

Influence of natural and synthetic polymers on the texture and sensory properties of cosmetic formulations

Influência de polímeros naturais e sintéticos nas propriedades sensoriais e de textura de formulações cosméticas

Gabrielly Batistela Scatolini , Bianca Navarro de Jesus , Letícia Kakuda ,
Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos  

Keywords: Gels, texture profile, natural polymer, synthetic polymer, sensory analysis

Palavras-chave: Géis, perfil de textura, polímero natural, polímero sintético, análise sensorial

To Cite:

Gabrielly Batistela Scatolini et. al (2025) Influence of natural and synthetic polymers on the texture and sensory properties of cosmetic formulations. *Biomedical and Biopharmaceutical Research*, 22(1), 56-74.
 <https://doi.org/10.19277/bbr.22.1.349>

School of Pharmaceutical Sciences of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Avenida Do Café S/N, Vila Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, 14040-903, Brazil

Correspondence to / Correspondência a:
pmcampos@usp.br

Received / Recebido: 24/12/2024
Accepted / Aceite: 22/03/2025

Abstract

Polymers are widely used in cosmetic formulations due to their multifunctionality. Therefore, selecting the appropriate polymer and determining its optimal concentration is crucial for cosmetic development. Texture evaluation plays a key role in this process, and understanding the influence of operational variables, such as speed during measurements, is essential for accurate characterization. In this context, the study aimed to analyze the texture profile and sensory properties of gel formulations containing synthetic and natural polymers at different concentrations using Texture Analyzer TA.XT/Plus® and Sensorimeter® SR 100, as well as correlating both analyses. Results showed a correlation between the instrumental measurements and the speed variable in the texture parameters such as firmness, consistency, cohesiveness, and viscosity. Furthermore, polymers obtained from natural sources did not influence the spreadability in the sensory analysis, even at higher concentrations. The synthetic polymers altered spreadability and stickiness with increasing concentration. These findings emphasize the importance of understanding polymer chemical structures and polymeric networks in designing stable and effective formulations. Finally, natural polymers exhibited lower values for texture parameters but provided better sensory properties, demonstrating their potential to increase consumer satisfaction with cosmetic products.

Resumo

Polímeros são amplamente utilizados em formulações cosméticas devido à sua multifuncionalidade. Portanto, selecionar o polímero adequado e determinar sua concentração ideal são cruciais para o desenvolvimento cosmético. A avaliação da textura é fundamental nesse processo, e compreender a influência de variáveis operacionais, como velocidade durante medições, é essencial para uma caracterização precisa. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo analisar o perfil de textura e as propriedades sensoriais de formulações em gel contendo polímeros sintéticos e naturais em diferentes concentrações, utilizando o Texture Analyzer TA.XT/Plus® e o Sensorimeter® SR 100, além de correlacionar ambas as análises. Os resultados mostraram correlação entre as medições instrumentais e a variável velocidade nos parâmetros de textura, como firmeza, consistência, coesão e viscosidade. Além disso, polímeros obtidos de fontes naturais não influenciaram a espalhabilidade na análise sensorial, mesmo em concentrações maiores. Os polímeros sintéticos alteraram a espalhabilidade e a pegajosidade com o aumento da concentração. Esses resultados enfatizam a importância da compreensão das estruturas químicas dos polímeros e das redes poliméricas no desenvolvimento de formulações estáveis e eficazes. Por fim, polímeros naturais apresentaram valores inferiores nos parâmetros de textura, mas proporcionaram melhores propriedades sensoriais, demonstrando potencial para aumentar a satisfação do consumidor com produtos cosméticos.

Introduction

Cosmetic and dermocosmetic products have been developed and improved to innovate and promote sensory experiences that meet the expectations of the respective target audience based on ethnicity, lifestyle, age, and skin type (1-3). Besides the efficacy and functionality of cosmetic products, the texture properties of the formulation greatly influence consumer choice. Due to this, sensory analysis has been a tool for describing and quantifying the texture of cosmetics (3-6).

Polymers are a diverse class of raw materials widely utilized in the cosmetics industry for their ability to create formulations with various sensory properties (7,8). Their multifunctional nature allows them to serve as film formers, rheological additives, and modifiers of texture parameters such as cohesiveness, consistency, apparent viscosity, and firmness (8-10). Therefore, it is crucial to understand the impact of polymers on the physical and mechanical attributes of formulations when striving to create products that satisfy the sensory expectations of consumers (7,11-13).

Natural polymers such as xanthan gum, corn starch, and cellulose are biocompatible, safe, and environmentally friendly. They are primarily utilized in cosmetic applications. In contrast, synthetic polymers offer a longer shelf life, can be molded for specific applications, and can be produced on a large scale (11,14).

During the development of a formulation, selecting the ideal polymer and considering concentration and combination are some of the primary challenges in achieving stability and efficacy of cosmetics. These parameters directly influence the physicochemical and mechanical properties of the formulation and consequently impact the sensory properties of the final product. Therefore, in addition to ensuring quality and selecting appropriate polymers, it is necessary to enhance these properties to create a satisfactory formulation (5,15-18).

The development of polymer-based formulations presents several challenges, including the stability of polymer networks over time, their compatibility with active ingredients, biodegradability, and the environmental impact of microplastic pollution (19). Additionally, achieving the desired sensorial

Introdução

Produtos cosméticos e dermocosméticos têm sido desenvolvidos e aprimorados para inovar e promover experiências sensoriais que atendam às expectativas do público-alvo, considerando aspectos como etnia, estilo de vida, idade e tipo de pele (1-3). Além da eficácia e funcionalidade dos produtos cosméticos, as propriedades de textura das formulações têm grande influência na escolha do consumidor. Por isso, a análise sensorial tem sido uma ferramenta importante para descrever e quantificar a textura de cosméticos (3-6).

Os polímeros constituem uma classe diversificada de matérias-primas amplamente utilizadas na indústria cosmética devido à sua capacidade de criar formulações com diferentes propriedades sensoriais (7,8). Sua natureza multifuncional permite que atuem como formadores de filme, aditivos reológicos e modificadores de parâmetros de textura, como coesividade, consistência, viscosidade aparente e firmeza (8-10). Assim, é essencial compreender o impacto dos polímeros nos atributos físicos e mecânicos das formulações para desenvolver produtos que atendam às expectativas sensoriais dos consumidores (7,11-13).

Polímeros naturais, como goma xantana, amido de milho e celulose, são biocompatíveis, seguros e ambientalmente amigáveis. Eles são principalmente utilizados em aplicações cosméticas. Em contraste, os polímeros sintéticos oferecem maior vida útil, podem ser moldados para aplicações específicas e produzidos em larga escala (11,14).

Durante o desenvolvimento de uma formulação, a seleção do polímero ideal e a consideração da concentração e combinação são alguns dos principais desafios para alcançar a estabilidade e a eficácia dos cosméticos. Esses parâmetros influenciam diretamente as propriedades físico-químicas e mecânicas da formulação e, conseqüentemente, impactam as propriedades sensoriais do produto final. Portanto, além de garantir a qualidade e selecionar os polímeros apropriados, é necessário aprimorar essas propriedades para criar uma formulação satisfatória (5,15-18).

O desenvolvimento de formulações à base de polímeros apresenta diversos desafios, como a estabilidade das redes poliméricas ao longo do tempo, sua compatibilidade com ingredientes ativos, biodegradabilidade e o impacto ambiental da poluição por microplásticos (19). Além disso, alcançar

properties while maintaining formulation stability remains a critical challenge (16). Addressing these aspects is essential for developing effective and eco-friendly cosmetic formulations.

Texture analysis is often discussed in the food field (20-22). However, this technique has been introduced with great frequency in cosmetic studies as it comprises a set of sensory and physical properties related to the molecular interactions of the constituents. Texture analysis has become an important and sensitive tool capable of predicting the behavior of the cosmetics, guaranteeing stability, and providing the necessary parameters for building appropriate sensory properties for the formulation (5,23-25). Through analysis, it is possible to obtain parameters such as firmness, cohesiveness, consistency, and apparent viscosity (23,26-28).

