


EFEITO DO USO DE POLISSACARÍDEOS SOBRE AS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE MOLHO DE TOMATE**EFFECT OF THE USE OF POLYSACCHARIDES ON THE RHEOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF TOMATO SAUCE****EFECTO DEL USO DE POLISACÁRIDOS EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y FÍSICOQUÍMICAS DE LA SALSA DE TOMATE** <https://doi.org/10.56238/rcsv16n6-003>

Data de submissão: 09/05/2026

Data de aprovação: 09/06/2026

Isabella Rosa Gomes Haarengl

Técnico Integrado ao Ensino Médio em Agroindústria

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Inhumas

E-mail: ihaarengl@gmail.comLattes: <http://lattes.cnpq.br/4689731435798864>**Ana Clara de Souza Maia**

Ensino Médio

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Inhumas

E-mail: claramariasousa1518@gmail.comLattes: <http://lattes.cnpq.br/8072191914515100>**Heloisa Gabriel Falcão**

Doutorado

Instituição: Instituto Federal de Goiás

E-mail: heloisa.falcao@ifg.edu.brOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-2823-1359>Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6855876451706440>**Beatriz dos Santos Siqueira**

Doutorado

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Inhumas

E-mail: beatriz.santos@ifg.edu.brLattes: <http://lattes.cnpq.br/9816804848831910>**RESUMO**

A aceitabilidade do molho de tomate depende de atributos físico-químicos e reológicos, sendo que produtos com viscosidade insuficiente têm baixa aceitação. Para aumentar a viscosidade sem recorrer a longa concentração por aquecimento, utiliza-se adição de polissacarídeos espessantes. Esses aditivos, sozinhos ou em combinação, podem interagir nas formulações e gerar efeitos sinérgicos, que otimizam o desempenho reológico e minimizam o custo dos produtos obtidos. Este trabalho utilizou delineamento de misturas simplex-centroide para investigar os efeitos da adição de amido de mandioca pré-gelatinizado, goma xantana (GX) e carboximetilcelulose (CMC), isolados e em combinações, sobre as propriedades físico-químicas e reológicas de molhos de tomate. Foram preparadas nove formulações, variando as proporções dos três espessantes (0,2%-1,0%). Realizaram-se análises de pH, teor de sólidos solúveis (SS) e comportamento reológico (reômetro rotacional, curva de fluxo 0,1-500 s⁻¹). Os dados foram tratados estatisticamente e obtidos superfícies de resposta para cada variável dependente. O pH dos molhos foi de aproximadamente 4,0 em todas as formulações, sem diferenças estatísticas relevantes. Os SS variaram entre 8,85-10,30°Brix. GX e CMC tenderam a elevar

ligeiramente o teor de SS, enquanto o amido pré-gelatinizado contribuiu menos para este parâmetro. Todas as formulações exibiram comportamento pseudoplástico. Os valores do índice de consistência (K) variaram de 7,95-11,20 Pa·sⁿ. As formulações com maior proporção de amido pré-gelatinizado apresentaram os maiores valores de K , indicando maior resistência ao fluxo. Já formulações com proporções relativamente maiores de CMC apresentaram maiores valores de n . As superfícies de resposta ajustadas mostraram que o amido pré-gelatinizado exerceu o maior efeito sobre a consistência, enquanto GX influenciou mais o teor de SS. O estudo da desejabilidade indicou o molho 2 (GX 1%) como a formulação ótima - baixo pH, sólidos solúveis elevados e consistência ótima; ao validar essa formulação experimentalmente, os valores observados ficaram muito próximos dos preditos.

Palavras-chave: Planejamento Experimental de Misturas. Amido de Mandioca Modificado Pré-Gel. Goma Xantana. Carboximetilcelulose. Espessante.

ABSTRACT

The acceptability of tomato sauce depends on physicochemical and rheological attributes, with products having insufficient viscosity having low acceptance. To increase viscosity without resorting to long concentration by heating, thickening polysaccharides are added. These additives, alone or in combination, can interact in the formulations and generate synergistic effects, which optimize rheological performance and minimize the cost of the products obtained. This work used a simplex-centroid mixture design to investigate the effects of adding pregelatinized cassava starch, xanthan gum (XG), and carboxymethylcellulose (CMC), alone and in combination, on the physicochemical and rheological properties of tomato sauces. Nine formulations were prepared, varying the proportions of the three thickeners (0.2%-1.0%). Analyses of pH, soluble solids content (SS), and rheological behavior (rotational rheometer, flow curve 0.1-500 s⁻¹) were performed. The data were statistically processed, and response surfaces were obtained for each dependent variable. The pH of the sauces was approximately 4.0 in all formulations, with no statistically significant differences. Solids content (SS) ranged from 8.85 to 10.30 °Brix. GX and CMC tended to slightly increase SS content, while pregelatinized starch contributed less to this parameter. All formulations exhibited pseudoplastic behavior. Consistency index (K) values ranged from 7.95 to 11.20 Pa·sⁿ. Formulations with a higher proportion of pregelatinized starch showed the highest K values, indicating greater resistance to flow. Conversely, formulations with relatively higher proportions of CMC showed higher n values. The fitted response surfaces showed that pregelatinized starch exerted the greatest effect on consistency, while GX had the greatest influence on SS content. The desirability study indicated sauce 2 (GX 1%) as the optimal formulation – low pH, high soluble solids, and optimal consistency. Upon experimentally validating this formulation, the observed values were very close to the predicted values.

Keywords: Experimental Mixture Design. Modified Pre-Gel Cassava Starch. Xanthan Gum. Carboxymethylcellulose. Thickener.

