 12,5 cm, J. Prolab, BRA), e uma alíquota de 2 mL do filtrado foi transferida para um tubo de ensaio, à qual foram adicionados 2 mL de solução de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,02 M. Os tubos foram aquecidos em banho termostático (SSD 5L, Solidsteel, BRA) por 20 minutos a 100 °C e, em seguida, resfriados em banho de água até temperatura ambiente. A absorbância das amostras foi medida em espectrofotômetro (80 SA, Femto, BRA) a 532 nm, e a concentração foi determinada utilizando uma curva padrão previamente preparada com 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP). Os resultados foram expressos em mg de MDA/kg de amostra.

Ao final do período de maturação (dia 16), os salames foram avaliados, em seis repetições, quanto à análise de perfil de textura e tensão de cisalhamento, conforme proposto por Matos et al. ⁽¹²⁾, utilizando um analisador de textura CT3 (Brookfield, EUA). As amostras foram cortadas com 2 cm de altura e comprimidas com uma sonda cilíndrica acrílica de 50,4 mm de diâmetro, com velocidade de teste de 5 mm/s, trigger de 1,0 N e deformação de 60 %, para determinação dos parâmetros dureza, coesividade, adesividade e mastigabilidade. As amostras foram submetidas ao cisalhamento transversal a 2 cm das extremidades, utilizando lâmina reta tipo Warner-Bratzler, com velocidade de teste de 3 mm/s e carga de disparo de 1,0 N.

2.4 Análises microbiológicas

Foram utilizadas duas unidades de salame de cada lote (n = 6). Para isso, 10 g de diferentes porções da amostra foram colocados em um saco estéril tipo Stomacher, ao qual foram adicionados 90 mL de água peptonada a 0,1 % (m/v), obtendo-se a diluição 10⁻¹. As demais diluições foram preparadas transferindo-se 1 mL da diluição 10⁻¹ para 9 mL de água peptonada a 0,1 % (m/v), obtendo-se a diluição 10⁻². Nos dias 1 e 16 de maturação, foram realizadas contagens de bactérias aeróbias mesófilas utilizando ágar PCA (Kasvi, BRA), com incubação a 37 °C por 48 h. Antes da realização dos testes sensoriais, os salames foram avaliados quanto à presença de *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e estafilococos coagulase-positivos, de acordo com as metodologias descritas na Instrução Normativa nº 30 ⁽¹³⁾.

2.5 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial dos salames foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) (CAAE: 32229420.5.0000.0118). Sessenta avaliadores não treinados participaram do teste no laboratório

de análise sensorial do Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química da UDESC. Para o teste de aceitação, foi utilizada uma escala hedônica de 9 pontos, na qual 9 = gostei muitíssimo e 1 = desgostei muitíssimo, para avaliar os atributos cor, aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global. Após o período de maturação, quando as amostras apresentaram teor de umidade inferior a 40 %, estas foram embaladas a vácuo e mantidas sob refrigeração enquanto aguardavam os resultados microbiológicos e a posterior avaliação sensorial. Todos os tratamentos foram submetidos à avaliação sensorial. As amostras foram cortadas com aproximadamente 10 mm de espessura, codificadas com três dígitos aleatórios e servidas em pratos plásticos brancos, acompanhadas de um copo de água e um biscoito tipo cracker para higienização do paladar entre as amostras.

2.6 Análise estatística

Os parâmetros físico-químicos, de textura, microbiológicos e sensoriais dos salames foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA), utilizando o software STATISTICA 14 (Statsoft), considerando os tratamentos e o tempo como efeitos fixos, e as repetições como efeitos aleatórios. As diferenças significativas foram avaliadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

3. Resultados e discussão

3.1 Composição centesimal

De acordo com a Legislação Brasileira ⁽¹⁴⁾, é permitido para salame teor máximo de gordura de 35 % e teor mínimo de proteína de 20 %, dessa forma, todos os salames produzidos neste estudo atenderam à legislação (Tabela 1). Em relação ao teor de gordura, não foi observada diferença significativa entre as amostras ($P > 0,05$).

Tabela 1. Composição centesimal (base úmida) de salames com adição de misturas de fosfatos, após 16 dias de maturação.

Parâmetros (%)	Tratamentos			
	CONTROLE	BRS450	BRS460	TRS78
Gordura	28,23 ± 1,27 ^a	28,79 ± 0,97 ^a	27,40 ± 1,17 ^a	28,83 ± 0,46 ^a
Proteína	25,05 ± 0,33 ^c	29,73 ± 1,60 ^{ab}	30,11 ± 0,64 ^a	27,66 ± 0,54 ^b
Cinzas	5,71 ± 0,06 ^b	6,18 ± 0,08 ^a	6,30 ± 0,21 ^a	6,38 ± 0,31 ^a
Umidade	38,12 ± 0,12 ^a	33,18 ± 0,38 ^c	32,24 ± 0,35 ^c	34,76 ± 0,78 ^b

Média ± desvio padrão; Médias (n = 9) na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). Tratamentos: CONTROLE: Sem fosfato; BRS450: 35–45 % polifosfato de sódio, 35–45 % tripolifosfato de sódio e 10–20 % pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % hexametáfosfato de sódio, 25–35% tripolifosfato de sódio e 25–35 % pirofosfato ácido de sódio; TRS78: 90–99 % pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % polifosfato de sódio.

