

# PERFIL REOLÓGICO DE KETCHUP SOB DIFERENTES TEMPERATURAS

Rheological profile of ketchup at different temperatures

Larissa Carolina de Moraes<sup>1</sup>, Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira<sup>1</sup>,  
Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo<sup>2</sup>, Jaime Vilela de Resende<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda no Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil

<sup>2</sup>Professor no Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil

\* *E-mail*: jvresende@ufla.br.

Data do recebimento: 30/06/2023 - Data do aceite: 15/08/2023

**RESUMO:** As propriedades reológicas do *ketchup* são consideradas um dos atributos de qualidade mais importantes desse alimento, pois influenciam os parâmetros de processamento e a aceitabilidade do produto. O comportamento de fluxo e a viscosidade desse fluido, sofrem grande influência da temperatura à qual o produto é submetido e podem ser precisamente avaliados por viscosimetria rotacional. O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil reológico de *ketchup* comercial a 5, 15, 25, 35 e 45 °C, empregando um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos. Os resultados mostraram que, para todas as temperaturas, o *ketchup* exibiu um perfil de fluido não newtoniano pseudo-plástico ( $<1$ ) e que incrementos na temperatura ocasionaram uma diminuição do índice de comportamento do fluido ( $\lambda$ ), indicando maior pseudoplasticidade das amostras analisadas a 15, 25 e 35 °C com  $\lambda$  igual a 0,172, 0,153, 0,161, respectivamente. O índice de consistência desse fluido ( $K$ ) aumentou de 5 até 25 °C, e em seguida reduziu até 45 °C, diminuindo a viscosidade do molho, sendo que os menores valores de viscosidade aparente foram observados para amostras submetidas a 35 e 45 °C. Em suma, foi possível observar que a temperatura exerceu uma influência significativa nos parâmetros reológicos do *ketchup*.

**Palavras-chave:** Curvas de fluxo. Viscosidade. Molho.

**ABSTRACT:** The rheological properties of ketchup are considered one of the most important quality attributes of this food, as they influence the pro-

cessing parameters and product acceptability. The behavior of the flow and the viscosity of this fluid, are greatly influenced by the temperature to which the product is subjected to and can be accurately evaluated by rotational viscometer. The objective of this work was to evaluate the rheological profile of commercial ketchup at 5, 15, 25, 35 and 45 °C, using a rotational viscometer with concentric cylinders. The results showed that, for all temperatures, ketchup exhibited a pseudoplastic non-Newtonian fluid flow profile ( $n < 1$ ) and that increasing temperature led to a decrease in the fluid behavior index ( $n$ ), indicating greater pseudoplasticity of the samples analyzed at 15, 25 and 35 °C with  $n$  equal to 0.172, 0.153 and 0.161, respectively. The consistency index of this fluid ( $k$ ) increased from 5 to 25 °C, and then reduced to 45°C, decreasing the viscosity of the sauce, with the lowest apparent viscosity values observed for samples submitted to 35 and 45°C. In short, it was possible to observe that the temperature exerted a significant influence on the rheological parameters of ketchup.

**Keywords:** Flow curves. Viscosity. Sauce.

## Introdução

O *ketchup* é um dos produtos à base de tomate que mais se destaca no mercado global, arrecadando cerca de US\$ 33 milhões em 2022 (SILVA et al., 2023). No Brasil, o consumo *per capita* desse tipo de molho foi de, aproximadamente, 1,5 kg em 2022 e, segundo Statista GmbH (2022), o mercado brasileiro para esse produto deve crescer 8% até 2026.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que o *ketchup* é o produto elaborado a partir da polpa de frutos maduros do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.), podendo ser adicionado de outros ingredientes desde que não descaracterizem o produto (BRASIL, 2005). Em suma, esse produto à base de tomate possui em sua formulação vinagre, açúcar, sal e especiarias, sendo, corriqueiramente, adicionado em preparações culinárias visando a modificar ou

intensificar o sabor e o aroma dos alimentos (URIBE-WANDURRAGA et al., 2021).

As propriedades reológicas do *ketchup* são consideradas um dos atributos de qualidade mais importantes desse tipo de alimento, uma vez que influenciam os parâmetros de processamento do produto, especialmente as propriedades de fluxo durante o transporte, bem como a aceitabilidade dos consumidores (AHOUAGI et al., 2021; TORBICA et al., 2016). Dessa forma, a indústria alimentícia deve manter um controle rigoroso do processo produtivo, uma vez que pequenas alterações nas matérias primas, bem como mudanças nos processos de elaboração desse alimento, afetam, diretamente, o comportamento de fluxo e sua viscosidade final (BERTA et al., 2016; SATO; CUNHA, 2017;).