In this context, instrumental measurements can be correlated to the performance of the formulation when applied to the skin, and contribute to achieving pleasant sensory properties in a cosmetic product. Thus, the present study aimed to evaluate and compare the influence of natural and synthetic polymers at different concentrations on the texture profile and sensory properties of cosmetics formulations.

Materials and Methods

Studied Formulations

The formulations were developed based on three polymers obtained from natural sources: hydroxyethylcellulose - HEC, xanthan gum - GOX, and sodium hydroxypropyl starch phosphate - AMM, as well as two synthetic hydrophilic polymers: Carbomer - CBP and Ammonium Acryloyldimethyltaurate/VP Copolymer - ARF (Figure 1). The gel formulations developed were described in Table 1. For each polymer examined, three concentrations - minimum, medium, and maximum, were utilized in accordance with the manufacturers' recommendations. The polymers were dispersed in purified water to obtain a homogeneous mixture. The HEC-containing solution required heating to 60 °C and continuous stirring at 500 rpm. The samples were stored at 25 °C for 52 weeks and underwent a stability test that evaluated their organoleptic characteristics and pH.

as propriedades sensoriais desejadas enquanto se mantém a estabilidade da formulação continua sendo um desafio crítico (16). Abordar esses aspectos é essencial para o desenvolvimento de formulações cosméticas eficazes e ecologicamente sustentáveis.

A análise de textura é frequentemente abordada no campo alimentício (20-22). No entanto, essa técnica tem sido introduzida com grande frequência em estudos cosméticos, pois engloba um conjunto de propriedades sensoriais e físicas relacionadas às interações moleculares dos constituintes. Em outras palavras, a análise de textura tornou-se uma ferramenta importante e sensível, capaz de prever o comportamento dos cosméticos, garantir estabilidade e fornecer os parâmetros necessários para construir propriedades sensoriais adequadas para a formulação (5,23-25). Por meio dessa análise, é possível obter parâmetros como firmeza, coesividade, consistência e viscosidade aparente (23,26-28).

Nesse contexto, as medições instrumentais podem ser correlacionadas ao desempenho da formulação quando aplicada na pele e contribuir para a obtenção de propriedades sensoriais agradáveis em um produto cosmético. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar a influência de polímeros naturais e sintéticos em diferentes concentrações no perfil de textura e nas propriedades sensoriais de formulações cosméticas.

Material e Métodos

Formulações estudadas

As formulações foram desenvolvidas com base em três polímeros de fontes naturais: hidroxietilcelulose - HEC, goma xantana - GOX e fosfato de amido hidroxipropílico de sódio - AMM, além de dois polímeros hidrofílicos sintéticos: Carbômero - CBP e Copolímero de Amônio Acriloidimetiltaurato/VP - ARF (Figura 1). As formulações em gel desenvolvidas estão descritas na Tabela 1. Para cada polímero analisado, foram utilizadas três concentrações - mínima, média e máxima - de acordo com as recomendações do fabricante. Os polímeros foram dispersos em água purificada para obter uma mistura homogênea. A solução contendo HEC precisou ser aquecida a 60 °C e continuamente agitada a 500 rpm. As amostras foram armazenadas a 25 °C por 52 semanas e passaram por um teste de estabilidade, no qual foram avaliadas suas características organolépticas e o pH.

Table 1 - Gel Formulations (w/w) - Composition of the hydroxyethyl cellulose (HEC), xanthan gum (GOX), Ammonium Acryloyldimethyltaurate/VP Copolymer (ARF), carbomer (CBP), and Hydroxypropyl Starch Phosphate (AMM) gel formulations, along with their respective minimum, mean, and maximum concentrations of polymers.

Tabela 1 - Formulações de Gel (p/p) - Composição das formulações de gel contendo hidroxiethylcelulose (HEC), goma xantana (GOX), copolímero de amônio acryloyldimetiltaurato/VP (ARF), carbômero (CBP) e fosfato de amido hidroxipropílico (AMM), juntamente com suas respectivas concentrações mínimas, médias e máximas de polímeros.

INCI* NAME	% (w/w)													
	HEC	HEC	HEC	GOX	GOX	GOX	ARF	ARF	ARF	CBP	CBP	CBP	AMM	AMM
Aqua (Water)	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	q.s.p. 100	q.s.p. 100	q.s.p. 100	0.5	1	1.5	q.s.p. 100	q.s.p. 100
Glycerin	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Propanediol	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Disodium EDTA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Xylitol Sesquicaprylate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Butylene Glycol	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hydroxyethylcellulose	0.5	1	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Xanthan Gum	-	-	-	0.5	1	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Ammonium Acryloyldimethyltaurate / VP Copolymer	-	-	-	-	-	-	0.5	1	1.5	-	-	-	-	-
Carbomer	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	1	1.5	-	-	-
Sodium Hydroxypropyl Starch Phosphate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	1

The pH was determined using an R-TEC-7/2-MP pH meter (Tecnal, Brazil), inserting the probe directly into the sample. Measurements were performed in triplicate over the 52 weeks of the stability study.

Texture profile analysis

The texture analysis was conducted 24 hours after the formations were prepared. This analysis consisted of inserting an analytical probe into the sample at a defined distance and speed, with a predefined recovery period between the end of the first and the beginning of the second compression (Figure 2). For this purpose, the Texture Analyzer TA.XT/Plus® (Stable Micro Systems®, UK) coupled with Exponent® software was used. To obtain the firmness, cohesiveness, consistency, and apparent viscosity parameters, the system was equipped with a 40 mm Back Extrusion rig (A/BE), and the formulations were placed in a 125 mL container with a diameter of 50 mm and filled to 75% of its capacity. The texture parameters were obtained based on the force (N) by time (t) axis graph resulting from the back-extrusion analysis.

The conditions for the back-extrusion analysis of the polymers Hydroxyethylcellulose, Xanthan Gum, Acryloyldimethyltaurate/VP Copolymer, Carbomer, and Hydroxypropyl Starch Phosphate were defined according to Table 2. Speeds ranging from 1 to 10 mm/s were selected to evaluate the impact of testing

A determinação do pH foi realizada com auxílio do peagâmetro do tipo R-TEC-7/2-MP (Tecnal, Brasil) diretamente na amostra. As medidas foram feitas em triplicata ao longo das 52 semanas do estudo de estabilidade.

Análise do perfil de textura

Vinte e quatro horas após o preparo das formulações, foi realizado o teste de textura. Essa análise consiste em inserir uma sonda analítica na amostra a uma distância e velocidade definidas, com um período de recuperação pré-definido entre o final da primeira e o início da segunda compressão (Figura 2). Para isso, foi utilizado o Texture Analyzer TA.XT/Plus® (Stable Micro Systems®, Reino Unido) acoplado ao software Exponent®. Para obter os parâmetros de firmeza, coesividade, consistência e viscosidade aparente, o sistema foi equipado com o probe analítico Back Extrusion Rig (A/BE) de 40 mm, e as formulações foram colocadas em um recipiente de 125 mL com diâmetro de 50 mm, preenchido até 75% de sua capacidade. Os parâmetros de textura podem ser obtidos com base no gráfico do eixo força (N) por tempo (t) resultante da análise de extrusão reversa.