Embora quantidades semelhantes de fontes de proteína tenham sido adicionadas a todas as formulações, a diferença observada entre os tratamentos ($P < 0,05$) provavelmente foi decorrente da variação no teor de umidade das amostras (Tabela 2). Teores de proteína variando de 24,92 a 31,22 % (com teores de umidade de 45,09 e 34,51 %, respectivamente) também foram observados por Ozaki et al. ⁽¹⁵⁾, que investigaram o uso de pós vegetais como potenciais substitutos do nitrito em linguiças fermentadas secas e relataram que a perda de água afetou a concentração de outros componentes, como proteína, ao final do período de maturação. Quanto

ao teor de cinzas, foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) entre o CONTROLE e os demais tratamentos, com valores mais elevados para BRS450, BRS460 e TRS78, possivelmente devido à alteração do conteúdo mineral pela adição de fosfatos, que apresentam maiores níveis de sódio e fósforo em sua composição.

3.2 Propriedades físico-químicas e textura

O teor de umidade (Tabela 2) de todos os tratamentos diminuiu durante o período de maturação, devido ao efeito de desidratação que ocorre em produtos cárneos fermentados secos⁽⁸⁾. Uma redução mais pronunciada foi observada para as amostras contendo fosfato (16,58, 13,57, e 13,10 % para BRS450, TRS78 e BRS460, respectivamente), quando comparadas ao CONTROLE (11,82 %) do dia 1 ao dia 4, demonstrando que a incorporação de fosfatos acelerou a perda de água no início da maturação. Comportamento semelhante foi observado para BRS450 e BRS460 a partir do dia 4, os quais apresentaram teores de umidade semelhantes ($P < 0,05$) ao final do período de maturação (dia 16). O tratamento TRS78 apresentou maior redução no teor de umidade quando comparado ao CONTROLE; entretanto, essa redução não foi expressiva quando comparada aos tratamentos BRS450 e BRS460.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas (umidade, pH e aw) de salames com adição de misturas de fosfatos durante 16 dias de maturação.

Parâmetros	Dias	Tratamentos			
		CONTROLE	BRS450	BRS460	TRS78
Umidade (%)	1	58,71 ± 0,63 ^{aA}	58,80 ± 0,09 ^{aA}	56,57 ± 0,19 ^{aC}	57,49 ± 0,17 ^{aB}
	4	51,77 ± 0,19 ^{bA}	49,05 ± 0,38 ^{bB}	49,16 ± 0,36 ^{bB}	49,69 ± 0,71 ^{bB}
	7	48,48 ± 0,34 ^{cA}	44,05 ± 0,07 ^{cC}	43,75 ± 0,02 ^{cC}	44,56 ± 0,11 ^{cB}
	10	44,51 ± 0,19 ^{dA}	41,84 ± 0,62 ^{dB}	38,85 ± 0,31 ^{dC}	43,56 ± 0,21 ^{cA}
	13	39,19 ± 0,39 ^{eA}	34,14 ± 0,12 ^{eB}	34,16 ± 0,25 ^{eB}	34,13 ± 0,86 ^{dB}
	16	38,12 ± 0,12 ^{fA}	33,18 ± 0,38 ^{fC}	32,24 ± 0,35 ^{fC}	34,76 ± 0,78 ^{dB}
pH	1	5,84 ± 0,03 ^{aA}	5,85 ± 0,03 ^{aA}	5,81 ± 0,03 ^{aA}	5,79 ± 0,03 ^{aA}
	4	5,43 ± 0,02 ^{bC}	5,47 ± 0,01 ^{bB}	5,54 ± 0,01 ^{bA}	5,44 ± 0,01 ^{bBC}
	7	5,35 ± 0,01 ^{cC}	5,41 ± 0,02 ^{cA}	5,39 ± 0,02 ^{cAB}	5,37 ± 0,01 ^{cBC}
	10	5,34 ± 0,01 ^{cA}	5,35 ± 0,03 ^{dA}	5,34 ± 0,03 ^{cA}	5,35 ± 0,01 ^{cA}
	13	5,33 ± 0,01 ^{cB}	5,39 ± 0,03 ^{cdA}	5,37 ± 0,02 ^{cAB}	5,38 ± 0,01 ^{cA}
	16	5,28 ± 0,03 ^{dB}	5,30 ± 0,01 ^{eB}	5,36 ± 0,01 ^{cA}	5,28 ± 0,02 ^{dB}
a _w	1	0,937 ± 0,005 ^{aA}	0,939 ± 0,008 ^{aA}	0,938 ± 0,006 ^{aA}	0,937 ± 0,009 ^{aA}
	4	0,925 ± 0,010 ^{abA}	0,921 ± 0,011 ^{abA}	0,919 ± 0,013 ^{abA}	0,925 ± 0,013 ^{abA}
	7	0,917 ± 0,002 ^{bA}	0,906 ± 0,009 ^{bcA}	0,908 ± 0,010 ^{bcA}	0,919 ± 0,009 ^{abA}
	10	0,909 ± 0,009 ^{bcA}	0,895 ± 0,005 ^{cdAB}	0,888 ± 0,003 ^{cdB}	0,909 ± 0,003 ^{ba}
	13	0,893 ± 0,006 ^{cdA}	0,885 ± 0,004 ^{dA}	0,868 ± 0,008 ^{deB}	0,867 ± 0,007 ^{cB}
	16	0,884 ± 0,003 ^{dA}	0,857 ± 0,006 ^{eB}	0,850 ± 0,011 ^{eB}	0,850 ± 0,011 ^{cB}