RESUMEN

La aceptabilidad de la salsa de tomate depende de sus atributos fisicoquímicos y reológicos, siendo los productos con viscosidad insuficiente los que tienen baja aceptación. Para aumentar la viscosidad sin recurrir a una concentración prolongada mediante calentamiento, se añaden polisacáridos espesantes. Estos aditivos, solos o combinados, pueden interactuar en las formulaciones y generar efectos sinérgicos que optimizan el rendimiento reológico y minimizan el costo de los productos obtenidos. Este trabajo utilizó un diseño de mezcla simplex-centroide para investigar los efectos de la adición de almidón de yuca pregelatinizado, goma xantana (XG) y carboximetilcelulosa (CMC), solos y combinados, sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las salsas de tomate. Se prepararon

nueve formulaciones, variando las proporciones de los tres espesantes (0,2 %-1,0 %). Se realizaron análisis de pH, contenido de sólidos solubles (SS) y comportamiento reológico (reómetro rotacional, curva de flujo 0,1-500 s⁻¹). Los datos se procesaron estadísticamente y se obtuvieron superficies de respuesta para cada variable dependiente. El pH de las salsas fue aproximadamente 4,0 en todas las formulaciones, sin diferencias estadísticamente significativas. El contenido de sólidos (SS) varió de 8,85 a 10,30 °Brix. GX y CMC tendieron a aumentar ligeramente el contenido de SS, mientras que el almidón pregelatinizado contribuyó menos a este parámetro. Todas las formulaciones exhibieron un comportamiento pseudoplástico. Los valores del índice de consistencia (K) variaron de 7,95 a 11,20 Pa·sⁿ. Las formulaciones con una mayor proporción de almidón pregelatinizado mostraron los valores de K más altos, lo que indica una mayor resistencia al flujo. Por el contrario, las formulaciones con proporciones relativamente más altas de CMC mostraron valores de n más altos. Las superficies de respuesta ajustadas mostraron que el almidón pregelatinizado ejerció el mayor efecto sobre la consistencia, mientras que GX tuvo la mayor influencia sobre el contenido de SS. El estudio de deseabilidad indicó que la salsa 2 (GX 1%) era la formulación óptima: pH bajo, altos sólidos solubles y consistencia óptima. Tras validar experimentalmente esta formulación, los valores observados fueron muy cercanos a los valores predichos.

Palabras clave: Diseño Experimental de Mezclas. Almidón de Yuca Pregelificado Modificado. Goma Xantana. Carboximetilcelulosa. Espesante.

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do tomate no Brasil possui elevada importância socioeconômica, movimentando diferentes setores e empregando milhares de trabalhadores em regiões produtoras, sobretudo no estado de Goiás, referência nacional na produção destinada ao processamento industrial (Anuário Horti & Fruti, 2024). Nos últimos anos, observa-se um crescimento do consumo dos produtos atomatados, especialmente molhos industrializados, o qual está relacionado à busca por praticidade alimentar e ampliação do mercado consumidor (Baracat, 2018).

A aceitação do molho de tomate pelo consumidor depende de características físico-químicas e sensoriais como cor, acidez, pH e viscosidade, que são os principais parâmetros avaliados pelo consumidor na hora da escolha do produto (Baracat, 2018). Dentre estes atributos, a viscosidade é um dos mais importantes, pois produtos pouco viscosos têm baixa aceitação no mercado.

Existem duas maneiras de obter molho de tomate com alta viscosidade. A primeira seria uma etapa de concentração maior, em que o produto ficaria mais tempo sob aquecimento para remoção da água e aumento dos sólidos solúveis. A outra maneira seria a adição de polissacarídeos espessantes, que tem a propriedade de aumentar a viscosidade, mesmo sob baixas temperaturas e em pequenas quantidades. Esta é a alternativa que as indústrias mais têm utilizado, devido ao baixo custo e manutenção das características sensoriais de sabor e aroma, uma vez que não requer aquecimento excessivo do produto (Himashree; Animesh; Sunil, 2022).

Os polissacarídeos mais utilizados nas indústrias com função espessante são amidos modificados, goma xantana, carboximetilcelulose, goma guar, goma arábica, goma carragena e pectina. Estes espessantes podem ser utilizados de forma isolada ou em combinações. A mistura destes componentes na formulação de alimentos pode resultar em interações sinérgicas desejáveis, levando a propriedades reológicas melhoradas e reduções nos custos de manufatura (Williams, Phillips, 1995 *apud* Toneli; Murr; Park, 2005). O estudo de tais interações é feito através do planejamento de misturas, que determina de maneira eficiente o conjunto de condições que são necessárias para obter um produto com características desejáveis, tornando o desenvolvimento destes mais eficiente em comparação à aplicação do método de tentativa e erro (Teixeira *et al.*, 2022).

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi utilizar o planejamento de mistura para avaliar o efeito de diferentes concentrações de polissacarídeos e suas misturas nas características reológicas e físico-químicas do molho de tomate. Tal estudo se justifica pela grande importância de se desenvolver novas formulações que combinem redução de custos e manutenção/ aprimoramento da qualidade do produto ofertado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As diferentes formulações de molho de tomate foram elaboradas no Laboratório de Processamento de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Inhumas. Os tomates foram adquiridos no comércio de Inhumas – GO e selecionados quanto ao estágio de maturação ótimo, apresentando textura firme, coloração intensa e uniforme, e isentos de danos mecânicos e fisiológicos. Os polissacarídeos amido de mandioca pré-gel, goma xantana e carboximetilcelulose foram adquiridos em loja virtual especializada em ingredientes alimentícios (Wifa Ingredients).

2.1 ELABORAÇÃO DOS MOLHOS

Os tomates foram lavados com sabão neutro, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) por 15 min, seguido de enxágue em solução clorada de 20 ppm para remoção do excesso de sanitizante. Após a higienização, foram feitos cortes em cruz na base de cada tomate e estes foram mergulhados em água fervente por 30 s, seguido de resfriamento em água corrente. A pele e as sementes dos tomates foram removidas manualmente, e a polpa remanescente foi triturada em liquidificador.