As condições para a análise de extrusão reversa dos polímeros Hidroxietilcelulose, Goma Xantana, Copolímero de Acriloidimetiltaurato/VP, Carbômero e Fosfato de Amido Hidroxipropílico foram definidas

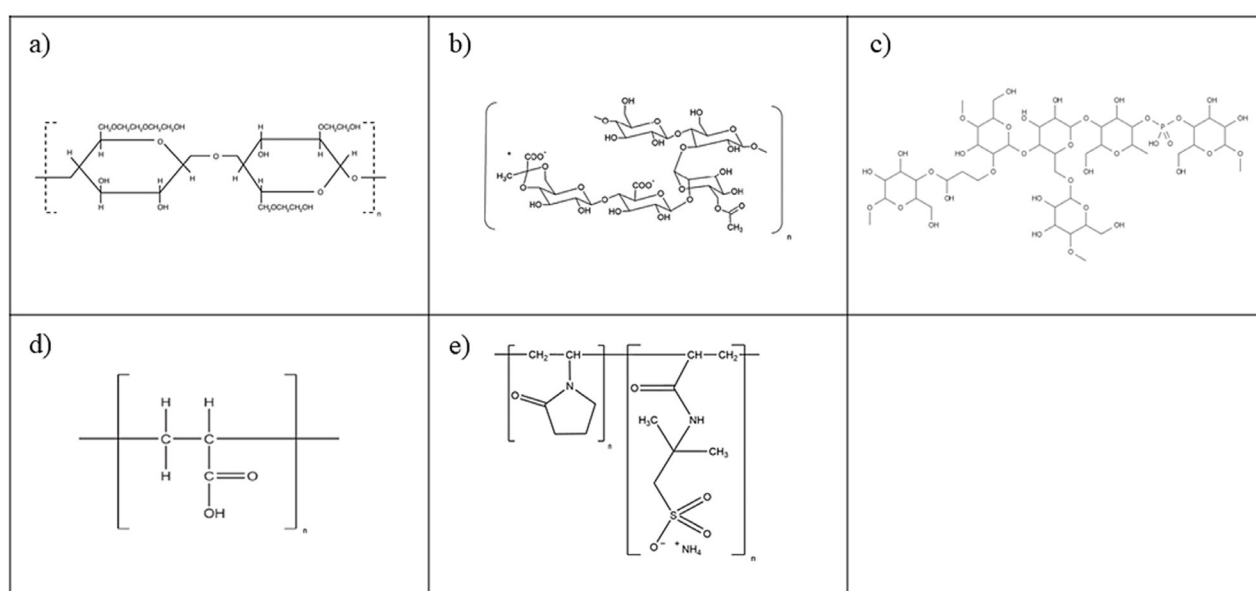


Figure 1 - Estruturas químicas dos polímeros estudados: (a) Hidroxietilcelulose (HEC), (b) Goma xantana (GOX), (c) Fosfato de amido hidroxipropílico de sódio (AMM), (d) Carbômero (CBP) e (e) Copolímero de Amônio Acriloidimetiltaurato/VP (ARF).

Figura 1- Estruturas químicas dos polímeros estudados: (a) Hidroxietilcelulose (HEC), (b) Goma xantana (GOX), (c) Fosfato de amido hidroxipropílico de sódio (AMM), (d) Carbômero (CBP) e (e) Copolímero de Amônio Acriloidimetiltaurato/VP (ARF).

Table 2 - Texture Analysis Conditions

Table 2 - Condições de Análise de Textura

Test speed and Post-test speed (mm/s) / Velocidade de teste e velocidade pós-teste (mm/s)	Test mode / Modo de teste	Target mode / Modo de alvo	Distance (mm) / Distância (mm)	Trigger type / Tipo de controle
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, & 10	Compression / Compressão	Distance / Distância	80	Button / Botão

speed on the results obtained in the texture analysis. The measurements were carried out in quintuplicate for each speed.

For the Acryloyldimethyltaurate/VP Copolymer formulations, an additional test was conducted using the same system and variables but without changing the formulation for each measurement to be analyzed.

For the analysis of the results obtained from the texture analyzer, firmness was obtained from the maximum value of the positive curve, cohesiveness from the maximum value of the negative curve, consistency from the area under the positive curve, and apparent viscosity from the area under the negative curve (16).

de acordo com a Tabela 2. As velocidades variando de 1 a 10 mm/s foram selecionadas para avaliar o impacto da velocidade de teste nos resultados obtidos na análise de textura. As medições foram realizadas em quintuplicata para cada velocidade.

Para as formulações contendo o Copolímero de Acriloidimetiltaurato/VP, foi realizado um teste adicional utilizando o mesmo sistema e variáveis, mas sem trocar a formulação entre as medições a serem analisadas.

Para a análise dos resultados obtidos pelo texturômetro, a firmeza é determinada pelo valor máximo da curva positiva, a coesão pelo valor máximo da curva negativa, a consistência pela área sob a curva positiva e a viscosidade aparente pela área sob a curva negativa (16).

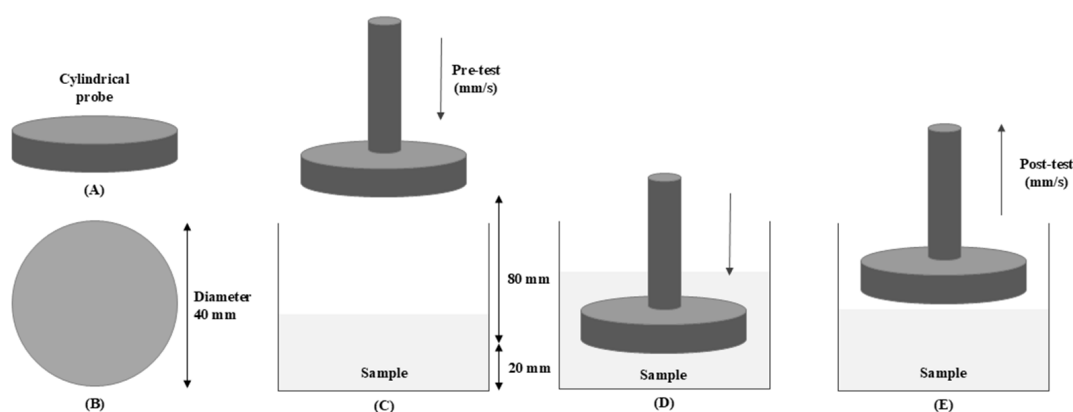


Figure 2 - Illustration of the mechanism in texture analysis: cylindrical probe in the lateral view (A) and frontal view (B); mechanism involved in the texture analysis, demonstrating the compression of the probe against the formulation surface in the pre-test phase (C), against the surface of the formulation until it reached 20 mm from the bottom (D), and the probe return in the post-test phase (E).

Figura 2 - Ilustração do mecanismo na análise de textura: probe cilíndrico na vista lateral (A) e na vista frontal (B); mecanismo envolvido na análise de textura, demonstrando a compressão do probe contra a superfície da formulação na fase de pré-teste (C), contra a superfície da formulação até atingir 20 mm do fundo (D), e o retorno da sonda na fase de pós-teste (E).

Sensory Analysis

To analyze the sensory properties of the studied gels, a panel of 10 healthy participants, previously trained in sensory analysis studies, between 18 and 30 years of age and with Fitzpatrick phototypes II to IV, was recruited after approval by the Ethics Committee for Research Involving Human Subjects of the Ribeirão Preto School of Pharmaceutical Sciences (CAAE 66403822.7.0000.5403). The tests were initiated after 15 minutes of acclimation in a temperature-controlled environment (20 - 22 °C).

The sensory properties of the formulations were assessed with the Sensorimeter® SR 100 (Courage-Khazaka, Germany), an instrument capable of translating subjective opinions into numerical and objective data. The participant moves a button on a scale from 0 to 100, with higher values indicating a greater impact on the analyzed characteristic (29).

An amount of 45 micrograms of the formulation was standardized to be applied on the anterior region of the forearms in an area of 20 cm². Participants were instructed to spread it 20 times within the delimited area. The spreadability parameter was assessed immediately, followed by measuring stickiness and hydration parameters after 10 minutes. The analysis was carried out in three stages due to the number of formulations involved using the same participants in each stage.

Statistical Analysis

The experimental data was analyzed using GraphPad Prism 8 (GraphPad Software Inc., USA) and Origin Pro 8 (OriginLab Corporation, USA) software. The normality test was performed using the Shapiro-Wilk test in cases where the data exhibited a normal distribution, and a one-way analysis of variance (ANOVA) followed by a Tukey post-test was employed. Conversely, when the data did not conform to a normal distribution, the Kruskal-Wallis test, with Dunn's post-test, was used for the analysis.

Results and discussion

Polymers can be synthetic, natural, or obtained from biotechnological processes. CBP is a synthetic anionic polymer derived from carboxylic acid which, due to changes in its structure, promotes the stability of gels at high and low temperatures, increases apparent viscosity, and causes gelling (30-33).

Análise sensorial

Para analisar as propriedades sensoriais dos géis estudados, foi recrutado um painel de 10 participantes saudáveis, previamente treinados em estudos de análise sensorial, com idades entre 18 e 30 anos e fototipos Fitzpatrick II a IV, após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto (CAAE 66403822.7.0000.5403). Os testes foram iniciados após 15 min de aclimação em ambiente com controle de temperatura (20 - 22 °C).