Média ± desvio padrão; Médias (n = 9) na mesma linha, seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$) entre os diferentes tratamentos no mesmo tempo de maturação; Médias (n = 9) na mesma coluna, seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos de maturação; CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; e TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

Fonseca et al. ⁽⁸⁾ relataram que a adição de fosfatos em formulações de *salchichón* resultou em menores teores de umidade, provavelmente devido às interações fosfato-proteína. Efeitos semelhantes foram observados por Huang et al. ⁽¹⁶⁾ e Lee et al. ⁽¹⁷⁾, que utilizaram fosfatos em produtos cárneos processados submetidos a baixas temperaturas, como as aplicadas no presente estudo. As interações entre proteínas miofibrilares são alteradas na presença de fosfatos, levando à redução da capacidade dessas proteínas de se ligarem à água, o que facilita a migração e evaporação da água durante o processo de maturação ⁽¹⁸⁾.

As diferenças na redução da umidade podem estar relacionadas às distintas composições das misturas de fosfatos, particularmente ao comprimento da cadeia. Fosfatos com cadeias mais curtas apresentam maior afinidade pelas proteínas, favorecendo, assim, a perda de água ⁽¹⁹⁾. Dessa forma, a maior proporção de tripolifosfato de sódio nas misturas BRS450 e BRS460 pode explicar os menores teores de umidade observados nesses tratamentos ao final do processo de maturação (dia 16).

Em relação aos valores de pH (Tabela 2), foi observada uma redução mais acentuada do pH em todos os tratamentos entre os dias 1 e 4 de maturação, o que é característico do processo fermentativo ⁽²⁰⁾. Essa queda depende das condições de fermentação e está relacionada à atividade de bactérias ácido-láticas que produzem ácido lático por meio do metabolismo de carboidratos ⁽¹⁾.

Não foi observado efeito da adição de fosfatos sobre os valores iniciais de pH (dia 1), quando comparados ao CONTROLE ($P > 0,05$). Ao longo da maturação, a amostra CONTROLE e o tratamento TRS78 apresentaram redução mais rápida do pH ($P < 0,05$), enquanto as amostras BRS450 e BRS460 atingiram valores de pH semelhantes ao controle apenas após 10 dias de maturação. Esse comportamento observado para esses dois últimos tratamentos pode ser atribuído ao efeito tamponante dos fosfatos alcalinos presentes nessas misturas, como o tripolifosfato de sódio ⁽⁴⁾. Em contraste, o tratamento TRS78, que contém maior proporção de pirofosfato ácido de sódio, apresentou valores de pH mais baixos, refletindo o caráter ácido desse fosfato. É importante destacar que, neste estudo, ocorreu fermentação espontânea, uma vez que culturas starter não foram adicionadas, o que pode ter contribuído para uma queda mais lenta do pH durante o processo de maturação.

O processo fermentativo e a consequente redução do pH em produtos cárneos são responsáveis pela formação de diversos compostos que desempenham papéis importantes nas características sensoriais e tecnológicas do produto final, incluindo a segurança microbiológica ⁽¹⁾. Durante a fermentação e maturação, teores intermediários de sal e alterações físico-químicas podem promover modificações na matriz proteica, influenciando a retenção de água e o desenvolvimento da textura ^(21,22).

Foi observada redução gradual da atividade de água (Tabela 2) para todos os tratamentos durante o período de maturação. O sal desempenha papel fundamental em produtos cárneos curados ao reduzir a atividade de água por meio de efeitos de difusão e osmóticos ⁽²¹⁾. A incorporação de fosfatos reduziu os valores de a_w , sendo observadas diferenças significativas entre os tratamentos BRS450, BRS460 e TRS78 quando comparados ao CONTROLE ($P < 0,05$) ao final do período de maturação, o que pode estar associado ao maior teor de sódio dessas formulações ⁽²³⁾. Diferenças nos valores de a_w entre o CONTROLE e as amostras contendo fosfato tornaram-se evidentes a partir do dia 10 de maturação, e os menores valores de a_w foram observados nos tratamentos com fosfato no dia 16 ($P < 0,05$).

Considerando os efeitos combinados da redução do pH e da diminuição da atividade de água durante a maturação, essas alterações físico-químicas desempenham papel crucial na estabilidade microbiológica e na qualidade sensorial das linguças fermentadas secas. Valores mais baixos de pH associados à redução de a_w inibem o crescimento de microrganismos indesejáveis, aumentando, assim, a segurança do produto ⁽²⁴⁾. Além da estabilidade microbiológica, variações no pH e na a_w também influenciam atributos tecnológicos e sensoriais, particularmente o desenvolvimento da textura e a aceitação global pelo consumidor, uma vez que a disponibilidade de água e a acidificação afetam diretamente a firmeza e a percepção de sabor ao longo do processo de maturação ⁽²⁵⁾.

