



Recebido: 23/11/2023 | Revisado: 30/01/2024 | Aceito: 20/05/2025 | Publicado: 01/06/2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v13i3.807

Emulsão gel de óleo de abacate com proteína do soro do leite e diferentes hidrocolóides

Avocado oil emulsion gels with whey protein and different hydrocolloids

GONÇALVES, Bruna Néria Azevedo. Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba-Diamantina -MG-Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99209.0706 / E-mail: bruna.azevedo@ufvjm.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3470-7026>

SILVA, Karina Vila Verde. Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba-Diamantina -MG-Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99819.7613/ E-mail: karina.vila@ufvjm.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0138-3723>

OLIVEIRA, Larissa Costa de. Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba-Diamantina -MG-Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 98805.4404 / E-mail: oliveira.larissa@ufvjm.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1107-1624>

SCHMIELE, Marcio. Doutor em Tecnologia de Alimentos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba-Diamantina -MG-Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) (38) 98803.7758 / E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1710>

ANDRADE, Monalisa Pereira Dutra. Doutora em Ciência dos Alimentos

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba-Diamantina -MG-Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99743.4339 / E-mail: monalisadutra@ict.ufvjm.edu.br / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5977-3716>

RESUMO

O óleo de abacate possui ácidos graxos insaturados e características neutras, assim como o azeite de oliva, mas seu elevado ponto de fusão dificulta sua aplicação no desenvolvimento de produtos cárneos emulsionados com melhor perfil lipídico. Uma alternativa para o seu uso na formulação desses produtos é a técnica de emulsão gel, transformando-o de líquido em sólido macio, o que proporciona textura semelhante a gordura animal e estabilização da emulsão. Desse modo, objetivou-se avaliar emulsões géisificadas de óleo de abacate com diferentes concentrações de gomas xantana, guar e carboximetilcelulose. Foram analisadas propriedades de textura instrumental, cor, pH, atividade de água, estabilidade da emulsão e estrutura (MEV). A goma xantana não demonstrou potencial de aplicação como substituto de gordura por ter proporcionado emulsões géis de óleo de abacate com baixa dureza e alta adesividade. A associação entre a carboximetilcelulose e a goma guar resultou em uma emulsão gel de óleo de abacate firme, com baixa adesividade, elástica e resiliente. A emulsão gel de óleo de abacate formulada com 85% (2,55 g) de carboximetilcelulose e 15% (0,45 g) de goma guar demonstrou características necessárias para aplicação como substituto de toucinho em produtos cárneos emulsionados.

Palavras-chave: Perfil lipídico, Produto cárneo emulsionado, Textura; Cor; Estabilidade.



ABSTRACT

Avocado oil has unsaturated fatty acids and neutral characteristics, similar to olive oil. Still, its high melting point makes its application difficult in developing emulsified meat products with a better lipid profile. An alternative for its use in the formulation of these products is the gel emulsion technique, transforming it from a liquid into a soft solid, which provides a texture similar to animal fat and emulsion stabilization. Thus, the objective was to evaluate gelled emulsions of avocado oil with different concentrations of xanthan, guar and carboxymethylcellulose gums. Instrumental texture properties, color, pH, water activity, emulsion stability and structure (SEM) were analyzed.

Xanthan gum did not show potential application as a fat substitute because it provided avocado oil gel emulsions with low hardness and high adhesiveness. On the other hand, the association between carboxymethylcellulose and guar gum resulted in a firm avocado oil gel emulsion with low adhesiveness, elasticity and resilience. The avocado oil gel emulsion formulated with 85% (2.55 g) of carboxymethylcellulose and 15% (0.45 g) of guar gum demonstrated the necessary characteristics for application as a substitute for backfat in emulsified meat products.

Keywords: Avocado oil, Gel emulsion, Hydrocolloids, Meat products.



Introdução

Nos produtos cárneos emulsionados, a gordura animal é, geralmente, adicionada em até 30% e tem funções importantes, principalmente, na estabilização das emulsões, proporcionando sabor, aumentando a Capacidade de Retenção de Água (CRA), a suculência e o rendimento após cozimento, e melhorando a textura (Choi *et al.*, 2019). No entanto, essa porção lipídica é composta, majoritariamente, por ácidos graxos saturados (AGS), cujo elevado consumo pode contribuir para o aumento do risco de ocorrência de doenças metabólicas, aumento do colesterol e pressão arterial, obesidade, doenças coronarianas, diabetes podendo afetar ainda o funcionamento do intestino pela alteração da microbiota intestinal (Deng *et al.*, 2021; Öztürk-Kerimoğlu *et al.*, 2021). Desse modo, desenvolver alternativas para a redução e, ou substituição de gordura saturada em produtos cárneos emulsionados é necessário para atender a demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis.

A substituição da gordura animal por óleos vegetais, ricos em ácidos graxos insaturados (AGI), tem sido considerada para o desenvolvimento de produtos cárneos mais saudáveis (Alejandre *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020; Stangierski *et al.*, 2020), pois, além de reduzir AGS, aumentaria AGI, que quando consumidos adequadamente podem proporcionar benefícios à saúde, auxiliando na prevenção do câncer e controle do colesterol, pressão arterial e resistência à insulina (Paglarini *et al.*, 2018).

Por outro lado, a incorporação de óleos vegetais, normalmente líquidos à temperatura ambiente, em produtos cárneos emulsionados pode causar efeitos negativos nas características tecnológicas e sensoriais (Bolumar *et al.*, 2015), resultando em uma textura excessivamente macia e pegajosa, bem como estabilidade reduzida contra a quebra da emulsão e a oxidação (Falowo; Fayemi; Muchenje, 2014).

O uso de óleos vegetais deve ser realizado por meio de técnicas que mantenham as características tecnológicas e sensoriais adequadas dos produtos cárneos emulsionados (Falowo; Fayemi; Muchenje, 2014). Uma alternativa para o uso dos óleos vegetais na formulação desses produtos são as emulsões géis, formadas pela dispersão das gotículas emulsionadas em uma matriz de gel contínua ou por agregação das gotículas dispersas em um gel particulado por meio de emulsificantes, geralmente proteínas, associados a polissacarídeos, que auxiliam na estruturação



pela sua capacidade de reter água e formar géis estáveis (Dickinson; Casanova, 1999; Alves *et al.*, 2016; Mantelet *et al.*, 2019; Domínguez *et al.*, 2021). Desse modo, a emulsão óleo em água pode ser convertida de um líquido para um sólido macio pela formação do gel, o que contribui para a textura desejável (propriedades estruturais e comportamento físico semelhante a gordura animal) e estabilização da emulsão em produtos cárneos emulsionados (Dickinson, 2012; Dickinson 2013; Lingiard *et al.*, 2022).