As propriedades sensoriais das formulações foram avaliadas com o Sensorimeter® SR 100 (Courage-Khazaka, Alemanha), um instrumento capaz de traduzir opiniões subjetivas em dados numéricos e objetivos. O participante move um botão em uma escala de 0 a 100, sendo os valores mais altos indicativos de maior impacto na característica analisada (29).

Foi padronizada a aplicação de 45 microgramas da formulação na região anterior dos antebraços, em uma área de 20 cm². Os participantes foram instruídos a espalhar o produto 20 vezes dentro da área delimitada. O parâmetro de espalhabilidade foi avaliado imediatamente, seguido pela medição dos parâmetros de adesividade e hidratação após 10 minutos. A análise foi realizada em três etapas devido ao número de formulações envolvidas, utilizando os mesmos participantes em cada etapa.

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados utilizando os softwares GraphPad Prism 8 (GraphPad Software Inc., EUA) e Origin Pro 8 (OriginLab Corporation, EUA). O teste de normalidade foi realizado utilizando o teste de Shapiro-Wilk nos casos em que os dados apresentaram distribuição normal, foi empregada a análise de variância (ANOVA) de um fator com o teste de Tukey como pós-teste. Por outro lado, quando os dados não apresentaram distribuição normal, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis, com o pós-teste de Dunn, para a análise.

Resultados e discussão

Os polímeros podem ser sintéticos, naturais ou obtidos por processos biotecnológicos. O CBP é um polímero sintético aniônico derivado do ácido carboxílico que, devido a mudanças em sua estrutura, promove a estabilidade dos géis em altas e baixas temperaturas, aumenta a viscosidade aparente e causa a gelificação (30-33).

ARF is a polymer of synthetic origin with an anionic character, characterized by the formation of crystalline gels and good consistency, making it an inert viscosity agent (31,34,35).

Among the polymers from natural origin, HEC, AMM and GOX, are non-ionic.

HEC is obtained from cellulose through derivatization reactions, which consist of introducing functional groups - such as ethers and esters - into the chain, resulting in the disruption of crystalline regions of the molecule, allowing the formation of amorphous polymers (8,31,35).

AMM is derived from the pre-gelatinized process of starch, enabling its addition without the need for high temperatures. This polymer is compatible with various raw materials and enhances the stability, sensory properties, and viscosity of the formulation (36).

An example of a polymer from a biotechnological process is GOX. This gum is obtained from the bacterium *Xanthomonas campestris* and has a highly pseudoplastic flow. Due to its characteristic high viscosity at low concentrations, gum allows unique textures to be obtained, which makes it interesting for the cosmetics industry (31,37,38).

Regardless of their origin, when polymers come into contact with water, they pass through the polymerization process, structure themselves in a web-like manner, and thus remain dispersed, forming the polymer network (30). Thus, the appropriate choice of each polymer in a cosmetic formulation and its concentration is directly related to the stability, sensory properties, and the claim of the product.

The developed formulations remained stable for 52 weeks, maintaining pH values between 5.0 and 6.0.

At low polymer concentrations, GOX was observed to have significantly higher values ($p < 0.05$) than ARF for all the studied parameters. However, the behavior was reversed as the polymer concentration was increased (medium and maximum). This peculiarity may be attributed to ARF chemical structure, as it contains a cyclic amide group in its side chain, thereby rendering its volume more representative. Increasing the concentration and volume of ARF has significant implications for the formulation structure. This finding supports the relationship established in previous literature between ARF chemical structure and its impact on the formulation structural parameters, such

O ARF é um polímero de origem sintética com caráter aniônico, caracterizado pela formação de géis cristalinos e boa consistência, tornando-se um agente inerte de viscosidade (31,34,35).

Entre os polímeros de origem natural, HEC, AMM e GOX são não-iônicos.

A HEC é obtida da celulose por meio de reações de derivatização, que consistem na introdução de grupos funcionais – como éteres e ésteres – na cadeia, resultando na ruptura das regiões cristalinas da molécula e permitindo a formação de polímeros amorfos (8,31,35).

O AMM é derivado do processo de pré-gelatinização do amido, o que permite sua adição sem a necessidade de altas temperaturas. Este polímero é compatível com diversas matérias-primas e melhora a estabilidade, as propriedades sensoriais e a viscosidade da formulação (36).

Um exemplo de polímero proveniente de um processo biotecnológico é o GOX. Esta goma é obtida da bactéria *Xanthomonas campestris* e possui um fluxo altamente pseudoplástico. Devido à sua viscosidade característica em baixas concentrações, a goma permite a obtenção de texturas únicas, o que a torna interessante para a indústria de cosméticos (31,37,38).

Independentemente de sua origem, quando os polímeros entram em contato com a água, eles passam pelo processo de polimerização, estruturando-se de forma semelhante a uma rede e permanecendo dispersos, formando a rede polimérica (30). Assim, a escolha apropriada de cada polímero em uma formulação cosmética e sua concentração estão diretamente relacionadas à estabilidade, propriedades sensoriais e ao claim do produto.

As formulações desenvolvidas permaneceram estáveis por 52 semanas, mantendo os valores de pH entre 5,0 e 6,0.

Em concentrações baixas de polímero, observa-se que o GOX apresenta valores significativamente mais altos ($p < 0,05$) do que o ARF para todos os parâmetros estudados. No entanto, o comportamento se inverte à medida que a concentração do polímero aumenta (média e máxima). Essa peculiaridade pode ser atribuída à estrutura química do ARF, pois ele contém um grupo amida cíclico em sua cadeia lateral, o que torna seu volume mais representativo. O aumento da concentração e do volume do ARF tem implicações significativas para a estrutura da formulação. Esse resultado apoia a relação estabelecida na literatura entre a estrutura química do ARF e seu impacto

as apparent viscosity and consistency (11,39,40). The firmness and cohesiveness parameters exhibited the same behavior, providing further evidence that the chemical structure aids in creating a more structured polymeric network.

CBP exhibited significantly higher apparent viscosity ($p < 0.05$) than the other polymers investigated, regardless of the concentrations and speeds employed in the texture test. In the literature, CBP is associated with high-viscosity formulations compared to other synthetic polymers (11,41,42). The study results support existing literature data while offering a broader comparative framework by considering both natural and synthetic polymers. When dispersed in water, CBP forms a polymeric network stabilized by hydrogen bonding, and increasing the concentration results in a more robust polymeric network, thus forming tangles that are more difficult to break down (43). This increases physicochemical parameters even at lower polymer concentrations (5,39,44). However, the results (Figures 3 - 6) indicate that the polymer behaves similarly in terms of firmness, consistency, and cohesiveness, even when different speeds are applied during the test and for polymers from different origins. It should be noted that the polymer high viscosity also contributes to the results.

Regarding natural origin polymers, HEC has a primarily linear structure with fewer side chains. On the other hand, GOM has a cross-linked and branched structure (4,11,45,46). Additionally, AMM, derived from starch, undergoes structural modifications that involve the insertion of hydroxypropyl and phosphate groups (36). This phenomenon is analogous to synthetic polymers since an elevated concentration of the polymer has a significant impact on the physical and mechanical properties of the formulation.

The results from the texture test indicated that an increased speed during the pre- and post-test resulted in a significant ($p < 0.05$) decrease in consistency and apparent viscosity values, particularly for speeds ranging from 1 mm/s to 2 mm/s (Figures 3 and 4). By analyzing the data following the principles of physics, it is evident that force and speed maintain a direct correlation while inversely related to time. These parameters are associated with the formulation structure, and they affect its physicochemical characteristics (11,16). With the increase in speed, there was a subsequent rise in the force exerted on the formulation, thus reducing the deformation and recovery time of the samples, resulting in decreased consistency and apparent viscosity values.

nos parâmetros estruturais da formulação, como viscosidade aparente e consistência (11,39,40). Os parâmetros de firmeza e coesividade exibiram o mesmo comportamento, fornecendo mais evidências de que a estrutura química auxilia na criação de uma rede polimérica mais estruturada.