Segundo Steffe (1996), o comportamento de fluxo de um fluido pode ser afetado por diversos fatores, como o teor de sólidos no produto e a temperatura. Em termos gerais, a viscosidade reduz com a diminuição do teor de sólidos e com o aumento da temperatura.

No primeiro caso, a movimentação das partículas é facilitada em fluidos com baixas concentrações de sólidos. Já no que tange à temperatura, acredita-se que maiores temperaturas promovem uma maior movimentação das partículas da solução, de modo que as forças intermoleculares são enfraquecidas e conseqüentemente há uma redução da resistência ao escoamento (JUNQUEIRA et al., 2019).

Devido à complexidade da matriz alimentar do *ketchup*, é provável que a atuação da temperatura nesse produto se torne ainda mais complexa, visto que microestruturalmente o *ketchup* se caracteriza como uma dispersão de partículas suspensas em um soro coloidal, sendo que as partículas incluem células desintegradas e material de parede celular (lignina, hemiceluloses e materiais pécticos insolúveis em água), e o soro engloba componentes do tomate solúveis em água e os agentes espessantes adicionados durante o seu processo de produção (BELOVIĆ et al., 2018; KUMBÁR; ONDRUŠÍKOVÁ; NEDOMOVÁ, 2019).

O *ketchup* é um molho que pode ser armazenado em temperatura ambiente ou sob refrigeração e, normalmente, é empregado em alimentos mornos e quentes, de modo que o consumidor observa consistências diferentes que podem afetar sua percepção a respeito do produto. Logo, o estudo do perfil de escoamento, não apenas durante a produção do produto, mas também durante seu emprego sob diferentes condições de temperatura, é um fator importante a ser investigado (BERTA et al., 2016). Além disso, nas rotinas industriais a viscosidade desse molho é analisada empregando um consistômetro Bostwick, um método simples e funcional que permite uma medição empírica da distância que um volume específico de fluido pode fluir sob seu próprio peso, em um intervalo de tempo conhecido (BAYOD, WILLERS; TORNBERG, 2008). Todavia,

uma análise mais precisa pode ser obtida por meio da viscosimetria rotacional que requer um número discreto de medições em diferentes velocidades para determinar a curva de fluxo completa de um fluido (BERTA et al., 2016). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil reológico de *ketchup* tradicional, em diferentes temperaturas, empregando um viscosímetro rotacional.

## Material e Métodos

### Material

O *ketchup* tradicional foi adquirido no comércio de Lavras – MG e após abertura foi armazenado sob refrigeração (4 °C), segundo recomendação do fabricante, até a realização da análise. Vale ressaltar que a escolha do *ketchup* foi baseada no valor do produto e na presença de goma xantana em sua formulação.

### Perfil reológico

O perfil reológico do *ketchup* foi determinado a 5, 15, 25, 35 e 45 °C, com o auxílio de um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos (Brookfield DVIII Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, EUA) acoplado a um banho termostático Brookfield (modelo EX 200, Brookfield Engineering Laboratories). As amostras foram acondicionadas no recipiente próprio e permaneceram em repouso até atingirem a temperatura desejada. Posteriormente, as análises foram realizadas, empregando o Spindle SC4-25 e uma rampa crescente de taxa de deformação variando de 3,3 a 55 s<sup>-1</sup>, com incrementos de velocidade de 15 rpm, sendo tomados 17 pontos com quatro repetições. Para determinar o perfil de fluxo dos fluidos, o modelo Lei da Potência (Equação 1) foi ajustado aos dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação (STEFFE, 1996).

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Em que  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $k$  é o índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de cisalhamento (s<sup>-1</sup>) e  $n$  é o índice de comportamento do fluxo (adimensional).

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de média Tukey ( $p < 0,05$ ), empregando o pacote estatístico SAS University Edition (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Os gráficos foram plotados com o *software* SigmaPlot (versão 11.0).