A perda de massa (Figura 1) é esperada durante o processo de maturação devido à evaporação da água, com redução gradual do teor de umidade das amostras. Ao final do período de maturação, a maior perda de massa foi observada para os tratamentos BRS460 e BRS450, com valores de 57,04 e 52,35 %, respectivamente, quando comparados ao CONTROLE (45,73 %). Esses resultados são decorrentes da maior facilidade de perda de água das formulações contendo fosfato, conforme discutido anteriormente na análise de umidade.

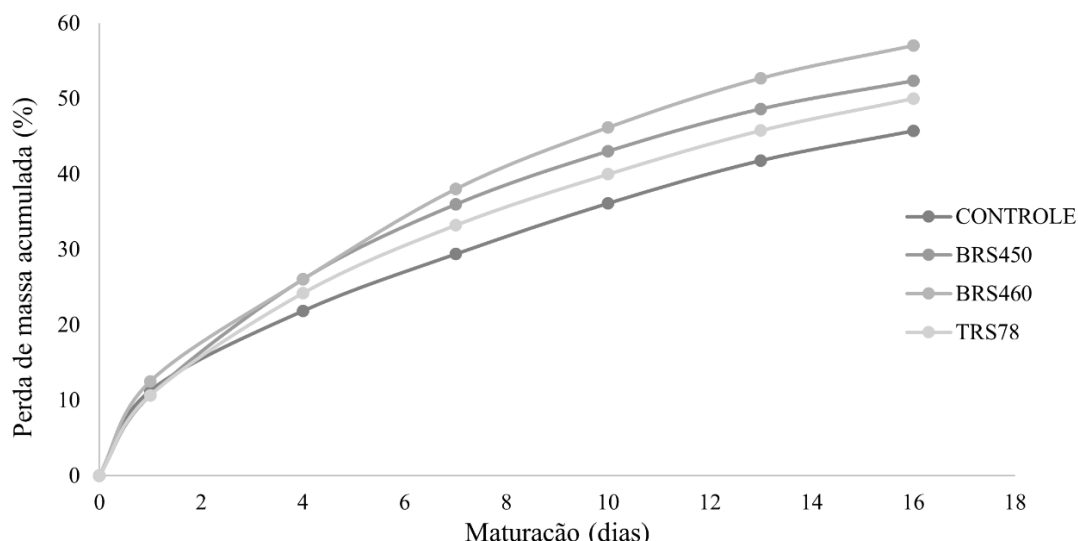


Figura 1. Perda de massa acumulada (%) de salames com adição de misturas de fosfatos durante a maturação. CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; e TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

Os resultados da análise de oxidação lipídica (Figura 2) demonstraram aumento gradual dos valores de TBARS, independentemente da mistura de fosfato utilizada, embora os valores tenham sido significativamente menores ($P < 0,05$) para as amostras contendo fosfato quando comparadas ao CONTROLE, ao final do período de maturação (dia 16). Ao final da maturação, o tratamento TRS78 apresentou os menores valores de TBARS, seguido por BRS450 e BRS460, corroborando a afirmação de que fosfatos de cadeias mais curtas são menos eficazes no controle da oxidação lipídica ^(26,27).