Estudos de géis de emulsão compostos por óleo de abacate não foram encontrados na literatura. O óleo de abacate contém uma variedade de moléculas bioativas, vitaminas, antioxidantes, fitoesteróis e ácidos graxos insaturados, o que pode auxiliar na prevenção de doenças metabólicas com o controle da resistência à insulina, a redução do risco de câncer e da pressão arterial, e a manutenção do colesterol, reduzindo os níveis de Lipoproteína de baixa densidade (LDL). Além disso, ele já é utilizado em emulsões estáveis na indústria de cosméticos e possui características neutras, como o azeite de oliva, podendo interferir minimamente no sabor dos produtos cárneos (Berasategi *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2019). Portanto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver emulsões géis à base de óleo de abacate e hidrocolóides visando a substituição do toucinho em produtos cárneos emulsionados.

Material e métodos

Para avaliar a influência dos hidrocolóides na qualidade da emulsão gel de óleo de abacate foi realizado um planejamento de mistura do tipo *simplex-centróide*, composto pela mistura dos pseudo-componentes, componentes binários, componentes ternários e três repetições no ponto central, em partes iguais ($x_1 + x_2 + x_3 = 1$) (Reis; Andrade, 1996). As variáveis independentes foram os hidrocolóides: gomas xantana (x_1), goma guar (x_2) e carboximetilcelulose (x_3).

Os ingredientes, com exceção dos hidrocolóides, apresentaram concentração fixa em todas as amostras. A composição dos valores reais foi dada para 100g de emulsão, a fase dispersa composta por 50g de óleo de abacate, e a fase contínua constituída por 42g de água, 5g de proteína do soro do leite, e os hidrocolóides variando entre 0 a 3g na formulação dos géis (Tabela 1).

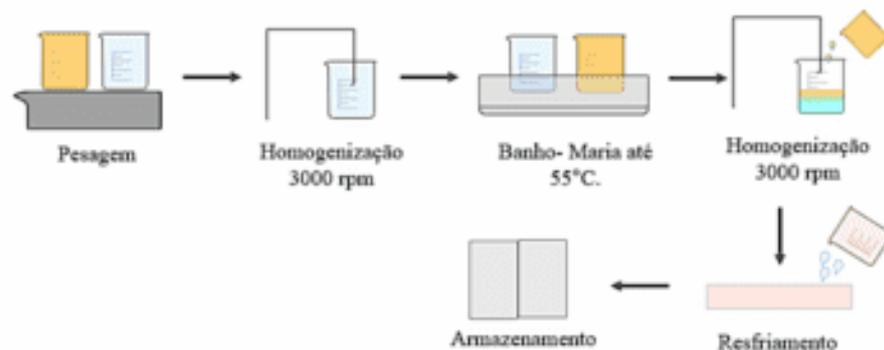
Tabela 1- Planejamento de misturas do tipo simplex-centróide para as emulsões gel.

Ensaio		Valores codificados			Valores reais (g)		
		x1	x2	x3	GX	GG	CMC
Pseudo-componentes	1	1	0	0	3	0	0
	2	0	1	0	0	3	0
	3	0	0	1	0	0	3
Componentes binários	4	0,5	0,5	0	1,5	1,5	0
	5	0,5	0	0,5	1,5	0	1,5
	6	0	0,5	0,5	0	1,5	1,5
Componentes ternários	7	0,6667	0,1667	0,1667	2	0,5	0,5
	8	0,1667	0,6667	0,1667	0,5	2	0,5
	9	0,1667	0,1667	0,6667	0,5	0,5	2
Pontos centrais	10	0,3333	0,3333	0,3333	1	1	1
	11	0,3333	0,3333	0,3333	1	1	1

GX: Goma Xantana; GG: Goma Guar; CMC: Carboximetilcelulose.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2022).

Os géis de emulsão foram preparados com óleo de abacate obtido comercialmente da marca Pазze, lote 800083-6 da linha Naturais Bio Gourmet. A fase contínua, composta por água, hidrocoloide e proteína do soro do leite (*Wey Protein*) da marca Probiótica, lote 03718, foi homogeneizada a 3.000 rpm por 1 minuto, em temperatura ambiente pelo homogeneizador TE-102 Turratec (Tecnal). Em seguida, a fase contínua e a fase dispersa (óleo de abacate) foram aquecidas, separadamente, em banho maria (80 °C) até atingirem uma temperatura de 55 °C. Então, incorporou-se as duas fases, com auxílio do homogeneizador na mesma rotação por aproximadamente 3 minutos, sendo o óleo de abacate vertido lentamente sobre a fase contínua mantendo a homogeneização até se formar um gel monofásico. Após embalados em recipientes retangulares de Policarbonato, e resfriados à temperatura ambiente, transferiu-se o gel para a incubadora *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) à temperatura de 4 °C até sua utilização, como ilustra a Figura 1 (Nacak *et al.*, 2021).

Figura 1- Etapas da elaboração do gel de emulsão

Fonte: Elaborado pelas autoras (2022).



As variáveis do planejamento de misturas foram obtidas através de análises instrumentais a partir dos parâmetros de interesse para o estudo. Avaliou-se o pH, atividade de água, a cor, a estabilidade da emulsão e análise do perfil de textura (TPA) da emulsão gel, já que estas características influenciam diretamente na qualidade do produto cárneo a qual será adicionado a emulsão gel.

O pH de uma mistura com 5 g de amostras e 50 mL de água destilada foi avaliado, em triplicata, em pHmetro digital, acoplado a um potenciômetro (KIM *et al.*, 2020). Já atividade de água foi avaliada, em triplicata, em um medidor de atividade de água modelo CX2 (DecagonDevices Inc).