A polpa triturada foi peneirada e levada para cocção com azeite, cebola, alho, sal e açúcar. Após atingir a concentração desejada, foram adicionados os polissacarídeos, conforme o Quadro 1, e o molho ainda quente foi homogeneizado utilizando um multiprocessador. As formulações obtidas foram transferidas para frascos plásticos com tampa e armazenados sob refrigeração (7°C) até a realização das análises.

2.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado o delineamento simplex-centroide para misturas de três componentes, para o preparo das diferentes formulações. Foram avaliadas 7 formulações de molho, com diferentes concentrações dos polissacarídeos amido pré-gel, goma xantana e carboximetilcelulose (variação de 0,2% a 1,0% para cada variável independente), com mais duas replicações no ponto central (para avaliar o erro experimental), totalizando 9 ensaios (Quadro 1).

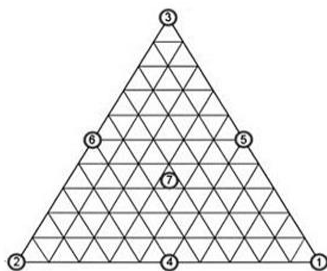
Quadro 1: Planejamento experimental simplex-centroide para elaboração dos molhos de tomate com diferentes concentrações de polissacarídeos.

Formulação (molho)	Variáveis independentes		
	Amido pré-gel (x%)	Goma Xantana (y%)	Carboximetilcelulose (z%)
01	1 (1,0%)	0 (0,2%)	0 (0,2%)
02	0 (0,2%)	1 (1,0%)	0 (0,2%)
03	0 (0,2%)	0 (0,2%)	1 (1,0%)
04	0,5 (0,6%)	0,5 (0,6%)	0 (0,2%)
05	0,5 (0,6%)	0 (0,2%)	0,5 (0,6%)
06	0 (0,2%)	0,5 (0,6%)	0,5 (0,6%)
07	0,33 (0,47%)	0,33 (0,47%)	0,34 (0,48%)
08	0,33 (0,47%)	0,34 (0,48%)	0,33 (0,47%)
09	0,34 (0,48%)	0,33 (0,47%)	0,33 (0,47%)

X1 = Amido de mandioca pré-gel; X2 = Goma xantana; X3 = Carboximetilcelulose. *X1 + X2 + X3 = 1
Fonte: Autores.

Conforme a Figura 1, pode-se observar que os pontos 1, 2 e 3 (vértices) do triângulo, correspondem aos ingredientes puros. Os pontos 4, 5 e 6 do triângulo, correspondem à mistura de dois componentes em proporções iguais, enquanto o ponto 7 (centro do triângulo) corresponde à mistura de igual proporção dos três polissacarídeos. As variáveis independentes estudadas foram as diferentes concentrações do amido pré-gel (X1), goma xantana (X2) e carboximetilcelulose (X3) e as variáveis dependentes avaliadas foram: $y_1 = \text{pH}$, $y_2 = \text{sólidos solúveis}$, $y_3 = \text{índice de consistência}$.

Figura 1: Simplex-centroide com três componentes (Ponto 1 = Goma xantana; Ponto 2 = amido pré-gel; Ponto 3 = Carboximetilcelulose)



Fonte: FALCÃO; SEIBEL; YAMAGUCHI, 2015.

2.3 VISCOSIDADE

Os comportamentos reológicos dos molhos de tomate foram avaliados em reômetro Anton Paar (Physica, MCR 101, Ostfildem, Germany), no Laboratório Multiusuário de Análises da Universidade Federal de Goiás. Foi realizada uma análise rotacional de curva de fluxo à temperatura de 25°C, taxa de cisalhamento de 0,1 a 500 s⁻¹ (ascendente, descendente, ascendente) com probe PP-50, gap 0,101 mm, com varredura em taxa linear.

Os parâmetros reológicos, índice de consistência (K) e o índice de fluxo (n) foram obtidos pelo ajuste do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) (Equação 1), por ajustar-se bem aos dados experimentais, ser um modelo simples e de ampla aplicação tecnológica.

$$\tau = K * \gamma n \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

τ é a tensão de cisalhamento, γ é a taxa de deformação, K é o índice de consistência e n o índice de comportamento do fluido.

2.4 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

As propriedades físico-químicas avaliadas foram pH e conteúdo de sólidos solúveis, sendo as análises realizadas ao menos em triplicata. Para a análise de pH os molhos foram dispostos em béqueres e submetidos à leitura em pHmetro de bancada (modelo HI 3221, Hanna Instruments), previamente calibrado conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

A análise de sólidos solúveis foi realizada em refratômetro digital à temperatura de 20°C. A amostra foi depositada sobre o prisma do refratômetro e os resultados expressos em °Brix (IAL, 2008).

A partir dos dados das análises físico-química foram calculadas as médias e desvios padrões. Aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para verificar a diferença estatística entre as médias das análises físico-químicas, utilizando o software SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os molhos de tomate apresentaram característica ácida, com pH em torno de 4,0 (Tabela 1). Este valor mostra-se dentro da faixa segura ao crescimento microbiológico e próximo ao encontrado por Bery *et al.* (2025) ao avaliar 3 marcas comerciais de molho de tomate (pH médio de 4,3) e de Farias Botelho *et al.* (2022) ao analisar diferentes marcas de extrato de tomate (pH entre 4,10 e 4,27).

Tabela 1: pH e teor de sólidos solúveis (°Brix) dos molhos de tomate elaborados com adição de misturas de polissacarídeos.