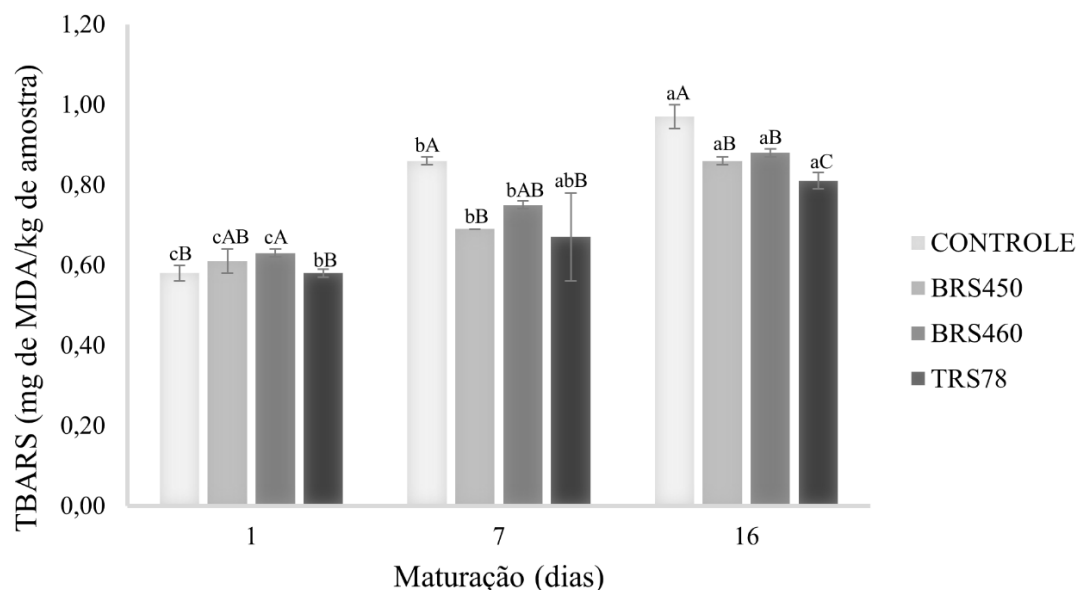


Figura 2. Oxidação lipídica (TBARS) de salames com adição de diferentes misturas de fosfatos nos dias 1, 7 e 16 de maturação. Médias ($n = 9$) seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos de maturação; Médias ($n = 9$) seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P > 0,05$) entre os diferentes tratamentos no mesmo tempo de maturação; CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; e TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

A quantidade de malonaldeído formada durante o processo resultou em valores de TBARS inferiores a 2,0 mg MDA/kg para todos os tratamentos, nível considerado máximo para ausência de detecção sensorial de oxidação lipídica ⁽¹⁾. Esse achado é corroborado pela avaliação sensorial do atributo sabor (Tabela 5), que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($P > 0,05$).

Os tratamentos contendo fosfato apresentaram maiores valores de dureza e mastigabilidade ($P < 0,05$) (Tabela 3), provavelmente devido às maiores perdas de massa (água) durante a secagem (Figura 1). O tratamento BRS460 apresentou maior dureza quando comparado às demais amostras, seguido por BRS450, TRS78 e CONTROLE. Consequentemente, os menores valores de umidade também foram observados nessas amostras, na mesma ordem (BRS460 < BRS450 < TRS78 < CONTROLE), ao final dos 16 dias de maturação. Fonseca et al. ⁽⁸⁾ relataram valores inferiores aos observados no presente estudo, com diferenças entre os grupos com adição de fosfato, que apresentaram maiores valores de dureza quando comparados ao CONTROLE.

Tabela 3. Análise de perfil de textura e tensão de cisalhamento de salames com adição de misturas de fosfatos no dia 16 de maturação.

Parâmetros	Tratamentos			
	CONTROLE	BRS450	BRS460	TRS78
Dureza (N)	58,46 ± 0,08 ^d	197,93 ± 0,03 ^b	249,70 ± 0,17 ^a	166,18 ± 0,76 ^c
Adesividade (mJ)	1,02 ± 0,05 ^a	1,04 ± 0,01 ^a	0,91 ± 0,03 ^b	1,03 ± <0,01 ^a
Coesividade	0,27 ± 0,01 ^b	0,46 ± 0,01 ^a	0,46 ± 0,01 ^a	0,45 ± <0,01 ^a
Mastigabilidade (mJ)	99,38 ± 0,50 ^d	633,06 ± 0,74 ^b	809,39 ± 0,76 ^a	505,25 ± 2,83 ^c
Tensão de cisalhamento (N)	242,98 ± 0,33 ^d	360,87 ± 1,46 ^a	354,49 ± 0,49 ^b	305,61 ± 0,31 ^c

Média ± desvio padrão; Médias (n = 9) na mesma linha seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P > 0,05). CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

Menor adesividade foi observada para BRS460 (P < 0,05) (Tabela 3). Conforme relatado por Herrero et al. ⁽²⁸⁾, o pH desempenha papel significativo na adesividade, o que pode explicar os resultados do presente estudo, uma vez que esse tratamento apresentou maior valor de pH no dia 16 de maturação (Tabela 2). Por sua vez, a adição de fosfatos aumentou a coesividade (P < 0,05). Resultados semelhantes também foram observados por outros autores em *salchichón* e *chorizo* com a adição de misturas de fosfatos ⁽⁸⁾.

O tratamento BRS450 apresentou maior tensão de cisalhamento, enquanto menor valor foi observado para o CONTROLE (P < 0,05). Durante a secagem de produtos cárneos, a perda de água leva à retração do produto, o que pode promover agregação proteica e formação de uma rede proteica mais organizada, contribuindo para aumento da firmeza e fatiabilidade ⁽²⁹⁾. Esse fenômeno foi evidente nos tratamentos BRS450 e BRS460, que apresentaram maior perda de água.

3.3 Contagens microbiológicas do salame

A fermentação de linguiças secas, como as linguiças fermentadas secas, confere firmeza, cor e sabor ao produto devido a interações químicas e físicas complexas associadas à multiplicação da microbiota presente na massa cárnea ⁽³⁰⁾.

Em relação às contagens de bactérias aeróbias mesófilas (Tabela 4), observou-se aumento no número de células durante os 16 dias de maturação (P < 0,05) para todos os tratamentos, conforme também relatado por Li et al. ⁽³¹⁾. A multiplicação de microrganismos mesófilos é esperada durante a maturação do salame, principalmente de bactérias ácido-láticas, que são responsáveis pelo processo fermentativo das linguiças secas ⁽¹⁾.

Tabela 4. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas de salames (log UFC/g) com adição de misturas de fosfatos nos dias 1 e 16 de maturação.