A cor instrumental foi avaliada, em cinco replicatas, em colorímetro Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura de porta de 8 mm, iluminante A e ângulo de 10° para o observador, no modo de luz especular excluída (SCE) no sistema CIELAB - parâmetros luminosidade, índices de vermelho e de amarelo, saturação e tonalidade respectivamente, L*, a*, b*, C* e h; (Rodrigues *et al.*, 2020). Para estabilidade da emulsão foi adaptada metodologia de Santos *et al.*, (2020) em que 15 g de amostra foram pesadas (P_i) em tubo Falcon de 50 mL, que foram inseridos em banho maria com água a 80 °C por 30 minutos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2.500 rpm por 30 minutos. O exsudado liberado foi retirado com auxílio de uma pipeta de Pasteur e a amostra foi novamente pesada (P_f). A estabilidade da emulsão, expressa em porcentagem foi calculada a partir da diferença de peso de exsudado liberado ($P_i - P_f$).

O perfil de textura foi avaliado, em seis replicatas, com auxílio de texturômetro (*Stable micro System, TA.XT Express*) com sonda P-100, usando velocidade de pré-teste, teste, e pós-teste de, respectivamente, 1, 0,5 e 5 mm/s. Cilindros de emulsão gel, em temperatura ambiente (25°C), com 20 mm de altura e 30 mm de diâmetro foram submetidos a duas compressões uniaxiais sucessivas, ou seja sem intervalo entre elas, reduzindo em 30% sua altura original. Os parâmetros texturais determinados foram a dureza (N), elasticidade (%), coesividade (%), resiliência (%), gomosidade (N) e adesividade (N.s) (Santos *et al.*, 2020).

Por fim, a morfologia superficial da camada de gel, fixada em um suporte de amostra (*stub*), foi examinada usando um microscópio eletrônico de varredura Hiatachi, modelo TM3000 com tensão de aceleração de 15kV e ampliações de 500 e 1000 vezes (1kx).



As análises estatísticas foram realizadas nos *softwares Statistica 12* e *Designer Expert- DX6*, em nível de significância de 10%. Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) foi utilizada para analisar os efeitos (*b*) das variáveis independentes, os hidrocolóides gomas xantana (x_1), goma guar (x_2) e carboximetilcelulose (x_3), sobre as variáveis dependentes (*Y*) obtidas nas análises de calorimetria, pH, atividade de água, estabilidade da emulsão gel e perfil de textura.

As curvas da análise de superfície de resposta foram elaboradas por um modelo matemático preditivo (Equação 01) que estima a quantificação dos efeitos principais e da interação dos hidrocolóides, possibilitando ajustes dos componentes (Reis; Andrade, 1996). O coeficiente de regressão (R^2) mínimo da ANOVA de 75% foi adotado.

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (01)$$

O ponto ótimo foi determinado conforme metodologia proposta por Derringer e Suich (1980). A formulação do ponto ótimo encontrada pela desejabilidade foi reproduzida em laboratório, com três repetições. Para a validação, foram considerados os parâmetros que geraram modelo matemático preditivos, e comparados com os valores ótimos indicados pelo software Design-Expert, versão 6.0 a partir das análises estatísticas. Para caracterização, foi realizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Resultados e discussão

As análises realizadas neste estudo tiveram como objetivo principal avaliar o desempenho das emulsões géis em comparação com o toucinho, uma gordura animal, geralmente incluída em produtos cárneos. Essa comparação é fundamentada no fato de que as emulsões géis foram desenvolvidas como alternativa para a redução da utilização de gordura animal (toucinho) em mortadela, com a finalidade de encontrar a formulação ideal para essa aplicação específica.

O pH, a atividade de água, a estabilidade da emulsão (EE) e os índices de cor das emulsões géis (Figura 2) não obtiveram modelos matemáticos preditivos em função dos diferentes hidrocolóides ($R^2 < 0,75$ e $P > 0,10$).

Figura 2- Géis de emulsão de óleo de abacate, proteínas do soro de leite e diferentes composições de hidrocolóides

CMC: Carboximetilcelulose; GG: Goma Guar; GX: Goma Xantana.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

O pH médio das emulsões géis foi de $6,26 \pm 0,03$, variando entre $5,92 \pm 0,01$ e $6,48 \pm 0,03$, que foi ligeiramente mais ácido que o toucinho, cujo o pH médio foi próximo à neutralidade ($6,97 \pm 0,03$). A pouca variabilidade apresentada pelas diferentes formulações demonstra que todas as formulações têm potencial para substituição do toucinho. O aumento no pH em produtos cárneos pode ocasionar a aceleração da atividade oxidativa devido ao aumento das forças iônicas interferindo também na estabilidade dos géis (Wong et al., 2018). Entretanto, acredita-se que a variação de pH quando comparado ao toucinho não foi tão significativa a ponto de desencadear estes problemas nos produtos com substituição de gordura.

Os valores de pH do presente estudo estão próximo do mínimo da faixa de 5,81 a 8,14, encontrada por Plagarini (2018), em emulsões géis com inulina, carragenina e isolado da proteína de soja. Santos *et al.*, (2020) encontraram pH ligeiramente mais ácido, com faixa entre 5,50 a 5,75, em géis de óleo de soja e pele suína. A variação entre os valores de pH das emulsões géis observados na literatura, pode ser explicada pelas características individuais dos diferentes componentes utilizados em cada estudo.



A atividade de água (a_w) média das emulsões géis foi de $0,996 \pm 0,003$, variando entre $0,993 \pm 0,003$ e $0,999 \pm 0,003$, que é ligeiramente maior que aquela do toucinho, cujo a a_w média foi de $0,981 \pm 0,008$, valores de ambos são considerados elevados. O gel possui uma quantidade elevada de água não ligada na sua estrutura, sendo suscetível a contaminação e desenvolvimento de microrganismos, aumento na velocidade de reações enzimáticas e oxidativas, característica comum com os produtos à base de carne (Dala-Paula, 2021).

A estabilidade da emulsão é de extrema importância para manter as características e qualidade dos produtos ao longo da sua vida útil, assim a alta estabilidade da emulsão gel ajuda na estabilização de produtos cárneos emulsificados (Santos, 2020). Observando este parâmetro, todos os géis podem ser empregados como substituto de gordura nestes produtos, já que a estabilidade média das emulsões géis foi de $99,1 \pm 0,3\%$, variando entre $99,3 \pm 0,2$ e $98,8 \pm 0,6\%$.