Formulação	pH	Sólidos solúveis (°Brix)
Molho 1	4,11 ± 0,02 a*	8,85 a 0,49 a
Molho 2	3,99 ± 0,01 a	9,60 ± 0,57 ab
Molho 3	4,03 ± 0,01 a	9,35 ± 0,61 ab
Molho 4	4,02 ± 0,03 a	9,15 ± 0,56 ab
Molho 5	4,06 ± 0,03 a	9,20 ± 0,47 ab
Molho 6	4,01 ± 0,04 a	9,40 ± 0,18 ab
Molho 7	4,10 ± 0,07 a	9,73 ± 0,12 ab
Molho 8	4,08 ± 0,01 a	10,03 ± 0,81 ab
Molho 9	4,06 ± 0,01 a	10,30 ± 0,35 b

*Médias ± desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ($p > 0,05$).

Fonte: Autores.

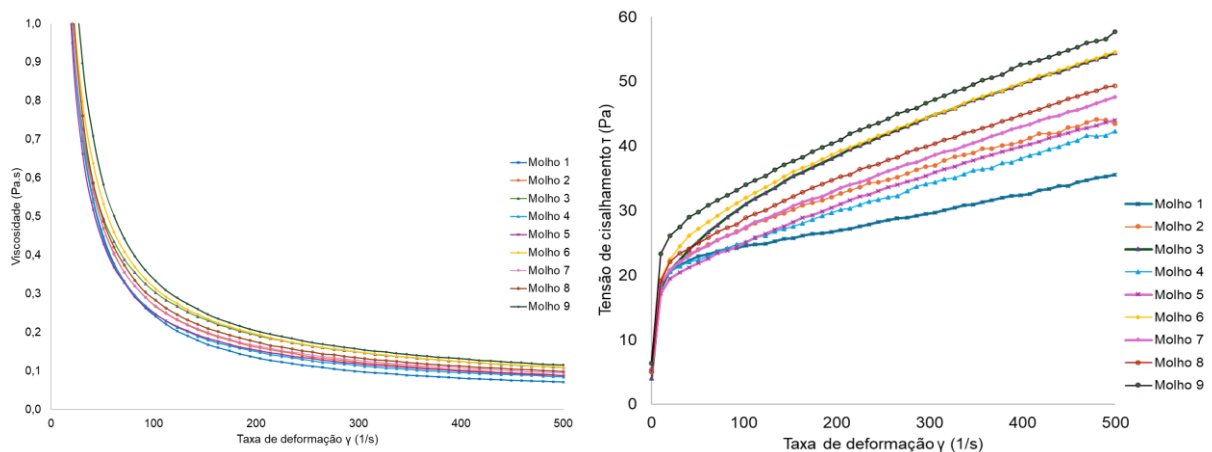
O teor de sólidos solúveis dos molhos avaliados ficou entre 8,85°Brix e 10,30°Brix (Tabela 1), com apenas o molho 1 e o molho 9 diferindo estatisticamente entre si ($p < 0,05$). Não existe nenhuma

resolução que indique uma concentração mínima de sólidos solúveis para molho de tomate, no entanto, os resultados obtidos foram próximos aos valores obtidos por Bery *et al.* (2025), para 3 marcas comerciais (6,2-9,7°Brix).

O conhecimento do comportamento reológico de molhos é fundamental para a avaliação da consistência do produto, correlacionando-a com avaliação sensorial e aceitação por parte do consumidor. Os parâmetros reológicos também são úteis na determinação da estrutura do alimento, caracterização física dos sólidos, líquidos e semissólidos, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento e testes de vida útil, bem como para controle de processos (Vidal; Pelegrine; Gasparetto, 2004).

Em relação às propriedades reológicas, observa-se que todos os molhos apresentaram comportamento não-newtoniano, caracterizados pela redução da viscosidade aparente e aumento da tensão de cisalhamento à medida que se incrementa a taxa de deformação (Figura 2). Este comportamento é característico de fluidos pseudoplásticos, os quais, em repouso, apresentam suas moléculas desordenadas, e quando são submetidos a uma tensão, suas moléculas tendem a direcionar-se na direção da mesma (Costa; Naccache; Vargas, 2017), reduzindo consequentemente a viscosidade.

Figura 2: Viscosidade aparente (Pa.s) e tensão de cisalhamentos (Pa) dos molhos de tomate elaborados com misturas de polissacarídeos em função da taxa de deformação (1/s).



Fonte: Autores.

Comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho foi observado por Torbica *et al.* (2016) e Uribe-Wandurraga *et al.* (2021), em seus estudos com catchup adicionados de fibra de tomate e microalgas, respectivamente, e no estudo de Morais *et al.* (2023) sobre o perfil reológico de catchup sob diferentes temperaturas.

Os dados reológicos de tensão de cisalhamento e taxa de deformação dos molhos elaborados com adição de diferentes misturas de polissacarídeos foram analisados, e verificou-se que o modelo

Lei da Potência (Tabela 2) apresentou bom ajuste aos dados, uma vez que exibiu elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 0,97$).

Tabela 2: Parâmetros reológicos obtidos para os molhos de tomate elaborados com adição de misturas de polissacarídeos

Formulação	Índice de comportamento de fluxo (n)	Índice de consistência (k; Pa.s ⁿ)	Coeficiente de correlação R ²
Molho 1	0,19	10,58	0,97
Molho 2	0,24	9,30	0,99
Molho 3	0,30	7,95	0,99
Molho 4	0,23	9,24	0,97
Molho 5	0,25	8,43	0,98
Molho 6	0,28	9,17	0,99
Molho 7	0,26	8,86	0,98
Molho 8	0,26	9,05	0,98
Molho 9	0,25	11,20	0,98

Fonte: Autores.