Parâmetros (log UFC/g)	Dias	Tratamentos			
		CONTROLE	BRS450	BRS460	TRS78
Bactérias aeróbias	1	5,87 ± 0,01 ^{ba}	5,42 ± 0,06 ^{bc}	5,73 ± 0,04 ^{bb}	5,34 ± 0,02 ^{bc}
mesófilas	16	6,58 ± 0,04 ^{aA}	5,95 ± 0,01 ^{aB}	5,96 ± 0,02 ^{aB}	5,82 ± 0,05 ^{aC}

Média ± desvio padrão; Médias (n = 9) na mesma linha seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P > 0,05) entre os diferentes tratamentos no mesmo tempo de maturação; Médias (n = 9) na mesma coluna seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P > 0,05) para o mesmo tratamento nos diferentes tempos de maturação. CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

Contagens mais elevadas de bactérias aeróbias mesófilas foram observadas no tratamento CONTROLE (P < 0,05) ao longo dos 16 dias de maturação, indicando que os fosfatos foram capazes de inibir a multiplicação de microrganismos mesófilos, sugerindo que a presença de fosfatos pode estar associada à redução da proliferação desses microrganismos. Entretanto, as bactérias fermentativas não parecem ter sido negativamente afetadas, uma vez que reduções de pH comparáveis foram observadas entre os tratamentos. A qualidade microbiológica do salame é geralmente assegurada por fatores intrínsecos, como valores de pH inferiores a 5,3, teor de umidade reduzido e atividade de água inferior a 0,92, os quais, em conjunto, contribuem para limitar o crescimento de microrganismos indesejáveis, incluindo patógenos ⁽²⁰⁾.

Em relação à presença de *Salmonella* spp., *Escherichia coli* e à contagem de estafilococos coagulase-positivos, todos os salames atenderam aos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161 ⁽³²⁾, que determina ausência, valores inferiores a 10² UFC/g e valores inferiores a 10 UFC/g, respectivamente. Dessa forma, todos os tratamentos foram considerados aptos para a avaliação sensorial quanto aos aspectos de segurança.

3.4 Avaliação sensorial

Não foram observadas diferenças significativas para os atributos cor, aparência, aroma e sabor entre os tratamentos (P > 0,05) (Tabela 5), portanto, a adição de misturas de fosfatos não foi percebida pelos avaliadores nesses atributos.

Tabela 5. Atributos sensoriais de salames com adição de misturas de fosfatos.

Atributo	Tratamento			
	CONTROLE	BRS450	BRS460	TRS78
Cor	8,08 ± 0,85 ^a	7,70 ± 1,28 ^a	8,06 ± 0,89 ^a	7,82 ± 1,08 ^a
Aparência	8,20 ± 0,93 ^a	7,83 ± 1,21 ^a	8,08 ± 0,85 ^a	7,82 ± 1,10 ^a
Aroma	8,10 ± 0,99 ^a	8,02 ± 0,96 ^a	7,90 ± 1,13 ^a	7,74 ± 1,07 ^a
Sabor	8,06 ± 1,33 ^a	7,86 ± 1,18 ^a	7,70 ± 1,27 ^a	7,78 ± 1,20 ^a
Textura	8,24 ± 1,06 ^a	7,54 ± 1,20 ^b	7,42 ± 1,33 ^b	7,66 ± 1,29 ^{ab}
Impressão global	8,26 ± 1,01 ^a	7,62 ± 1,24 ^b	7,72 ± 0,99 ^{ab}	7,58 ± 1,05 ^b

Média ± desvio padrão; Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P > 0,05) entre os diferentes tratamentos no mesmo tempo de maturação. CONTROLE: sem fosfato; BRS450: 35–45 % de polifosfato de sódio, 35–45 % de tripolifosfato de sódio e 10–20 % de pirofosfato ácido de sódio; BRS460: 30–40 % de hexametáfosfato de sódio, 25–35 % de tripolifosfato de sódio e 25–35 % de pirofosfato ácido de sódio; TRS78: 90–99 % de pirofosfato ácido de sódio e 1–10 % de polifosfato de sódio.

Em relação à textura e à aceitação global, o tratamento CONTROLE apresentou os maiores valores, sem diferir de TRS78 e BRS460. Da mesma forma, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos contendo fosfato para esses dois atributos ($P > 0,05$). Os menores escores sensoriais observados nas amostras contendo fosfato podem estar associados aos seus maiores valores de dureza, conforme demonstrado na Tabela 3. Essa relação sugere que o aumento da dureza esteve negativamente associado à percepção de textura e, consequentemente, à aceitação global. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram elevados escores sensoriais (> 7), indicando que a inclusão de misturas de fosfatos nas formulações de salame é viável e não afeta negativamente a aceitação pelo consumidor ou a qualidade sensorial global dos produtos.