O CBP exibiu viscosidade aparente significativamente mais alta ($p < 0,05$) do que os outros polímeros investigados, independentemente das concentrações e velocidades empregadas no teste de textura. Na literatura, o CBP é associado a formulações de alta viscosidade em comparação com outros polímeros sintéticos (11,41,42). Os resultados do estudo corroboram os dados existentes na literatura, ao mesmo tempo em que oferecem um quadro comparativo mais amplo, considerando tanto os polímeros naturais quanto os sintéticos. Quando disperso em água, o CBP forma uma rede polimérica estabilizada por ligações de hidrogênio, e o aumento da concentração resulta em uma rede polimérica mais robusta, formando emaranhados mais difíceis de quebrar (43). Isso aumenta os parâmetros físico-químicos mesmo em concentrações mais baixas de polímero (5,39,44). No entanto, os resultados (Figuras 3 - 6) indicam que o polímero se comporta de forma semelhante em termos de firmeza, consistência e coesividade, mesmo quando diferentes velocidades são aplicadas durante o teste e para polímeros de origens diferentes. Vale ressaltar que a alta viscosidade do polímero também contribui para os resultados.

Quanto aos polímeros de origem natural, o HEC possui uma estrutura predominantemente linear com menos cadeias laterais. Por outro lado, o GOM tem uma estrutura reticulada e ramificada (4,11,45,46). Além disso, o AMM, derivado do amido, sofre modificações estruturais que envolvem a inserção de grupos hidroxipropílico e fosfato (36). Esse fenômeno é análogo aos polímeros sintéticos, uma vez que uma concentração elevada do polímero tem um impacto significativo nas propriedades físico-químicas e mecânicas da formulação.

Os resultados apresentados no teste de textura indicam que o aumento da velocidade durante o pré e pós-teste resultou em uma diminuição significativa ($p < 0,05$) nos valores de consistência e viscosidade aparente, particularmente para velocidades variando de 1 mm/s a 2 mm/s (Figuras 3 e 4). Ao analisar os dados de acordo com os princípios da física, é evidente que a força e a velocidade mantêm uma correlação direta, enquanto são inversamente relacionadas ao tempo. Esses parâmetros estão associados à estrutura da formulação e afetam suas características físico-químicas (11,16). Com o aumento da velocidade,

houve um subsequente aumento na força exercida sobre a formulação, o que reduziu o tempo de deformação e recuperação das amostras, resultando em valores reduzidos de consistência e viscosidade aparente.

Consistency is an important texture parameter that describes the overall work required to deform a sample and is indicative of a formulation's ability to resist deformation or pressure. It allows for predicting the behavior of the formulation upon application to the skin (47,48). In contrast, apparent viscosity is a specific measure obtained by calculating the area under the curve (in modulus) of the force versus time graph. This property relates to the thickness - whether a formulation is more or less viscous - or its resistance to flow (flow rate per unit of force), which can ultimately affect absorption into the skin (5,23).

A consistência é um parâmetro importante de textura que descreve o trabalho total necessário para deformar uma amostra e é indicativo da capacidade de uma formulação de resistir à deformação ou pressão. Ela permite prever o comportamento da formulação quando aplicada à pele (47,48). Em contraste, a viscosidade aparente é uma medida específica obtida calculando a área sob a curva (em módulo) do gráfico força versus tempo. Ela está relacionada à espessura - se a formulação é mais ou menos viscosa - ou sua resistência ao fluxo (taxa de fluxo por unidade de força), o que pode afetar a absorção na pele (5,23).

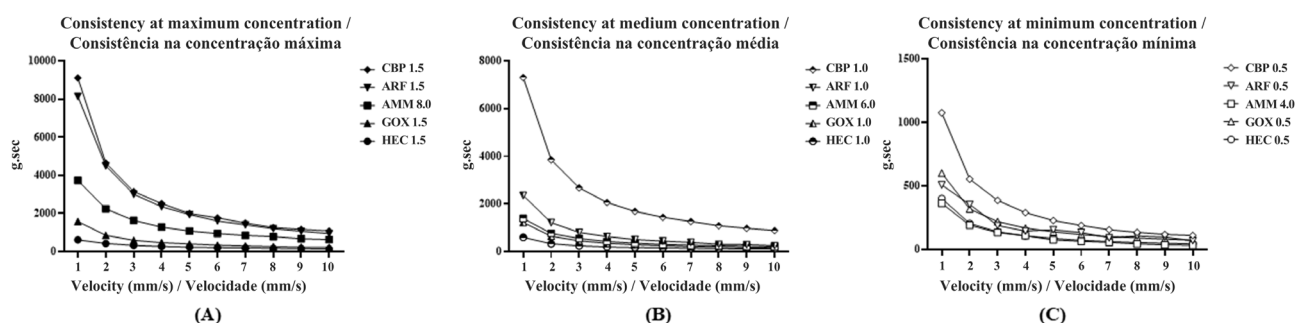


Figure 3 - Consistency of CBP, ARF, AMM, GOX, and HEC gels at maximum (A), average (B), and minimum (C) concentrations, measured by texture analysis, as a function of probe speed (1–10 mm/s). Each point represents the average of five measurements (quintuplicate).

Figura 3 - Consistência dos géis CBP, ARF, AMM, GOX e HEC nas concentrações máxima (A), média (B) e mínima (C), medida por análise de textura, em função da velocidade da sonda (1–10 mm/s). Cada ponto representa a média de cinco medições (quintuplicata).

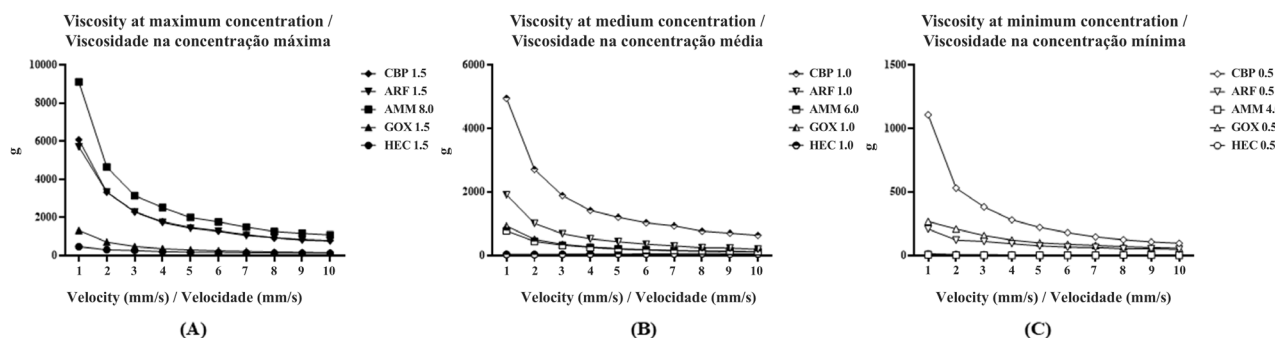


Figure 4 - Apparent viscosity of CBP, ARF, AMM, GOX, and HEC gels at maximum (A), average (B), and minimum (C) concentrations, measured by texture analysis, as a function of probe speed (1–10 mm/s). Each point represents the average of five measurements (quintuplicate).

Figura 4 - Viscosidade aparente dos géis CBP, ARF, AMM, GOX e HEC nas concentrações máxima (A), média (B) e mínima (C), medida por análise de textura, em função da velocidade da sonda (1–10 mm/s). Cada ponto representa a média de cinco medições (quintuplicata).

The increase in speed had less impact on the firmness and cohesiveness parameters (Figures 5 and 6) compared to the consistency and apparent viscosity parameters (Figures 3 and 4). This is likely related to the fact that firmness and cohesiveness are not highly dependent on time since they are measures of force (N) and are obtained by the positive and negative peaks - in module - of the force versus time curve, respectively (23,46,49,50).

When applying these concepts to pharmacotechnics, the term firmness refers to the resistance of a formulation to being applied or pressed onto the skin (51). This indicates how easily the formulation can achieve uniform coverage (50-53). On the other hand, cohesiveness is related to the intermolecular forces of a sample, and it reflects the ability of the formulation to maintain homogeneity over time

O aumento da velocidade teve menor impacto nos parâmetros de firmeza e coesividade (Figuras 5 e 6) em comparação com os parâmetros de consistência e viscosidade aparente (Figuras 3 e 4). Isso provavelmente está relacionado ao fato de que firmeza e coesividade não são altamente dependentes do tempo, uma vez que são medidas de força (N) e obtidas pelos picos positivos e negativos - em módulo - da curva força versus tempo, respectivamente (23,46,49,50).