Conforme descrito na Tabela 2, todos os molhos apresentaram perfil de fluido não newtoniano pseudoplástico ($n < 1$). Os molhos contendo maior conteúdo de amido (molho 1 e 4) exibiram os menores valores para índice de comportamento de fluxo (0,19 e 0,23, respectivamente), enquanto os molhos com maiores conteúdo de CMC (molho 3 e 6) exibiram os maiores valores para esse parâmetro (0,30 e 0,28, respectivamente). Este resultado sugere que o comportamento pseudoplástico tende a se intensificar com maiores concentrações de amido e reduzir com maiores concentrações de CMC na formulação. Segundo Rahaman *et al.* (2021) a fácil orientação da cadeia longa CMC sob tensão de cisalhamento é a principal razão por trás da exibição da pseudoplasticidade CMC. A viscosidade cai gradualmente sob o estresse da CMC e aumenta seu índice de comportamento de fluxo.

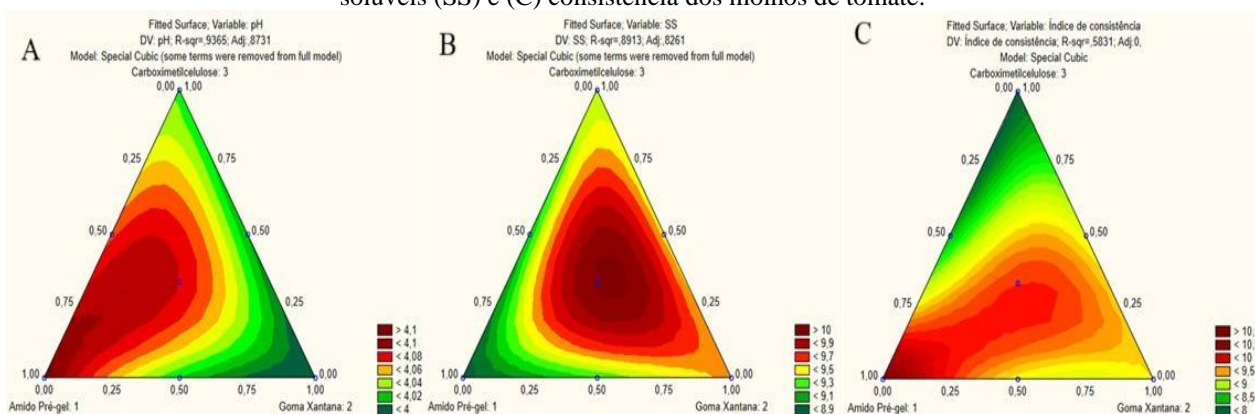
A consistência é considerada um dos parâmetros mais importantes na avaliação de produtos derivados de tomate, especialmente por ter significativa influência na aceitação do produto (Pereira, 2019). Ela pode ser determinada numericamente pelo cálculo do índice de consistência, que indica o grau de resistência ao escoamento do fluido, ou seja, quanto maior o valor de k, mais viscoso será o fluido (Luporini; Rigoli, 2017). Os valores de índice de consistência dos molhos avaliados ficaram entre 7,95 e 11,20 Pa.sⁿ (Tabela 2). Estes valores são inferiores aos encontrados por Morais *et al.* (2023) para molho catchup avaliado sob diferentes temperaturas.

A metodologia de superfície de resposta foi usada para avaliar os efeitos das variáveis independentes (amido pré-gel, goma xantana e carboximetilcelulose) nas respostas de pH, sólidos solúveis e índice de consistência, as quais foram avaliadas por análise de variância (ANOVA). Quando possível, para aumento da qualidade do modelo, alguns coeficientes não significativos ($p > 0,05$) foram

excluídos do modelo inicial e os resultados ajustados foram expressos, visando a obtenção de um modelo significativo e com melhor ajuste. Desta forma, os resultados dos modelos de regressão foram avaliados pelo coeficiente de determinação R^2 , pelo coeficiente de determinação ajustado R^2_{adj} e pelo valor de p do modelo de regressão múltipla (Oliveira; Granato; Banara, 2018).

A superfície de resposta para a variável dependente pH está apresentada na Figura 4-A e a seguinte equação foi obtida: $y_1 = +4,107 \cdot x_1 + 3,991 \cdot x_2 + 4,0271 \cdot x_3 - 0,114 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,384 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0$ (Equação 2). Houve significância no modelo ajustado ($p < 0,05$), a falta de ajuste não foi significativa e, desta forma, equação é preditiva. O R^2 apresentou um valor elevado (0,94) e as variáveis independentes são significativas. Os resultados indicam que há uma tendência de maiores valores de pH quando se utiliza maiores concentrações de amido pré-gel como espessante, contrariamente ao observado para adição de goma xantana, que tende a apresentar menores valores de pH com o aumento de concentração utilizada. Lim et al. (2023) observaram que a adição de goma xantana (0,3-0,5%) ou de CMC (0,5-0,9%) não levou a uma mudança significativa no pH de uma bebida fermentada de pitaiá vermelha.

Figura 4: Superfície de resposta para os efeitos da adição de diferentes polissacarídeos no (A) pH, (B) teor de sólidos solúveis (SS) e (C) consistência dos molhos de tomate.



Fonte: Autores.

Os sólidos solúveis são os sólidos que se encontram dissolvidos no alimento. No caso do molho são incluídos os açúcares e os ácidos do tomate, bem como de outros ingredientes adicionados à formulação, como sal e condimentos, sendo um dos principais responsáveis pelo sabor (Baier; Cattelan, 2020). A superfície de resposta representativa do efeito dos polissacarídeos adicionados aos molhos de tomate sobre o conteúdo de sólidos solúveis está apresentada na Figura 4-B. A Equação ajustada obtida foi: $y_2 = +8,865 \cdot x_1 + 9,545 \cdot x_2 + 9,365 \cdot x_3 + 20,565 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0$ (Equação 3). Houve significância no modelo ajustado ($p < 0,05$), a falta de ajuste não foi significativa e, desta forma, equação é preditiva. O R^2 apresentou um valor representativo (0,89) e as variáveis independentes são significativas.