### Resultados e Discussão

Os dados reológicos de tensão de cisalhamento e taxa de deformação do *ketchup* em diferentes temperaturas foram analisados, e verificou-se que o modelo Lei da Potência (Tabela I) apresentou bom ajuste aos dados, uma vez que exibiu elevados coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,919$ ) e valores reduzidos para a raiz quadrada do erro médio (RMSE  $< 2,399$ ).

A partir da Tabela I, observa-se que as amostras de *ketchup* submetidas a diferentes

temperaturas exibiram perfil de um fluido não newtoniano pseudoplástico ( $< 1$ ). A amostra submetida a 5 °C apresentou maior índice de comportamento do fluido ( $= 0,264$ ), enquanto as amostras analisadas a 15, 25 e 35 °C foram estatisticamente iguais e exibiram os menores valores para esse parâmetro (0,172, 0,153 e 0,161, respectivamente), indicando que o comportamento pseudoplástico tende a se intensificar com o aumento da temperatura do produto.

A Figura 1 evidencia o decréscimo da viscosidade aparente das amostras de *ketchup* com o aumento da taxa de deformação, confirmando a conduta pseudoplástica desse tipo de produto para todas as temperaturas empregadas. Fluidos com essa classificação, ao serem cisalhados, têm um maior alinhamento das partículas na direção da tensão aplicada de forma que a resistência ao movimento é reduzida, conseqüentemente diminuindo a viscosidade (FERREIRA; GUIMARÃES; MAIA, 2008).

Comportamento semelhante ao encontrado neste trabalho foi observado por Torbica et al. (2016) e Uribe-Wandurraga et al. (2021), em seus estudos com *ketchup* adicionados de fibra de tomate e microalgas, respectivamente. Esses autores relataram que seus molhos apresentaram perfil pseudoplástico com o índice de comportamento de fluido variando, em média, de 0,200 a 0,300 a 25 °C.

**Tabela I** - Parâmetros reológicos obtidos para *ketchup* em diferentes temperaturas.

Tratamentos	Lei da Potência			
	R <sup>2</sup>	RMSE	k	n
5 °C	0,984	1,675	28,835 ± 2,180 <sup>c</sup>	0,264 ± 0,015 <sup>a</sup>
15 °C	0,949	2,078	38,776 ± 3,244 <sup>ab</sup>	0,172 ± 0,013 <sup>bc</sup>
25 °C	0,919	2,399	41,623 ± 1,923 <sup>a</sup>	0,153 ± 0,004 <sup>c</sup>
35 °C	0,965	1,386	35,080 ± 2,818 <sup>bc</sup>	0,161 ± 0,012 <sup>bc</sup>
45 °C	0,972	1,415	31,345 ± 1,498 <sup>c</sup>	0,188 ± 0,018 <sup>b</sup>

R<sup>2</sup> é o coeficiente de correlação; RMSE é a raiz quadrada do erro médio;  $k$  é o índice de consistência (Pa s<sup>n</sup>);  $n$  é o índice de comportamento de fluxo (adimensional). Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

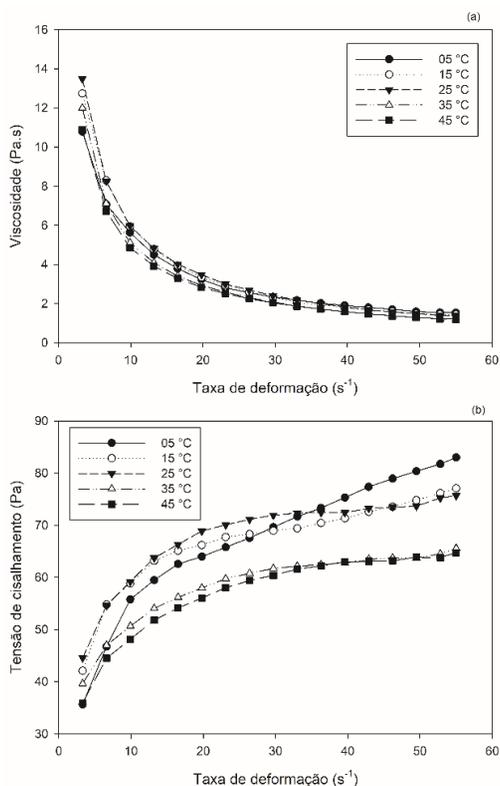
De acordo com Sharoba et al. (2005), esse perfil reológico é resultado de uma complexa interação entre os sólidos solúveis, substâncias pécticas e a alta concentração de partículas presentes nos molhos *ketchup*. Ademais, o perfil encontrado no presente trabalho pode estar relacionado à presença de goma xantana utilizada como espessante no *ketchup* analisado, visto que, a adição desses hidrocoloides gera aumento no teor de sólidos e na pseudoplasticidade do fluido, resultante, principalmente, de movimentos moleculares e formação de filme interfacial (KOOCHKEI et al., 2009).