4. Conclusão

Os resultados do presente estudo indicam que as misturas de fosfatos podem ser utilizadas como estratégia tecnológica para promover maturação mais rápida do salame ao longo de 16 dias. A adição de fosfatos parece ter influenciado as interações proteína-água, levando a maior perda de umidade e redução da atividade de água, o que contribuiu para um processo de maturação acelerado. Entre as misturas de fosfatos avaliadas, BRS450 e BRS460 demonstraram maior potencial tecnológico, uma vez que promoveram secagem mais rápida, mantendo a oxidação lipídica dentro de limites aceitáveis e preservando aceitação sensorial satisfatória. Entretanto, esses tratamentos apresentaram redução de pH menos pronunciada, destacando a importância de avaliar futuramente o uso de culturas starter e suas interações com misturas de fosfatos, a fim de assegurar a acidificação adequada. O tempo de maturação desempenha papel fundamental na determinação da qualidade do salame. Portanto, o uso de compostos capazes de acelerar esse processo, mantendo as características do produto, pode contribuir para redução do tempo de armazenamento, representando potencial vantagem econômica, uma vez que a maturação está associada a custos significativos de tempo e energia na produção de produtos cárneos maturados. Para estudos futuros, recomenda-se uma compreensão mais aprofundada do comportamento químico dos fosfatos durante a maturação do salame. Isso pode ser alcançado por meio da aplicação de técnicas analíticas, como espectroscopia e microscopia, bem como estudos cinéticos, a fim de elucidar de forma mais detalhada as interações dos fosfatos na matriz cárnea.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto completo de dados que apoia os resultados deste estudo está disponível mediante solicitação à autora correspondente.

Contribuições do autor

Conceitualização: Amaral, A. M. P., Sehn, G. A. R., Cavalheiro, D.; Investigação: Amaral, A. M. P., Mohr, E., Gazoni, I., Bugs, C. C., Maia, É. P.; Metodologia: Amaral, A. M. P., Mohr, E., Moroni, L. S., Rigo, E., Sehn, G. A. R., Cavalheiro, D.; Análise formal: Amaral, A. M. P., Mohr, E., Gazoni, I., Bugs, C. C., Maia, É. P.; Curadoria de dados: Amaral, A. M. P.; Validação: Amaral, A. M. P., Mohr, E., Gazoni, I., Bugs, C. C., Maia, É. P.; Supervisão: Sehn, G. A. R., Cavalheiro, D.; Redação (rascunho original): Amaral, A. M. P., Mohr, E., Sehn, G. A. R., Cavalheiro, D.; Redação (revisão e edição): Amaral, A. M. P., Bettanin, L., Sehn, G. A. R., Cavalheiro, D.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Agradecimentos

Os autores agradecem à ICL Aditivos e Ingredientes LTDA e à Embutidos Lamb.

Referências

1. Bis-Souza CV, Penna ALB, da Silva Barretto AC. Applicability of potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. Meat Sci. 2020;168:108186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108186>
2. Mohamed HMM, Burroughs S, Emch AW, Waite-Cusic J. Enhancing the reduction of *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* during traditional salami processing by adding a finishing phase. Food Control. 2022;131:108432. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108432>
3. Tabanelli G, Barbieri F, Soglia F, Magnani R, Gardini G, Petracci M, et al. Safety and technological issues of dry fermented sausages produced without nitrate and nitrite. Food Res Int. 2022;160:111685. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111685>
4. Thangavelu KP, Kerry JP, Tiwari BK, McDonnell CK. Novel processing technologies and ingredient strategies for the reduction of phosphate additives in processed meat. Trends Food Sci. Technol. 2019; 94:43–53. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.001>
5. Long NHBS, Gál R, Buňka F. Use of phosphates in meat products. Afr. J. Biotechnol. 2011;10:19874–19882. <https://doi.org/10.5897/AJBX11.023>
6. Pinton MB, Correa LP, Facchi MMX, Heck RT, Leães YSV, Cichoski AJ, et al. Ultrasound: A new approach to reduce phosphate content of meat emulsions. Meat Sci. 2019;152:88–95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.02.010>
7. Cao C, Yuan D, Li X, Kong B, Chen Q, Sun F, et al. Reduction of phosphate content in frankfurters by up to 50% using micronized cold-pressed sesame seed cake. Meat Sci. 2022;185:108708. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108708>
8. Fonseca B, Kuri V, Zumalacárregui JM, Fernández-Diez A, Salvá BK, Caro I, et al. Effect of the use of a commercial phosphate mixture on selected quality characteristics of 2 Spanish-style dry-ripened sausages. J Food Sci. 2011;76(5):S300–S305. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02199.x>
9. de Lima Alves L, Stefanello da Silva M, Martins Flores DR, Rodrigues Athayde D, Roggia Ruviaro A, da Silva Brum D, et al. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. Food Res Int. 2018;106:363–373. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.074>
10. AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists; 2016.
11. Jo C, Ahn DU. Fluorometric analysis of 2-thiobarbituric acid reactive substances in turkey. Poult Sci. 1998;77(3):475–480. <https://doi.org/10.1093/ps/77.3.475>
12. Matos RA, Menezes CM, Ramos EM, Ramos ADLS, Gomide LADM. Efeito do tipo de fermentação na qualidade final de embutidos fermentados cozidos elaborados à base de carne ovina. Bol Cent Pesqui Process Alim. 2007;25(2). <https://doi.org/10.5380/cep.v25i2.10610>
13. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 30, de 26 de junho de 2018. Estabelece como oficiais os métodos constantes do Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal. [Internet]. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=gravarAtoPDF&tipo=INM&numeroAto=00000030&seqAto=000&valorAno=2018&orgao=GM/MAPA&codTipo=&desItem=&desItemFim>
14. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 22, de 31 de julho de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Copa, de Presunto tipo Parma, de Presunto Cru, de Salame, de Salaminho, de Salame tipo Alemão, de Salame tipo Calabrês, de Salame tipo Friolano, de Salame tipo Napolitano, de Salame tipo Hamburguês, de Salame tipo Italiano, de Salame tipo Milano, de Linguíça Colonial e Pepperoni. [Internet]. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=gravarAtoPDF&tipo=INM&numeroAto=00000022&seqAto=000&valorAno=2000&orgao=SDA/MAA&codTipo=&desItem=&desItemFim>
15. Ozaki MM, Munekata PES, Jacinto-Valderrama RA, Efraim P, Pateiro M, Lorenzo JM, et al. Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. Meat Sci. 2021;171:108275. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108275>
16. Huang J, Bakry AM, Zeng S, Xiong S, Yin T, You J, et al. Effect of phosphates on gelling characteristics and water mobility of myofibrillar protein from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). Food Chem. 2019;272:84–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.028>