Ao aplicar esses conceitos à farmacotécnica, o termo firmeza se refere à resistência de uma formulação ao ser aplicada ou pressionada sobre a pele (51). Isso indica a facilidade com que a formulação pode alcançar uma cobertura uniforme (50-53). Por outro lado, a coesividade está relacionada às forças intermoleculares de uma amostra e reflete a capacidade

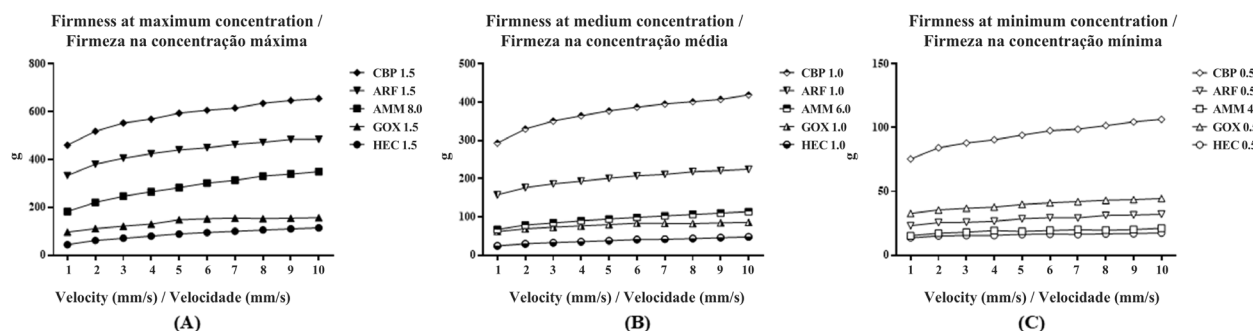


Figure 5 - Firmness of CBP, ARF, AMM, GOX, and HEC gels at maximum (A), average (B), and minimum (C) concentrations, measured by texture analysis, as a function of probe speed (1–10 mm/s). Each point represents the average of five measurements (quintuplicate).

Figura 5 - Firmeza dos géis CBP, ARF, AMM, GOX e HEC nas concentrações máxima (A), média (B) e mínima (C), medida por análise de textura, em função da velocidade da sonda (1–10 mm/s). Cada ponto representa a média de cinco medições (quintuplicata).

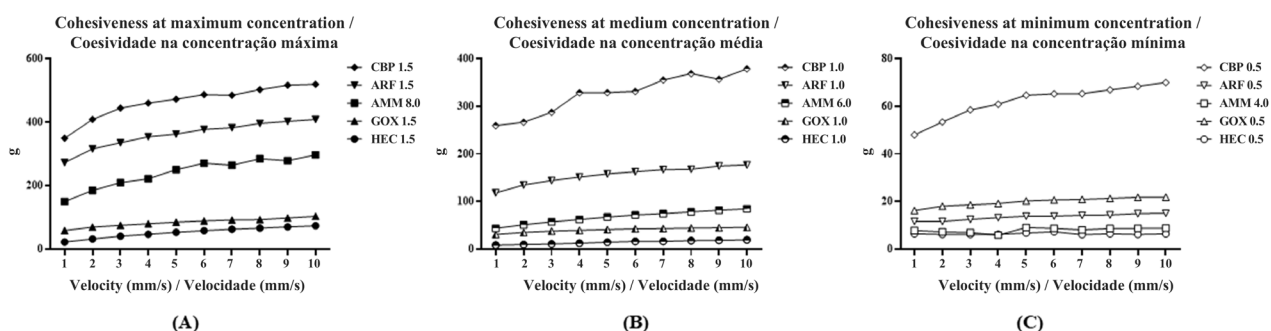


Figure 6 - Cohesiveness of CBP, ARF, AMM, GOX, and HEC gels at maximum (A), average (B), and minimum (C) concentrations, measured by texture analysis, as a function of probe speed (1–10 mm/s). Each point represents the average of five measurements (quintuplicate).

Figura 6 - Coesividade dos géis CBP, ARF, AMM, GOX e HEC nas concentrações máxima (A), média (B) e mínima (C), medida por análise de textura, em função da velocidade da sonda (1–10 mm/s). Cada ponto representa a média de cinco medições (quintuplicata).

without separating into phases or segregating raw materials (5). A direct and positive relation was observed between the cohesiveness and firmness parameters. An increase in one parameter resulted in a proportional increase in the other. This relation held for all velocities, reinforcing the strong correlation and positive linearity between the parameters already reported by Calixto and Maia Campos (23).

Based on the laws of physics, a correlation between strength and speed can be established in the tests conducted. Newton's second law (Equation 1) supports that if the object mass is constant, the applied force is directly proportional to the acceleration it gains (54,55). Nevertheless, the acceleration is obtained by dividing the change in velocity by the change in time (Equation 2). It can be inferred from the equations that there is a direct proportionality between force and velocity, while both parameters have an inverse proportionality relationship with time. The test results support this deduction since the force-related parameters, such as firmness and cohesiveness, increased with increasing speed. In contrast, the time-dependent parameters (apparent viscosity and consistency) decreased with increasing speed (Figures 3 and 4).

$$\begin{aligned} F &= m \times a \\ F &= \text{force} \\ m &= \text{mass} \\ a &= \text{acceleration} \end{aligned} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ a &= \text{acceleration} \\ \Delta V &= \text{speed variation} \\ \Delta t &= \text{time variation} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2}$$

However, based on the analyses performed, it was determined that when the same conditions of speed, polymer concentration, and formulation mass were applied in pre- and post-tests for all formulations, the texture parameters were comparable.

It was observed that when the ARF formulation was not altered during the measurements at concentrations of 0.5 and 1.0%, which means that the same formulation remained in the analysis container, all the texture parameters, such as firmness, cohesiveness, and apparent viscosity remained constant throughout the analysis, indicating that the formulation's physical properties did not change over under these conditions (Figure 7). These texture parameters followed the same profile observed in previous analyses wherein the formulation was altered. However, for the ARF 1.5 formulation, there

da formulação de manter a homogeneidade ao longo do tempo, sem se separar em fases ou segregação de matérias-primas (5). Foi observada uma relação direta e positiva entre os parâmetros de coesividade e firmeza. O aumento de um parâmetro resultou em um aumento proporcional no outro. Essa relação se manteve para todas as velocidades, reforçando a forte correlação e linearidade positiva entre os parâmetros já relatados por Calixto e Maia Campos (23).

Com base nas leis da física, é possível estabelecer uma correlação entre força e velocidade nos testes realizados. A segunda lei de Newton (Equação 1) sustenta que, se a massa do objeto for constante, a força aplicada é diretamente proporcional à aceleração que ele ganha (54,55). No entanto, a aceleração é obtida dividindo a mudança na velocidade pela mudança no tempo (Equação 2). Pode-se inferir pelas equações que há uma proporcionalidade direta entre força e velocidade, enquanto ambos os parâmetros têm uma relação de proporcionalidade inversa com o tempo. Os resultados do teste corroboram essa dedução, já que os parâmetros relacionados à força, como firmeza e coesividade, aumentaram com o aumento da velocidade. Em contraste, os parâmetros dependentes do tempo (viscosidade aparente e consistência) diminuíram com o aumento da velocidade (Figuras 3 e 4).

$$\begin{aligned} F &= m \times a \\ F &= \text{força} \\ m &= \text{massa} \\ a &= \text{aceleração} \end{aligned} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ a &= \text{aceleração} \\ \Delta V &= \text{variação da velocidade} \\ \Delta t &= \text{variação do tempo} \end{aligned} \quad \text{Eq. 2}$$

No entanto, com base nas análises realizadas, foi determinado que, quando as mesmas condições de velocidade, concentração de polímero e massa da formulação foram aplicadas nos pré e pós-testes para todas as formulações, os parâmetros de textura foram comparáveis.