Os resultados para o índice de consistência do fluido ( $\kappa'$ ) exibiram uma relação entre tal parâmetro e a temperatura de trabalho, de modo que incrementos na temperatura até 25 °C ocasionaram um aumento de  $\kappa'$  e em contrapartida temperaturas superiores a 25 °C causaram uma diminuição de  $\kappa'$  para os *ketchups*. Uma possível justificativa para tal comportamento está relacionada ao fato de que o aquecimento de 5 até 25 °C pode ter causado uma diminuição dos tamanhos das partículas sólidas presentes no *ketchup*, produzindo uma área interfacial maior e interações interpartículas mais fortes, resultando em maior consistência do produto (JUSZCZAK; OCZADŁY; GAŁKOWSKA, 2013; TORBICA et al., 2016). Além disso, Torbica et al. (2016) afirmam que, sob aquecimento, as partículas do molho podem sofrer alterações da forma esferoidal para alongada, levando a uma maior consistência e resistência ao fluxo.

Em temperaturas superiores a 25 °C, o índice de consistência pode ter diminuído, principalmente devido a alterações nas moléculas de goma xantana. No processo de produção de *ketchup*, a goma xantana é utilizada como um agente espessante a fim de aumentar a consistência e evitar a separação do soro do *ketchup* (GUJRAL; SHARMA; SINGH, 2002; MERT, 2012). Em tempe-

raturas mais baixas, as moléculas de goma xantana existem como uma dupla hélice, mas são convertidas em espiral em temperaturas mais altas, causando uma diminuição da consistência e, conseqüentemente, da viscosidade do produto (TORBICA et al., 2016).

**Figura 1** - Reogramas de *ketchup* analisados em diferentes temperaturas. (a) Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação; (b) Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação.



Os valores obtidos para o índice de consistência variaram de 28,835 a 41,623 Pa.s<sup>n</sup> e foram próximos aos valores de 31,110 Pa.s<sup>n</sup> e 26,358 Pa.s<sup>n</sup> encontrados, respectivamente, por Torbica et al. (2016) e por Uribe-Wandurraga et al. (2021), para *ketchup* tradicional. Os menores valores de viscosidade aparente podem ser observados para as amostras submetidas a 35 e 45 °C, como esperado, já que, nesse caso, maiores temperaturas promovem

uma maior movimentação das partículas da solução, de modo que as forças intermoleculares são enfraquecidas e, conseqüentemente, há uma redução da resistência ao escoamento (JUNQUEIRA et al., 2019) respectively. The mucilage solutions were classified as pseudoplastic and the behavior was explained by the power law. The HOPN concentration had a positive effect and temperature had a negative effect on the apparent viscosity. The linear viscoelasticity region exceeded the 1% deformation in all systems which were characterized as natural polymeric gels. Higher concentration yielded the higher mucilage deformability and the greater structural resistance. The frequency sweep showed that the mucilage with concentration of 1% at 2 °C do not have defined behavior; concentrations of 1% (12–42 °C).

Apesar das diferenças evidenciadas estatisticamente para o comportamento reológico do *ketchup*, observa-se, por meio da Figura 1<sup>a</sup>, que as temperaturas analisadas apresentaram efeito pouco pronunciado sobre a viscosidade do *ketchup*, visto que as curvas de viscosidade estão sobrepostas e, ao fixarmos a taxa de deformação em 30 s<sup>-1</sup>, verificamos que os valores para a viscosidade aparente estão próximos a 2 Pa.s para as amostras submetidas às diferentes temperaturas empregadas. Vale ressaltar que não foi possível utilizar temperaturas superiores a 45 °C no presente trabalho devido às limitações do equipamento. Todavia, um estudo com tem-

peraturas superiores seria interessante para uma avaliação mais ampla do efeito dessa variável no perfil reológico de *ketchup* comercial, visto que conhecer as propriedades reológicas das matrizes alimentares fluidas é importante para aceitação sensorial, controle de qualidade e para auxiliar no correto dimensionamento dos equipamentos presentes nas linhas produtivas (BERTA et al., 2016).