Essa alta estabilidade pode ser explicada pela capacidade das proteínas de atuar como emulsificante, reduzindo a tensão óleo-água. O impedimento estérico e a interação eletrostática também auxiliam na estabilidade das emulsões (Guo et al., 2022). Os polissacarídeos formam um filme espesso adsorvido na fase O/A, se comportando como uma camada protetora, além de aumentar a viscosidade da fase contínua (Kowalska, 2015). A goma xantana apresenta efeito sinérgico quando associado a goma guar, aumentando a viscosidade e pseudoplasticidade, imobilizando as gotículas de gordura na fase contínua o que auxilia na estabilidade da emulsão, evitando floculação e coalescência (DAMODARAN; PARKIN, 2017). Em seu estudo Santos (2018), obteve estabilidade da emulsão em emulsões géis intermediárias a altas, entre 63,4% a 96,0%, variando com os diferentes tipos de carboidratos empregados, tais como fibra de bambu, α -ciclodextrina, inulina e polidextrose.

De maneira geral, a cor das emulsões géis, em relação ao toucinho, foi ligeiramente mais esverdeada ($a^* -1,33 \pm 0,11$) em vez de avermelhada (a^* do toucinho $2,77 \pm 0,26$), amarelada ($b^* 15,7 \pm 1,0$ e $h 94,89 \pm 0,47 > b^* 11,86 \pm 0,30$ e $h 76,85 \pm 2,42$ do toucinho), clara ($L^* 88,1 \pm 1,2 > 80,6 \pm 1,0$ do toucinho) e intensa ($C^* 15,7 \pm 1,1 > 12,2 \pm 0,3$ do toucinho). Isso pode ser explicado, principalmente, pela cor esverdeada do óleo de abacate e amarelada das proteínas do soro de leite, e pelo tamanho das gotículas de emulsão, reduzidos pela presença dos hidrocolóides,



o que acarreta em uma maior reflexão de luz (Kumar et al., 2021). As características de coloração da emulsão gel, e suas diferenças, quando comparadas ao toucinho, podem alterar a cor dos produtos cárneos provocando a diminuição dos valores de a^* , o que pode resultar na diminuição da vermelhidão característica, além de aumentar a luminosidade, característica de produtos mais claros.

Na análise de perfil de textura (TPA), a dureza (N), elasticidade (%), a coesividade (%), a resiliência (%), a gomosidade (N) e a adesividade (N.s) obtiveram modelos matemáticos preditivos em função da quantidade dos diferentes hidrocoloides ($R^2 > 0,75$ e $P < 0,10$). Como diferentes efeitos principais e de interação entre os hidrocoloides foram significativos ($P < 0,10$) para cada uma dessas características, optou-se por descrever as equações dos modelos simplificados (termos codificados), desconsiderando os efeitos não significativos ($P > 0,10$).

A dureza (Equação 02) das emulsões géis foi afetada ($P < 0,10$) pelas quantidades de goma xantana (x_1), goma guar (x_2) e a carboximetilcelulose (x_3) e pela interação entre x_2 e x_3 , explicando 79% da variação observada (R^2). A goma xantana (x_1) e goma guar (x_2) quando adicionadas sozinhas ou combinadas entre si apresentam dureza relativamente inferior ($< 2N$), do que quando associadas a carboximetilcelulose ($> 2,4N$). Maiores quantidades de carboximetilcelulose e goma guar aumentaram ($P < 0,10$) a dureza das emulsões géis, principalmente, em razão da associação entre elas (Figura 3a). Diante do objetivo de substituir um sólido (toucinho), dureza $2,89 \pm 0,30N$, por um semissólido (emulsão gel) visando manter as características do produto, o intuito é utilizar um gel de dureza elevada.

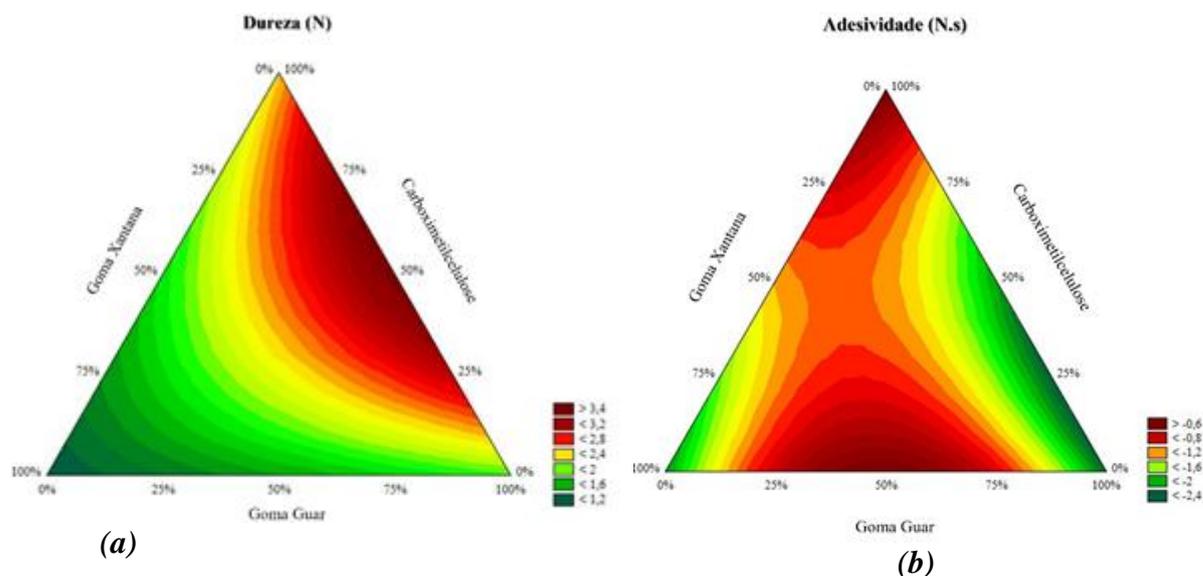
$$Y_{dureza} (N) = 1,100x_1 + 1,887x_2 + 2,372x_3 + 5,460x_2x_3 \quad (02)$$

A adesividade (Equação 03) dos géis de emulsão foi afetada ($P < 0,10$) pelas quantidades de goma xantana (x_1), goma guar (x_2) e a carboximetilcelulose (x_3) e pelas interações de x_2 com x_1 e x_3 , explicando 75% da variação observada (R^2). Maiores quantidades de x_3 reduzem ($P < 0,10$) a adesividade das emulsões géis. No entanto, a associação entre as quantidades de x_1 e x_2 pode reduzir ($> -0,4 N. s$), entre 25% - 75% de goma guar, ou aumentar ($< -2 N. s$), em altas concentrações de ambos hidrocoloides ($P < 0,10$) a adesividade das emulsões géis, como observado na curva de contorno (Figura 3b). O toucinho não apresenta característica adesiva, e, assim, a emulsão gel selecionada deve ser uma daquelas que apresenta menor

adesividade para não interferir na característica da massa no processo de cutterização.