A Figura 4-B indica que a mistura dos três polissacarídeos em quantidades iguais (ponto central) foi a condição que mais influenciou o teor de sólidos solúveis dos molhos de tomate. A mistura equilibrada dos três polissacarídeos mostrou tendência a elevar os sólidos solúveis, especialmente por influência da goma xantana e da CMC, enquanto o amido pré-gelatinizado apresentou menor contribuição direta a esse parâmetro, coerente com seu comportamento predominantemente coloidal. De maneira similar, um estudo desenvolvido por Taiwo e Gift (2013) também constatou que a adição de goma xantana e CMC poderia causar leves aumentos no teor de sólidos solúveis totais de suco de tomate e cenoura.

O amido é geralmente insolúvel ou apenas parcialmente solúvel, dependendo do tratamento e da modificação, principalmente em temperaturas moderadas. No caso do amido pré-gelatinizado as dextrinas formadas podem solubilizar, mas grande parte permanece como suspensão coloidal ou rede de gel, não contribuindo de forma significativa para o teor de sólidos solúveis. Por outro lado, tanto a goma xantana quanto a CMC são polissacarídeos solúveis, frequentemente usadas em soluções aquosas até concentrações baixas (p. ex. 0,1–1 %) para conferir viscosidade. Elas se dissolvem e interagem com a água, formando redes poliméricas, e parte delas existem em solução molecular ou coloidal fina. Portanto, quando adicionadas, uma fração do polímero estará efetivamente em solução e pode contribuir ao “peso total de sólidos dissolvidos/dispersos finos” (Lim *et al.*, 2023).

A superfície de resposta para a variável dependente índice de consistência está apresentada na Figura 4-C. A equação obtida foi: $y_3 = +10,58 \cdot x_1 + 9,3 \cdot x_2 + 7,95 \cdot x_3 - 2,8 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,34 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2,18 \cdot x_2 \cdot x_3 + 23,4 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0$ (Equação 4), com todas as variáveis independentes significativas. Apesar disso, o modelo não foi significativo ($p = 0,57$) sendo, desta forma, não preditivo, além de apresentar um baixo R^2 (0,58). No entanto foi possível observar que os maiores valores de índice de consistência foram obtidos pelas maiores concentrações de amido pré-gel, enquanto os menores valores foram observados para CMC. O ponto central, com valores iguais dos três polissacarídeos, apresentou índice de consistência mais elevado que as combinações de CMC e goma xantana, embora ainda inferiores ao ponto do amido pré-gel isoladamente. Estudos demonstram que a interação de amido e gomas pode influenciar o comportamento reológico do sistema, normalmente resultando em um efeito sinérgico, onde a viscosidade final é maior que a soma dos efeitos isolados (Mandala; Palogou, 2003; Zhang; Lin; Xu, 2024; Cengiz; Dogan, 2021).

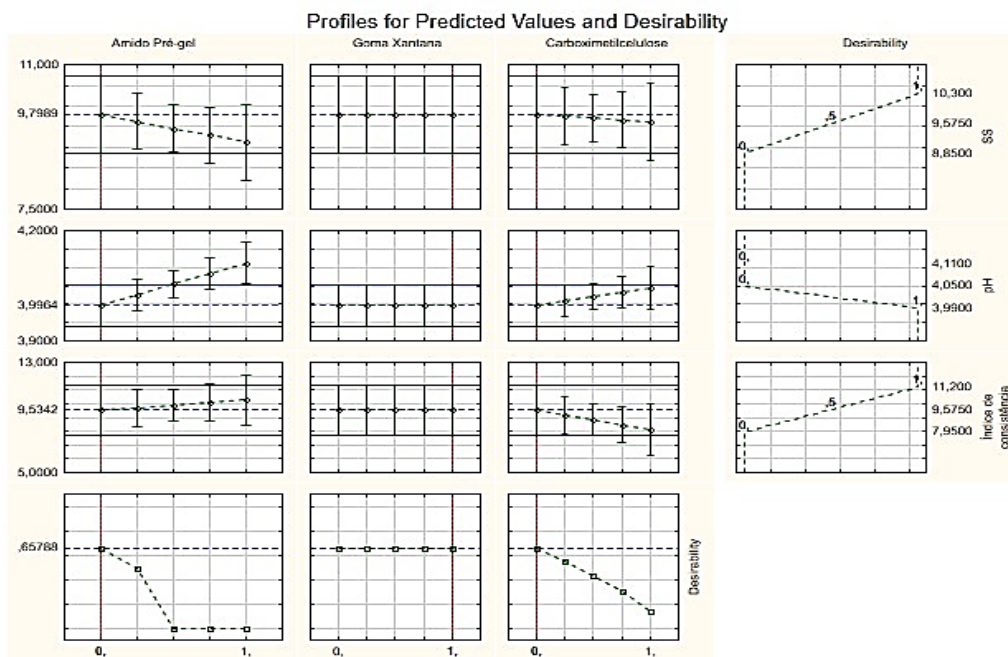
A Figura 4-C indica que o polissacarídeo com maior influência sobre a consistência do molho foi o amido pré-gel. Este tipo de amido é produzido por meio de um processo de pré-cozimento, secagem e moagem, o que permite inchar facilmente em água fria e eliminar a necessidade de aquecimento adicional para atuar como espessante. Estudos demonstram que o amido pré-gelatinizado tem sua capacidade de retenção de água aumentada e podem formar estruturas de gel mais robustas,

pois apresentam grânulos parcialmente hidratados com estrutura cristalina perturbada, de modo que suas cadeias de amilose/amilopectina (lineares e ramificadas) ficam parcialmente solubilizadas ou liberadas. Essas cadeias e fragmentos, juntamente com partículas expandidas (grânulos rompidos ou parcialmente desagregados), interagem entre si por ligações de hidrogênio e forças físicas de empacotamento, e também com moléculas de água e partículas sólidas presentes no molho. O resultado é a formação de uma rede gelificada (uma matriz física contínua) que confere rigidez estrutural e resistência ao fluxo, aumentando a viscosidade aparente do sistema (Zhang; Lin; Xu, 2024).