Observou-se que, quando a formulação de ARF não foi trocada durante as medições nas concentrações de 0,5% e 1,0%, ou seja, quando a mesma formulação permaneceu no recipiente de análise, todos os parâmetros de textura, como a firmeza, a coesividade e a viscosidade aparente, permaneceram constantes ao longo da análise, indicando que as propriedades físicas da formulação não se alteraram nestas condições (Figura 7). Esses parâmetros de textura seguiram o mesmo perfil observado em análises anteriores, nas quais a formulação foi alterada. No entanto, para a formulação de ARF 1.5%, houve

was a significant reduction ($p < 0.05$) in all the texture parameters between speeds 8 and 9 mm/s (Figure 7). These parameters are related to the structure of the polymeric network (firmness and cohesiveness) and the formulation itself (apparent viscosity and consistency) (11). Consequently, increasing the test speed at high polymer concentrations impacted the texture profile, potentially leading to network breakage.

In this context, to define the real and individual values related to the firmness, cohesiveness, consistency, and apparent viscosity of each formulation, it is suggested to increase the force by increasing the speed of the pre- and post-test to evaluate the breaking of the polymeric network. This emphasizes the need to choose carefully and the adequate balance of the raw materials that compose the formulation, aiming to create stable and highly effective cosmetic products that provide an enhanced sensory experience (8,16).

uma redução significativa ($p < 0,05$) em todos os parâmetros de textura entre as velocidades de 8 e 9 mm/s (Figura 7). Esses parâmetros estão relacionados à estrutura da rede polimérica (firmeza e coesividade) e à própria formulação (viscosidade aparente e consistência) (11). Consequentemente, o aumento da velocidade do teste em altas concentrações de polímero impactou o perfil de textura, possivelmente levando à quebra da rede.

Nesse contexto, para definir os valores reais e individuais relacionados à firmeza, coesividade, consistência e viscosidade aparente de cada formulação, sugere-se aumentar a força por meio do aumento da velocidade do pré e pós-teste para avaliar a quebra da rede polimérica. Isso destaca a necessidade de escolher cuidadosamente e equilibrar adequadamente as matérias-primas que compõem a formulação, visando criar produtos cosméticos estáveis e altamente eficazes que proporcionem uma experiência sensorial aprimorada (8,16).

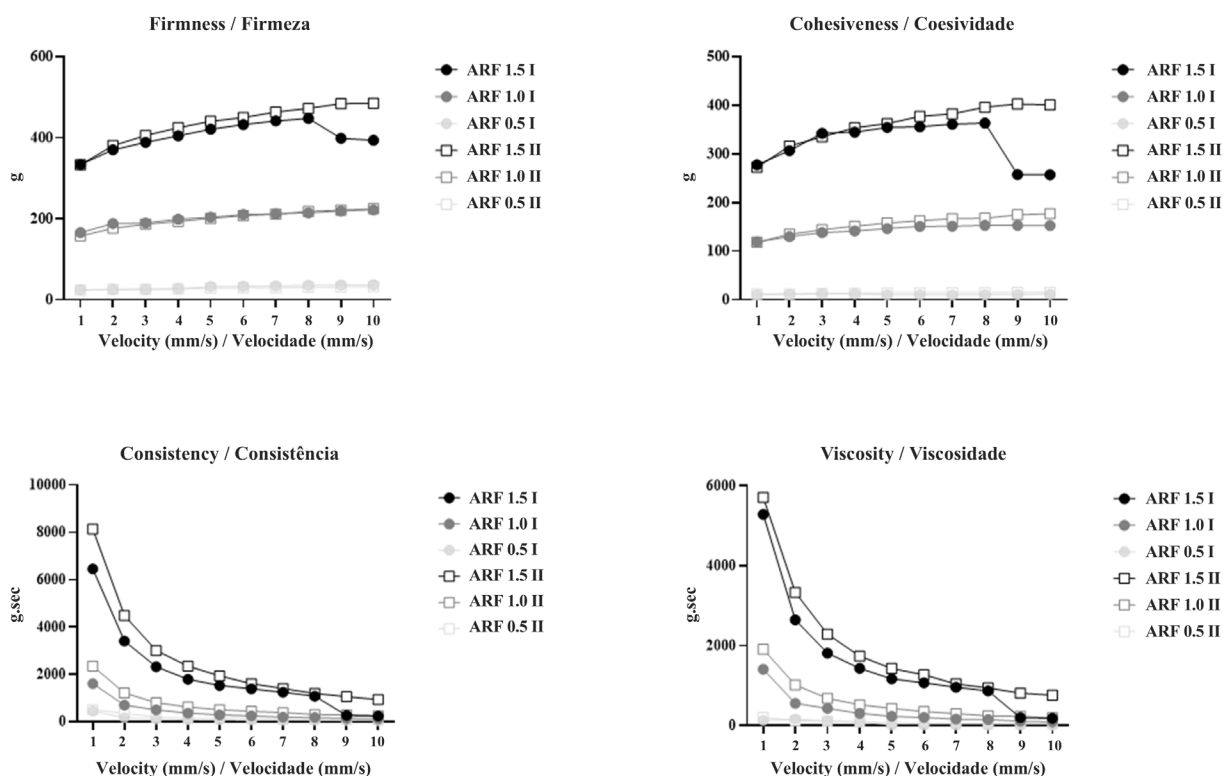


Figure 7 - Firmness, cohesiveness, consistency and apparent viscosity of ARF gel in the minimum (ARF 0.5), medium (ARF 1) and minimum (ARF 1.5) concentrations, keeping the same formulation in all measurements (I) and changing the formulation analyzed in each measurement (II).

Figura 7 - Firmeza, coesividade, consistência e viscosidade aparente do gel de ARF nas concentrações mínima (ARF 0.5), média (ARF 1) e máxima (ARF 1.5), mantendo a mesma formulação em todas as medições (I) e alterando a formulação analisada em cada medição (II).

As highlighted above, the analysis of sensory characteristics plays an important role in the development of formulations since it has the potential to impact consumer choice, adherence, and satisfaction (1,51). Texture analysis was carried out to obtain data on firmness, consistency, cohesiveness, and apparent viscosity parameters, which in turn affected sensory perception. High values of these parameters suggest increased resistance to the formulation, resulting in greater complexity in its application (17,23,48).

The HEC and GOX formulations were well accepted by the research participants and did not affect the spreadability parameter, even with higher concentrations. This can be attributed to the chemical structure of polymers, which is closer to linearity. As previously discussed, CBP, ARF, and AMM formulations have longer and more complex chains. For this reason, as the polymer concentration increased, the perception of good spreadability decreased significantly ($p < 0.05$), implying greater difficulty in applying the gels (Figure 8). The sensation of stickiness increased significantly ($p < 0.05$) as the polymer concentration increased. This finding supports existing research that correlates stickiness with the cohesiveness texture parameter, showing that the higher the cohesiveness, the higher the formulation stickiness (16,23). Therefore, high stickiness values might have resulted from excessive polymer concentration in the formulation.

Como destacado acima, a análise das características sensoriais desempenha um papel importante no desenvolvimento de formulações, uma vez que tem o potencial de impactar a escolha, adesão e satisfação do consumidor (1,51). A análise de textura foi realizada para obter dados sobre os parâmetros de firmeza, consistência, coesividade e viscosidade aparente, que, por sua vez, afetaram a percepção sensorial. Valores elevados desses parâmetros sugerem maior resistência à formulação, resultando em maior complexidade em sua aplicação (17,23,48).

As formulações de HEC e GOX foram bem aceitas pelos participantes da pesquisa e não afetaram o parâmetro de espalhabilidade, mesmo com concentrações mais altas. Isso pode ser atribuído à estrutura química dos polímeros, que é mais próxima da linearidade. Como discutido anteriormente, as formulações de CBP, ARF e AMM possuem cadeias mais longas e complexas. Por essa razão, à medida que a concentração de polímero aumentou, a percepção de boa espalhabilidade diminuiu significativamente ($p < 0,05$), implicando maior dificuldade na aplicação dos géis (Figura 8). A sensação de pegajosidade aumentou significativamente ($p < 0,05$) à medida que a concentração de polímero aumentou. Essa constatação apoia pesquisas existentes que correlacionam a pegajosidade com o parâmetro de textura coesividade, mostrando que quanto maior a coesividade, maior a pegajosidade da formulação (16,23). Portanto, altos valores de pegajosidade podem ter resultado de uma concentração excessiva de polímero na formulação.