$$Y_{adesividade} (N.s) = -2,150x_1 - 2,317x_2 - 0,428x_3 + 7,271x_1x_2 - 2,920x_2x_3 \quad (03)$$

Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento. - Superfície de resposta das equações ajustadas dos modelos simplificados para a dureza (N) e a adesividade (N.s) dos géis de emulsão de óleo de abacate em função da quantidade (0 a 100%) dos hidrocolóides gomas xantana, guar e carboximetilcelulose



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Em pré-otimizações de emulsões, a carboximetilcelulose se mostrou ser um aditivo reológico melhor em comparação com goma xantana, goma guar e alginato de sódio (Koupantsis; Kiosseoglou, 2009). A longa cadeia negativa, composta por grupos carboxílicos ionizados da carboximetilcelulose, causa a extensão das moléculas em solução e também a repulsão entre as cadeias adjacentes, proporcionando soluções altamente viscosas e estáveis (Damodaran; Parkin, 2017). Já a goma guar apresenta um grande número de grupos hidroxila expostos o que aumenta sua capacidade de ligações de hidrogênio quando dissolvido em água, proporcionando sistemas altamente viscosos e com excelentes propriedades de gelificação (Sharma et al., 2018).

Além disso, é possível afirmar que a presença da proteína do soro do leite forma um complexo eletrostático pela presença de cargas opostas entre os reagentes, formando uma rede estável influenciando nas características reológicas do gel (Evans et al., 2013). Os aminoácidos lipofílicos tendem se estender no meio



aquoso, enquanto os aminoácidos laterais, hidrofóbicos, envolvem as gotículas de óleo proporcionando estabilização estérica (Hasenhuettl; Hartel, 2019). O comportamento apresentado para a dureza encontra-se semelhante com os resultados obtidos por Santos et al. (2020) em emulsões géis elaborados com inulina, fibra de bambu e pele de porco.

Ao observar a textura das amostras esperava-se que as formulações com maiores concentrações de goma xantana aumentassem a adesividade da emulsão gel, o que pôde ser observado na curva de contorno (Figura 3b). A goma xantana quando dispersa em água quente ou fria forma dispersões tixotropias, com estrutura de um gel fraco com alta viscosidade a baixas taxas de deformação (Toneli; Murr, 2005), com isso, os ensaios com maior concentração desse hidrocoloide apresentaram baixa dureza e alta adesividade.

A coesividade (Equação 04) dos géis de emulsão foi afetada ($P < 0,10$) pelas quantidades de goma xantana (x_1), goma guar (x_2) e a carboximetilcelulose (x_3) e pelas interações x_1 e x_3 e pelas combinações dos três hidrocoloides, explicando 80% da variação observada (R^2). Maiores concentrações de x_1 e x_2 aumentam ($P < 0,10$) a coesividade dos géis de emulsão. No entanto, altas quantidades de x_3 tornam os géis menos coesos, concentrações maiores que 50% do hidrocoloide, como observado na curva de contorno (Figura 4a).

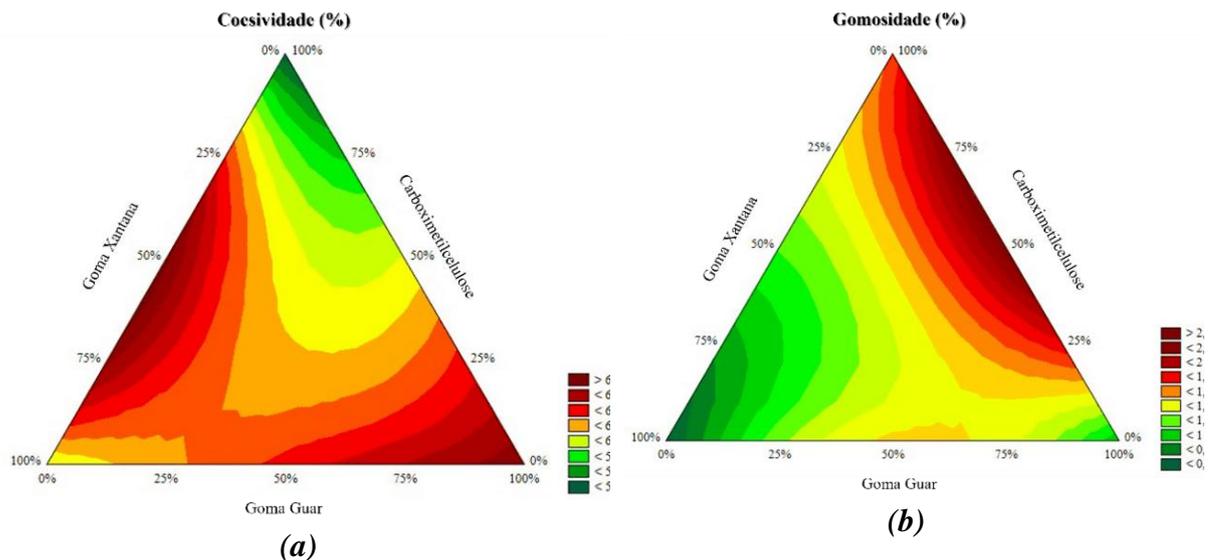
$$Y_{coesividade} = 60,041x_1 + 66,678x_2 + 53,576x_3 + 42,110x_1x_3 - 102,548x_1x_2x_3 \quad (04)$$

A gomosidade (Equação 05), relação entre dureza (N) e coesividade (%), foi afetada pela alteração na concentração dos hidrocoloides, explicando 85% da variação observada (R^2). A interação entre as quantidades de x_1 , x_2 e x_3 pode reduzir ($P < 0,10$) a gomosidade das emulsões géis dependendo dos seus valores, como observado na curva de contorno (Figura 4b). Por outro lado, a interação binária goma guar (x_2) e carboximetilcelulose (x_3) proporciona uma alta gomosidade, faixa que apresenta maiores valores para dureza. Desse modo, dentro do intervalo avaliado, o ponto de maior gomosidade predito ($< 2,2N$) encontra-se entre a concentração de 60% a 80% de carboximetilcelulose e de 40% a 20% de goma guar. O comportamento observado pode ser explicado pelas interações químicas entre as diferentes concentrações de hidrocoloides com a proteína do soro do leite, que governam o

comportamento observado para dureza e coesividade.