Depois do amido, a goma xantana foi o polissacarídeo de maior influência sobre a consistência do molho (Figura 4-C). Lim *et al.* (2023) estudaram o uso de polissacarídeos em bebida fermentada de pitaiá vermelha e também observaram que o uso de goma xantana teve maior efeito sobre a viscosidade em comparação a utilização de CMC. Os autores afirmam que as razões por trás disso podem estar relacionadas a goma xantana ser um polissacarídeo ramificado que consiste em um número maior e ramos mais longos, permitindo formar mais ligações de hidrogênio com as moléculas de água do produto, sendo assim capaz de produzir uma amostra mais viscosa. Em comparação, a CMC possui menos ramificações e depende principalmente do grau de polimerização para um maior efeito de hidratação. Como o grau de polimerização é afetado pela fração mássica de CMC, geralmente é necessária uma concentração mais alta de CMC para atingir a concentração crítica (aumento do peso molecular e da viscosidade intrínseca), a fim de que as moléculas comecem a interagir entre si e, assim, produzir uma viscosidade significativamente maior (Lim *et al.*, 2023).

Para verificar a região desejável de adição de amido pré-gel, goma xantana e carboximetilcelulose na formulação de molho de tomate, foi gerado o gráfico de desejabilidade considerando a região ótima de cada uma das variáveis dependentes (índice de consistência, pH e sólidos solúveis) estudadas (Figura 5). Para gerar o gráfico considerou-se desejável um pH baixo e índice de consistência e sólidos solúveis altos. O resultado obtido indicou como ponto ótimo a mistura de polissacarídeos com a seguinte proporção: amido pré-gel 0, goma xantana 1 e carboximetilcelulose 0. Esta formulação corresponde ao molho 2, a qual foi utilizada para a validação do modelo proposto pela desejabilidade.

Figura 5 Otimização multi-resposta para valores ótimos das variáveis dependentes.



Fonte: Autores.

A Tabela 3 apresenta dos dados correspondentes aos valores preditos nas formulações considerando a região ótima de desejabilidade, bem como os valores observados para o molho correspondente (molho 2).

Tabela 3: Valores preditos e observados para a otimização dos parâmetros dos molhos de tomate elaborados com misturas de polissacarídeos.

Variável dependente	Valor predito	Valor observado* (Molho 2)	Erro relativo (%)
Índice de consistência	9,30	9,30	0
pH	3,99	3,99±0,01	0
Sólidos Solúveis	9,55	9,60±0,57	0,52

*Resultados expressos como média ± desvio padrão.

Fonte: Autores.

Como a formulação do molho 2 apresentou resultados muito próximos ou iguais dos pontos ótimos gerados pela desejabilidade (Figura 5), os valores preditos foram validados com esta formulação. Os resultados da otimização indicam a influência da utilização dos amidos nas características do molho de tomates. Pelos resultados foi possível verificar que a adição de goma xantana na concentração de 1% e amido pré-gel e carboximetilcelulose nas concentrações de 0,20% cada, seria a proporção adequada para ter os parâmetros de pH, sólidos solúveis e consistência no molho de tomate otimizados.

4 CONCLUSÕES

Todas as formulações de molho de tomate adicionadas de polissacarídeos apresentaram comportamento pseudoplástico. O índice de consistência (K) variou entre 7,95 e 11,20 Pa·sⁿ, com as formulações enriquecidas com amido pré-gelatinizado apresentando os maiores valores de K. Isso indica que, na dosagem e condições testadas, o amido pré-gelatinizado foi o polissacarídeo mais eficaz em conferir resistência ao escoamento. Em contrapartida, as formulações com proporções maiores de CMC tenderam a apresentar maiores valores do índice de fluxo (n), o que sugere menor intensidade do efeito pseudoplástico, possivelmente pela orientação mais fácil das cadeias de CMC sob cisalhamento.

A adição dos polissacarídeos não afetou significativamente o pH dos molhos e promoveu apenas modesta variação no teor de sólidos solúveis, pela adição de goma xantana e de CMC.

Os resultados indicam que misturas de espessantes podem gerar interações sinérgicas, ajustando o desempenho reológico. O modelo apontou o ponto ótimo de desejabilidade como a formulação 2 (1% goma xantana, 0,2% amido pré-gel e 0,2% CMC), a qual mostrou excelente concordância entre predito e observado.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de uma das estudantes e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Câmpus Inhumas, pelo apoio financeiro concedido por meio do Edital nº 09/2024 - Fomento para Projetos/ Atividades/ Ações de Ensino, Pesquisa e/ou Extensão do IFG - Câmpus Inhumas que custeou a bolsa da outra estudantes e foi fundamental para a execução das atividades de pesquisa e a formação acadêmica das estudantes envolvidas.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI 2024/ Benno Bernardo Kist... [et al.]. – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2023. 94 p.

BAIER, Maria Eloana; CATTELAN, Marília Gonçalves. Influência de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no controle de qualidade de molho de tomate refogado e catchup: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica Unilago**, v. 01, n. 01, 2020.