## Conclusão

O comportamento reológico de molhos à base de tomate, como o *ketchup*, é afetado diretamente pela temperatura à qual o produto é submetido. Apesar do *ketchup* apresentar comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas empregadas neste trabalho, observa-se, de uma forma geral, que incrementos na temperatura levaram a uma diminuição do índice de comportamento do fluido, indicando maior pseudoplasticidade das amostras analisadas a 15, 25 e 35 °C. Além disso, o índice de consistência desse fluido aumentou até 25 °C, e em seguida sofreu uma redução, diminuindo, conseqüentemente, a viscosidade do molho, sendo que os menores valores de viscosidade aparente foram observados para as amostras submetidas a 35 e 45 °C. Em suma, foi possível observar que a temperatura exerceu uma influência significativa nos parâmetros reológicos do *ketchup*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Os autores também agradecem ao Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

## REFERÊNCIAS

- AHOUAGI, V. B. ; MEQUELINO, D. B.; TAVANO, O. L.; GARCIA, J.A.D.; NACHTIGALL, A. M.; BOAS, B. M. Physicochemical characteristics, antioxidant activity, and acceptability of strawberry-enriched ketchup sauces. **Food Chemistry**, v. 340, n. July 2020, p. 127925, 2021.
- BAYOD, E.; WILLERS, E. P.; TORNBORG, E. Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 7, p. 1289-1300, 2008.
- BELOVIĆ, M.; TORBICA, A.; LIJAKOVIĆ, I. P.; TOMIĆ, J.; LONCAREVIĆ, I.; PETROVIĆ, J. Tomato pomace powder as a raw material for ketchup production. **Food Bioscience**, v. 26, n. October, p. 193-199, 2018.
- BERTA, M.; KOTZE, R.; WIKLUND, J.; STADING, M. Correlation between in-line measurements of tomato ketchup shear viscosity and extensional viscosity. **Journal of Food Engineering**, v. 173, p. 8-14, 2016.
- BRASIL. Resolução RDC nº276, de 22 de setembro de 2005. **Diário Oficial da União**, p. 7, 2005.
- FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. D. O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008.
- GUJRAL, H. S.; SHARMA, A.; SINGH, N. Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. **International Journal of Food Properties**, v. 5, n. 1, p. 179-191, 2002
- JUNQUEIRA, L. A.; SILVA, da V. M.; AMARAL, T. N.; PRADO, M. E. T.; RESENDE, J. V. de. Effects of temperature and concentration on the rheological properties of mucilage extracted from *Pereskia aculeata* Miller. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 4, p. 2549-2562, 2019.
- JUSZCZAK, L.; OCZADŁY, Z.; GAŁKOWSKA, D. Effect of Modified Starches on Rheological Properties of Ketchup. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1251-1260, 2013.
- KOOCHEKI, A.; GHANDI, A.; RAZAVI, S. M.A.; MORTAZAVI, S. A.; VASILJEVICZ, T. The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 3, p. 435-656, 2009.
- KUMBÁR, V.; ONDRUŠÍKOVÁ, S.; NEDOMOVÁ, S. Rheological properties of tomato ketchup. **Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences**, v. 13, n. 1, p. 730-734, 2019.
- MERT, B. Using high pressure microfluidization to improve physical properties and lycopene content of ketchup type products. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 3, p. 579-587, 2012.
- SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007
- SHAROBA, A. M.; EL-MANSY, H.A.; BAHLOL, H.ELM.; BLOCHWITZ, R. Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. **European Food Research and Technology**, v. 220, p. 142-151, 2005.
- SILVA, K. G. DA; MOREIRA, M. Z; MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B. de. Isotopic characterization of Brazilian ketchup: Is tomato its main ingredient? **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 119, n. July 2022, 2023.

STATISTA GMBH, 2022. Tomato Ketchup. Disponível em: <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/sauces-spices/tomato-ketchup/worldwide>. Acesso em: 09 abr. 2023.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Michigan: Freeman Press, 1996.

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, Z. N.; IGUAL, M.; RUFINO, R. G-DE; SAVALL, C.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; MARTÍNEZ-MONZO, J. Physicochemical and rheological characterisation of microalgae-enriched ketchups and their sensory acceptability. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, 2021.