$$Y_{\text{gomosidade}} = 0,577x_1 + 0,922x_2 + 1,641x_3 + 2,697x_1x_2 + 3,586x_2x_3 - 11,457x_1x_2x_3 \quad (05)$$

Figura 4 - Superfície de resposta das equações ajustadas dos modelos simplificados para a Coesividade (%) e a Gomosidade (%) dos géis de emulsão de óleo de abacate em função da quantidade (0 a 100%) dos hidrocolóides gomas xantana, guar e carboximetilcelulose



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

A elasticidade (Equação 06) é uma propriedade importante na redução da quebra das fatias no processo de fatiamento de produtos cárneos, assim uma alta elasticidade é importante para não alterar esta propriedade no produto final (Montezuma, 2010). Nas emulsões géis ela foi afetada pela interação binária entre goma xantana (x_1) e goma guar (x_2) explicando 82% da variação observada (R^2). A interação entre as quantidades de x_1 , x_2 e x_3 pode aumentar ($P < 0,10$) a elasticidade dos géis de emulsão dependendo dos seus valores, como observado na curva de contorno (Figura 5a). Por outro lado, baixas concentrações de carboximetilcelulose ($<50\%$) quando associada a goma guar ($<50\%$) proporcionam baixa elasticidade (valores inferior a 60%).

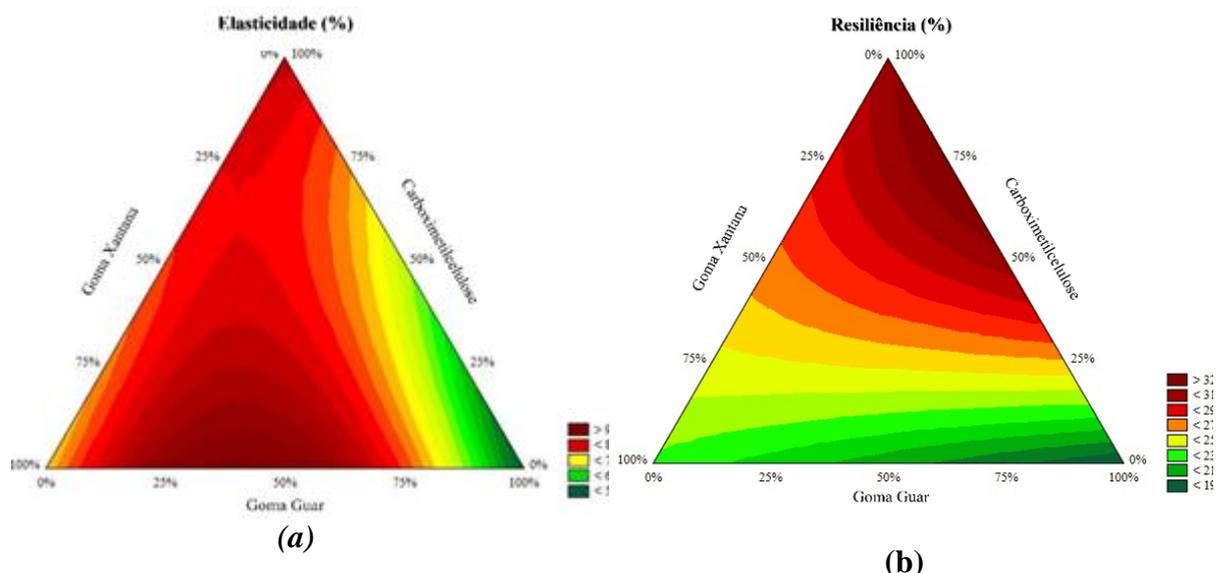
$$Y_{\text{elasticidade}} = 78,139x_1 + 56,995x_2 + 88,925x_3 + 113,476x_1x_2 \quad (06)$$

A resiliência (Equação 07) pode ser conceituada como a capacidade de um material restabelecer suas características após sofrer forças que o retirem da estabilidade inicial, sendo importante para garantir maciez dos produtos cárneos

(Ramos; Gomide, 2007). Ela foi afetada pela alteração na concentração dos hidrocolóides, explicando 86% da variação observada (R^2). A interação entre as quantidades de x_2 e x_3 pode aumentar ($P < 0,10$) a resiliência dos géis em concentrações acima de 25% de carboximetilcelulose (x_3), como observado na curva de contorno (Figura 5b). A goma guar (x_2) associada a goma xantana (x_1) não proporciona géis resilientes (resiliência $< 23\%$).

$$Y_{\text{resiliência}} = 22,741x_1 + 18,100x_2 + 30,600x_3 + 25,063x_2x_3 \quad (07)$$

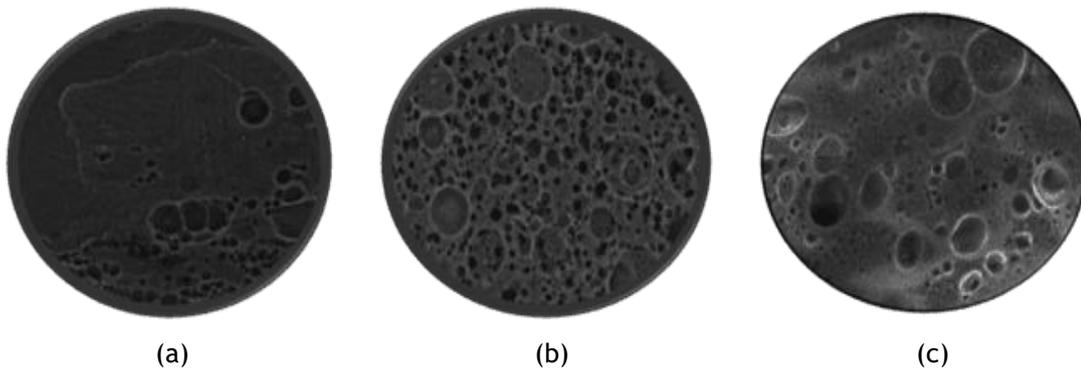
Figura 5 - Superfície de resposta das equações ajustadas dos modelos simplificados para a Elasticidade (%) e Resiliência (%) dos géis de emulsão de óleo de abacate em função da quantidade (0 a 100%) dos hidrocolóides gomas xantana, guar e carboximetilcelulose



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Ao analisar a estrutura das emulsões géis, com 100% de cada um dos hidrocolóides, foi possível perceber a formação de géis compactos com presença de alvéolos, possivelmente pela incorporação de ar durante a homogeneização (Figura 6). A incorporação de ar deve ser evitada, pois pode acelerar o processo oxidativo. Como esperado, também houve a formação de glóbulos de gordura, característico de sistemas emulsionados, com variação nos seus tamanhos.

Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura para as emulsões géis das hidrocolóides gomas xantana (a); goma guar (b), e carboximetilcelulose (c) respectivamente



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

A emulsão gel de goma xantana (Figura 6a) apresentou fase contínua uniforme, com formação glóbulos com menores tamanho, mas mais propensos a instabilidade devido a aglomeração entre eles, característica de processos de instabilidade como floculação e coalescência. Na emulsão gel de goma guar, foi possível perceber uma maior quantidade de alvéolos formados pelo ar na superfície gelificada (Figura 6b), o tamanho dos glóbulos foi intermediários, quando comparados aos outros géis, com menor espaçamento entre eles o que pode indicar tendência a instabilidade. (Topan, 2012). Os maiores glóbulos de gordura foram formados na emulsão gel com carboximetilcelulose (Figura 6c), que apresentou alvéolos com maiores diâmetros o que pode interferir na coesividade das emulsões géis quando expostas a análise de compressão, reafirmando o comportamento obtido para o parâmetro de coesividade na análise de textura.

Validação e Caracterização do Ponto Ótimo

A desejabilidade (%) foi calculada para determinar o comportamento que a emulsão gel deveria apresentar para ser utilizada como mimético de gordura em mortadela posteriormente (Tabela 1). Todos os hidrocolóides receberam importância alta e semelhante, com peso 5. Em relação às características de textura, a dureza (N), a elasticidade (%), a resiliência (%) e a adesividade (N.s) foram consideradas mais importantes (peso 5), enquanto a coesividade (%) e a gomosidade (N) foram consideradas de importância intermediária (peso 3), pois a emulsão gel será incorporada à massa cárnea no cutter durante o processamento.

Desse modo, desejabilidade de 89,5%, que é considerada adequada, foi obtida



na emulsão gel formulado com 85% (2,55 g) de carboximetilcelulose e 15% (0,45 g) de goma guar para aplicação na produção de mortadelas. Isso ocorreu porque a maioria das características de textura apresentaram melhores resultados na presença de carboximetilcelulose, enquanto o contrário foi observado para a goma xantana. Ressalta-se que, à exceção da adesividade (-50%), os desvios relativos entre a solução e o valor experimental das demais características de textura foram inferiores a |6%|. A formulação encontrada é financeiramente viável, uma vez que a goma xantana que possui maior valor no mercado não será utilizado na formulação (Adicel, 2022).

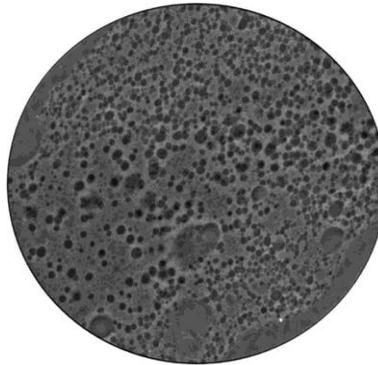
Tabela 2- Otimização da formulação de óleo gel de abacate

Variáveis Independentes	Ponto Ótimo				
	Objetivo	Importância	Solução	Valor Experimental	Desvio Relativo (%)
x_1	Mínimo	5	0		
x_2	Mínimo	5	0,15		
x_3	Máximo	5	0,85		
Variáveis Dependentes					
<i>Dureza</i>	Na faixa	5	2,13	2,043	-4,0845
<i>Elasticidade</i>	Máximo	5	88,6242	86,9	-1,9455
<i>Resiliência</i>	Máximo	5	25,834	24,9	-3,6154
<i>Adesividade</i>	Máximo	5	-0,2642	-0,13249	-49,8554
<i>Gomosidade</i>	Na faixa	3	1,16573	1,234	5,8564
<i>Coesividade</i>	Na faixa	3	59,992	63,3574	5,6097
<i>Desejabilidade - 89,590%</i>					

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Na análise microscópica, Figura 7, foi observada a presença dos glóbulos de gordura característicos de sistemas emulsionados. A interação entre a carboximetilcelulose e a goma guar proporcionou glóbulos de gordura com menor diâmetro dispostos em uma rede mais compacta. No entanto, também é possível perceber a presença de alguns glóbulos maiores, resultantes de coalescência, e alvéolos, resultantes da incorporação de ar na compactação do gel.

Figura 7- Microscopia eletrônica de varredura da emulsão gel de óleo de abacate formulado com goma guar e carboximetilcelulose



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023).

Conclusões

A goma xantana não demonstra potencial de aplicação como substituto de gordura por ter proporcionado géis de emulsão de óleo de abacate com baixa dureza e alta adesividade. A associação entre a carboximetilcelulose e a goma guar resulta em uma emulsão gel de óleo de abacate firme, com baixa adesividade, elástica e resiliente. A emulsão gel de óleo de abacate formulado com 85% (2,55 g) de carboximetilcelulose e 15% (0,45 g) de goma guar demonstra características necessárias para aplicação como substituto de toucinho em produtos cárneos emulsionados. Em trabalhos futuros, pretende-se aplicar essa emulsão em mortadela, avaliando sua eficácia na substituição de gordura animal.

Referências

ADICEL. Goma xantana. Disponível em: https://www.adicel.com.br/loja/busca.php?loja=755044&palavra_busca=goma+xantana. Acesso em: 13 dez. 2022.

ALEJANDRE, Marta et al. Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters. *Food Research International*, v. 122, p. 129-136, ago. 2019.

ALVES, Larissa Aparecida Agostinho dos Santos et al. Production of healthier bologna type sausages using pork skin and green banana flour as a fat replacers. *Meat Science*, v. 121, p. 73-78, 1 nov. 2016.