17. Lee J, Park HW, Jenkins R, Yoon WBB, Park JW. Image and chemical analyses of freezing-induced aggregates of fish natural actomyosin as affected by various phosphate compounds. Food Biosci. 2017;19:57–64. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.007>
18. Jia D, Huang Q, Xiong S. Chemical interactions and gel properties of black carp actomyosin affected by MTGase and their relationships. Food Chem. 2016;196:1180–1187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.030>
19. Hu Y, Zhang L, Yi Y, Solangi I, Zan L, Zhu J. Effects of sodium hexametaphosphate, sodium tripolyphosphate and sodium pyrophosphate on the ultrastructure of beef myofibrillar proteins investigated with atomic force microscopy. Food Chem. 2021;338:128146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128146>
20. Vedovatto E, Steffens C, Cansian RL, Backes GT, Verlindo R. Evaluation of different starters cultures in the obtention of Italian-type sausage. Cienc Anim Bras. 2019;20:e47777. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v20e-47777>
21. Delgado-Pando G, Fischer E, Allen P, Kerry JP, O'Sullivan MG, Hamill RM. Salt content and minimum acceptable levels in whole-muscle cured meat products. Meat Sci. 2018;139:179–186. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.025>
22. De Prados M, García-Pérez JV, Benedito J. Non-destructive salt content prediction in brined pork meat using ultrasound technology. J Food Eng. 2015;154:39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.12.024>
23. Nguyen MV, Arason S, Thorarinsdottir KA, Thorkelsson G, Gudmundsdóttir A. Influence of salt concentration on the salting kinetics of cod loin (*Gadus morhua*) during brine salting. J Food Eng. 2010;100:225–231. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.003>
24. Martín-Miguélez JM, Olegario LS, González-Mohino A, Ventanas S, Delgado J. Physicochemical, sensory, and safety evaluation of dry-cured fermented sausages and their plant-based analogs. LWT–Food Sci. Technol. 2024;208:116704. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116704>
25. Susilo A, Widyastuti ES, Evanuarini H, Apriliyani MW. Comparison of the quality of fermented sausages with the use of yogurt starter and *Lactobacillus plantarum* (pH, aw, and proximate values). J. Penelit. Pendidik. IPA. 2023;9(5):2319–2324. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.2463>
26. Molina RE, Bohrer BM, Mejia SMV. Phosphate alternatives for meat processing and challenges for the industry: A critical review. Food Res Int. 2023;166:112624. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112624>
27. Kim YJ, Kim TK, Yun HJ, Kim J, Cha JY, Lee JH, et al. Effects of grafted myofibrillar protein as a phosphate replacer in brined pork loin. Meat Sci. 2023;199:109142. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109142>
28. Herrero AM, Ordóñez JA, de Avila R, Herranz B, de la Hoz L, Cambero MI. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. Meat Sci. 2007;77:331–338. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.022>
29. González-Fernández C, Santos EM, Rovira J, Jaime I. The effect of sugar concentration and starter culture on instrumental and sensory textural properties of chorizo-Spanish dry-cured sausage. Meat Sci. 2006;74:46–475. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.019>
30. Zhang Y, Zheng S, Huang D, Xu B. Shaping microbial communities and flavor profiles: Effects of native *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus piscifermentans* starter cultures in Chinese dry-fermented sausages. Food Res Int. 2026;226:118237. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.118237>
31. Li D, Du Y, Su L, Lin Y, Zheng J, Toldrá F, Zhu C, Du M, Liu Y, Chen J. Evaluation of the lipolytic and antioxidant activities of different strains of coagulase-negative staphylococci in fermented sausages. Meat Sci. 2025;230:109932. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2025.109932>
32. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 161, de 1 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. [Internet]. Disponível em: <https://anvisa.gov.br/legis/comunicacao/in/in-161-2022>