BARACAT, Carime Aparecida. **Percepção do consumidor a respeito da cor do molho de tomate industrializado**. Campinas, 2018. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas.

BERY, Carla Crislan de Souza; OLIVEIRA, Juliana Krieger de; REINOSO, Anita Caroline Lima; SILVA, Denise Andrade da; NARAIN, Narendra. Avaliação da qualidade de extratos, molhos e polpas de tomates industrializados. Disponível em: <avaliação da qualidade de extratos, molhos e polpas> Acesso em: 26/09/2025.

CENGIZ, Ebubekir; DOGAN, Mahmut. Effect of corn starch-hydrocolloid interactions on the rheological properties of coating batters. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. 1-10, 2021.

COSTA, Camila Moreira; NACCACHE, Monica Feijó; VARGES, Priscilla. Caracterização reológica de fluidos complexos. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 4, n. 7, 2017.

FALCÃO, Heloisa G.; SEIBEL, Neusa F.; YAMAGUCHI, M. Optimization of beef paties formulation with textured soy protein, okara and bacon using a simplex-centroid mixture design. **International Journal of Latest Research in Science and Technology**. v. 4, n. 6, p. 104-109, 2015.

FARIAS BOTELHO, B. et al. **Análise físico-química de três marcas de extrato de tomate**. 2022. Disponível em: <ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE TRÊS MARCAS DE EXTRATO DE TOMATE> Acesso em: 26/09/2025.

HIMASHREE, P; SENGAR, A. S.; SUNIL, C. K. Food thickening agents: Sources, chemistry, properties and applications – A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 29, 2022.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz - Métodos físico-químico para análises de alimentos**. 4ª ed. (1ª ed. Digital), 2008. 1020p.

LIM, Teck Wei; LIM, Renee Lay Hong; PUI, Liew Phing; TAN, Chin Ping; HO, Chun Wai. Synergistic enhancing effect of xanthan gum, carboxymethyl cellulose and citric acid on the stability of betacyanins in fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink during storage. **Heliyon**, v. 9, n. 10, p. 1-13, 2023.

LUPORINI, Gabriel Sahade de Souza; RIGOLI, Isabel Cristina. Caracterização reológica de suspensões argilosas com goma xantana para fluidos de perfuração de poços de petróleo. **Revista Matéria**, v. 22, n. 01, 2017.

MANDALA, I. G.; PALOGO, E. D. Effect of Preparation Conditions and Starch/Xanthan Concentration on Gelation Process of Potato Starch Systems. **International Journal of Food Properties**, v. 6, n. 2, p. 311–328, 2003.

MORAIS, Larissa Carolina de; MEIRA, Ana Cristina Freitas de Oliveira; VERÍSSIMO, Lizzy Ayra Alcântara; RESENDE, Jaime Vilela de. Perfil reológico de ketchup sob diferentes temperaturas. **Perspectiva**, v. 47, n. 179, p. 93-100, 2023.

OLIVEIRA, Dóris Faria de; GRANATO, Daniel; BANARA, Ana Cláudia. Development and optimization of a mixed beverage made of whey and water-soluble soybean extract flavored with chocolate using a simplex-centroid design. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 413-420, 2018.

PEREIRA, Willias Fabio Silva. **Desenvolvimento de molho agridoce tipo catchup com substituição parcial de tomate por abacate**. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Maranhão / Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia. 2019.

RAHMAN, Saifur; HASAN, Saif; NITAI, Ashis Sutradhar; NAM, Sunghyun; KARMAKAR, Aneek Krishna; AHSAN, Shameem; SHIDDIKY, Muhammad J. A.; AHMED, Mohammad Boshir. Recent Developments of Carboxymethyl Cellulose. **Polymers**, v. 13, p. 1345, 2021.

TAIWO, Akanbi Charles; GIFT, Nwaokoro Onyinyechi. Studies on the Addition of Hydrocolloids to Tomato-Carrot Juice Blend. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 3, n. 4, p. 1-7, 2013.

TEIXEIRA, Lorayne Vargas Machado; MELO, Adriana Silveira Pereira de; FRAGA, Aline Guerra Manssour; SANTOS, Elisabete Pereira dos; AGUIAR, Paula Fernandes de; LEAL, Felipe Dias; VILLA, Ana Lúcia Vazquez. Otimização de uma formulação magistral de espessante alimentício utilizando planejamento estatístico de misturas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, 2022.

TONELI, Juliana Tófano Leite; MURR, Fernanda Elisabeth Xidieh; PARK, Kil Jin. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TORBICA, A.; BELOVI, M.; MASTILOVI, J.; KEVRESAN, Z.; PESTORIĆ, M.; SKROBOT, D.; HADNADEV, T. D. Nutritional, rheological, and sensory evaluation of tomato ketchup with increased content of natural fibres made from fresh tomato pomace. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 299-309, 2016.

URIBE-WANDURRAGA, Zaida Natalia; IGUAL, Marta; RUFINO, Rafael Guallar-DE; SAVALL, Carmen; GARCÍA-SEGOVIA, Purificación; MARTÍNEZ-MONZO, Javier. Physicochemical and rheological characterization of microalgae-enriched ketchups and their sensory acceptability. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, 2021.

VIDAL, José Raniere Mazile Bezerra; PELEGRINE, Daniela Helena; GASPARETTO, Carlos Alberto. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica L-Keitt*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 39–42, 2004.

ZHANG, Xuanyi; LIN, Xiaojun; XU, Baojun. Morphological, physicochemical, and pasting properties of pre-gelatinized starch prepared by high-pressure homogenizer: A comparative study on starches from different resources, **Food Research International**, v. 197, 2024.