BERASATEGI, I. *et al.* Stability of avocado oil during heating: Comparative study to olive oil. *Food Chemistry*, v. 132, n. 1, p. 439-446, 2012.

BOLUMAR, T.; TOEPFL, S.; HEINZ, V. Fat Reduction and Replacement in Dry-Cured Fermented Sausage by Using High Pressure Processing Meat as Fat Replacer and



Olive Oil. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, v. 65, n. 3, p. 175-182, 2015.

CARVALHO, F. A. L. *et al.* Effect of replacing backfat with vegetable oils during the shelf-life of cooked lamb sausages. *LWT*, v. 122, p. 109052, mar. 2020.

CHOI, J. *et al.* Effect of cacao bean husk powder on the quality properties of pork sausages. *Food Science of Animal Resources*, v. 39, n. 5, p. 742-755, 2019.

DALA-PAULA, BRUNO MARTINS; GOZZI, Wiliam; *Química e Bioquímica de Alimentos*. 1. ed. Alfnas-MG: [s.n.], 2021.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. *Fennema's food chemistry, fifth edition*. [S.l: s.n.], 2017.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Jounal of Quality Technology*, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

DENG, S. *et al.* Evaluation of volatile flavor compounds in bacon made by different pig breeds during storage time. *Food Chemistry*, v. 357, 2021.

DICKINSON, E. Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed food ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 93, n. 4, p. 710-721, 2013.

DICKINSON, E.; CASANOVA, H. A thermoreversible emulsion gel based on sodium caseinate. *Food Hydrocolloids*, v. 13, n. 4, p. 285-289, jul. 1999.

DICKINSON, Eric. Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. *Food Hydrocolloids*. [S.l.]: Elsevier. , jul. 2012.

DOMÍNGUEZ, R. *et al.* Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. *Current Opinion in Food Science*. [S.l: s.n.], 2021

EVANS, M.; RATCLIFFE, I.; WILLIAMS, P. A. **Emulsion stabilisation using polysaccharide-protein complexes**. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, v. 18, n. 4, p. 272-282, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.004>. Acesso em: 13 dez. 2022.

FALOWO, A. B.; FAYEMI, P. O.; MUCHENJE, V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*. [S.l.]: Elsevier Ltd. , out. 2014.

GUO, J.; CUI, L.; MENG, Z. Emulsion gels/oleogels as novel substitutes for saturated fat in meat products: a review. *Food Hydrocolloids*, v. 137, p. 108313, Apr. 2022.

HASENHUETTL, G. L.; HARTEL, R. W. **Food Emulsifiers and Their Applications**. [S.l: s.n.], 2019.



KIM, T. K. *et al.* Effects of replacing pork fat with grape seed oil and gelatine/alginate for meat emulsions. **Meat Science**, v. 163, 2020.

KOWALSKA, M.; KRZTON-MAZIOPA, A. Viscoelastic effects in carrot oil emulsions thickened with carboxymethylcellulose. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 464, p. 121-128, 5 jan. 2015.

KUMAR, Y. *et al.* Ultrasonication of mayonnaise formulated with xanthan and guar gums: Rheological modeling, effects on optical properties and emulsion stability. **LWT**, v. 149, p. 111-632, 2021.

KOUPANTSIS, T.; KIOSSEOGLU, V. Whey protein-carboxymethylcellulose interaction in solution and in oil-in-water emulsion systems. Effect on emulsion stability. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 4, 2009.

LINGIARDI, N. *et al.* Are quinoa proteins a promising alternative to be applied in plant-based emulsion gel formulation. **Food Chemistry**, v. 394, p. 133485, 15 nov. 2022.

MANTELET, M. *et al.* Impact of sol-gel transition on the ultrasonic properties of complex model foods: Application to agar/gelatin gels and emulsion filled gels. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 506-518, fev. 2019.

MONTEZUMA, R.. **Perfil de textura em conserva de carne bovina (Corned Beef) submetida a diferentes tratamentos térmicos e sua relação com a concentração das proteínas dos tecidos muscular e conjuntivo colagenoso.** Tese de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos (DETA), UNESP, 2010.

NACAK, B. *et al.* Peanut and linseed oil emulsion gels as potential fat replacer in emulsified sausages. **Meat Science**, v. 176, 2021.

ÖZTÜRK-KERIMOĞLU, B. A promising strategy for designing reduced-fat model meat emulsions by utilization of pea protein-agar agar gel complex. **Food Structure**, v. 29, p. 100205, 1 jul. 2021.

PAGLARINI, C. de S. *et al.* Functional emulsion gels with potential application in meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 222, 2018.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. de M. **Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e Metodologias.** Viçosa-MG: Editora UFV, p.599, 2007.

REIS, C.; ANDRADE, J. C. Planejamento Experimental de Misturas usando cromatografia em papel. **Química Nova**, v.3, 1996.

RODRIGUES, L. M. *et al.* Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. **Food Chemistry**, v. 313, p. 126-137, 2020.

SANTOS, I. dos. **Irradiação e redução de sódio em salsicha: Segurança** ,



saudabilidade e percepção do consumidor. 2018.

SANTOS, M. dos. *et al.* Emulsion gels based on pork skin and dietary fibers as animal fat replacers in meat emulsions: An adding value strategy to byproducts. *LWT*, v. 120, 2020.

SHARMA, G.; SHARMA, S.; KUMAR, A.; AL-MUHTASEB, A. H.; NAUSHAD, M.; GHFAR, A. A.; MOLA, G. T.; STADLER, F. J. Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: a review. *Carbohydrate Polymers*, v. 199, p. 534-545, Nov. 2018.

STANGIERSKI, J. *et al.* Effect of microencapsulated fish oil powder on selected quality characteristics of chicken sausages. *Journal of the Science of Food Agriculture*, v. 100, n. 5, p. 2043-2051, 2020.

TONELI, J.; MURR, F. P. K. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TOPAN, J. F. **Emulsões à base de óleo de girassol (Helianthus annus L .) com cristal líquido**: avaliação das propriedades físico-químicas e atividade cosmética. Universidade de São Paulo, p. 115, 2012.

WANG, J. S.; WANG, A. B.; ZANG, X. P.; TAN, L.; XU, B. Y.; CHEN, H. H.; JIN, Z. Q.; MA, W. H. Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products. *Food Chemistry*, v. 288, p. 146-153, 2019.

WONG, D. W. S. **Mechanism and theory in food chemistry**. [S.l: s.n.], v. 36, 2018.