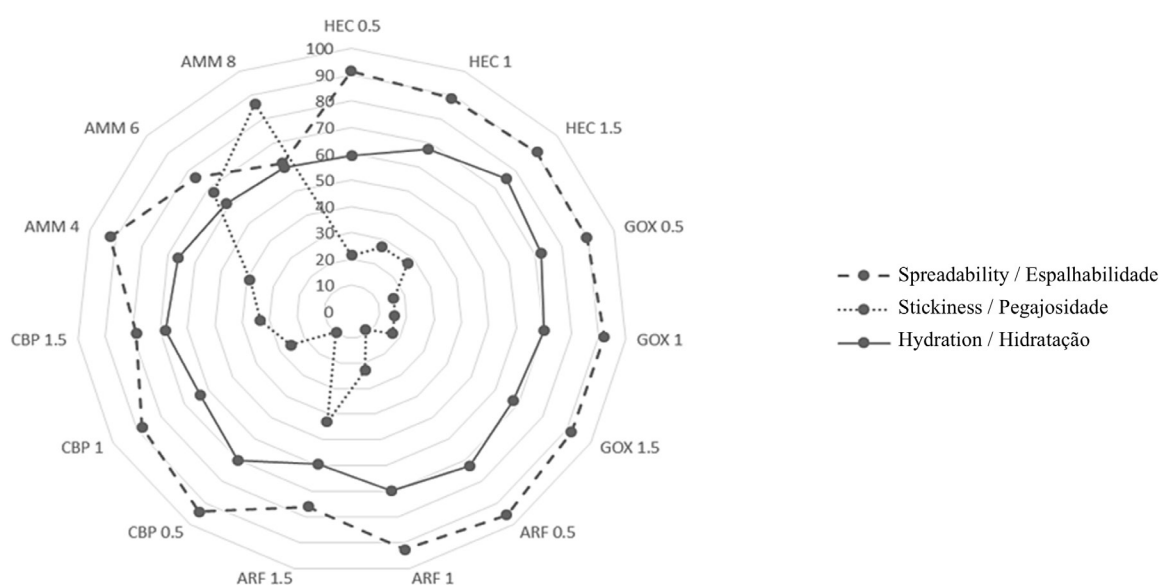


Figure 8 - Sensory properties of the formulations.

Figura 8 - Propriedades sensoriais das formulações.

On the other hand, alterations in the concentration displayed no noteworthy impact on the sensation of hydration. This outcome is likely associated with the existence of the humectant propanediol. Humectants are hygroscopic substances serving as moisture-retaining agents in a product and play a crucial role in regulating moisture levels on the skin (56). Propanediol, a natural humectant from the glycerol family, has excellent moisture-retention properties which help maintain optimal skin hydration (57-59). In addition, the study results indicate that the sensation of hydration remained constant as the concentration of different polymers increased, suggesting that this particular raw material may not affect this sensory parameter.

In summary, knowledge about the structure of the polymer and the polymeric network formed provides a solid basis for predicting the sensory experience and developing effective cosmetic formulations aligned with consumer expectations.

Conclusion

The origin of the polymer, natural or synthetic, was a determining factor in its behavior in texture analysis. The chemical structure, organization of the polymeric network, and concentration significantly influenced parameters such as firmness, cohesiveness, and consistency. It was noted that natural polymers exhibited lower values for these parameters compared to synthetic polymers, aligning with their superior sensory properties.

A correlation between the instrumental measurements and the speed variable in the texture parameters such as firmness, consistency, cohesiveness and apparent viscosity was observed. Thus, standardizing the speed variable in the texture profile analysis is an important component in ensuring consistent and reliable results since extreme speeds can affect the sensitivity of the test.

The natural polymers showed lower values in the texture parameters and better sensory properties. In addition, understanding the polymeric network to be formed is crucial to creating stable and suitable formulations.

Finally, the results highlight the importance of understanding the polymer network to develop stable and effective formulations. The choice of

Por outro lado, alterações na concentração não exibiram impacto significativo na sensação de hidratação. Esse resultado provavelmente está associado à presença do umectante propanediol. Umectantes são substâncias higroscópicas que atuam como agentes retentores de umidade em um produto e desempenham um papel crucial na regulação dos níveis de umidade na pele (56). O propanediol, um umectante natural da família do glicerol, possui excelentes propriedades de retenção de umidade, o que ajuda a manter a hidratação ideal da pele (57-59). Além disso, os resultados do estudo indicam que a sensação de hidratação permaneceu constante à medida que a concentração de diferentes polímeros aumentou, sugerindo que essa matéria-prima em particular pode não afetar esse parâmetro sensorial.

Em síntese, o conhecimento sobre a estrutura do polímero e a rede polimérica formada fornece uma base sólida para prever a experiência sensorial e desenvolver formulações cosméticas eficazes alinhadas às expectativas dos consumidores.

Conclusão

A origem do polímero, natural ou sintética, foi um fator determinante em seu comportamento na análise de textura. A estrutura química, a organização da rede polimérica e a concentração influenciaram significativamente parâmetros como firmeza, coesão e consistência. Observou-se que os polímeros naturais apresentaram valores mais baixos nesses parâmetros em comparação aos polímeros sintéticos, o que está alinhado às suas propriedades sensoriais superiores.

Uma correlação entre as medições instrumentais e a variável de velocidade nos parâmetros de textura, como firmeza, consistência, coesividade e viscosidade aparente, também foi observada. Assim, a padronização da variável de velocidade na análise de textura é um componente importante para garantir resultados consistentes e confiáveis, visto que velocidades extremas podem afetar a sensibilidade do teste.

Os polímeros naturais demonstraram valores mais baixos nos parâmetros de textura e melhores propriedades sensoriais. Além disso, compreender a rede polimérica a ser formada é crucial para criar formulações estáveis e adequadas.

Por fim, os resultados destacam a importância de entender a rede polimérica para desenvolver formulações estáveis e eficazes. A escolha do tipo de

polymer type — natural or synthetic — plays a critical role in defining the texture profile of a formulation, highlighting the need to balance functional texture parameters with desired sensory attributes.

Future research aims to expand the study to include a larger number of participants and explore other polymer types, including emulsions and alternative polymers, to further enhance the understanding of texture and sensory properties in cosmetic formulations.

Authors Contributions Statement

Gabrielly Batistela Scatolini contributed to the study conceptualization, data curation, investigation, methodology, interpretation of data, writing the original draft, and editing. Bianca Navarro de Jesus contributed to study methodology, performing the sensory analysis protocol, and editing. Leticia Kakuda contributed to the study conceptualization, data curation, methodology, interpretation of data, writing the original draft, review and editing. Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos contributed to the study conceptualization, funding acquisition, methodology, project administration, supervision, write, review, and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgements

The authors would like to thank FAPESP – São Paulo Research Foundation (Grant number: 2022/00897-0) and CAPES – Coordination of Superior Level Staff Improvement (Financial code 001) for financial support.

Conflict of Interests

The authors declare no conflicts of interest. The editors involved in this manuscript's authorship had no participation in the review or decision process.

polímero — natural ou sintético — desempenha um papel crítico na definição do perfil de textura de uma formulação, ressaltando a necessidade de equilibrar os parâmetros funcionais de textura com os atributos sensoriais desejados.

Pesquisas futuras têm como objetivo expandir o estudo para incluir um número maior de participantes e explorar outros tipos de polímeros, incluindo emulsões e polímeros alternativos, para aprimorar ainda mais a compreensão das propriedades de textura e sensoriais em formulações cosméticas.

Declaração sobre as contribuições do autor

Gabrielly Batistela Scatolini contribuiu para a conceituação do estudo, curadoria de dados, investigação, metodologia, interpretação dos dados, redação do rascunho original e edição. Bianca Navarro de Jesus contribuiu para a metodologia do estudo, execução do protocolo de análise sensorial e edição. Leticia Kakuda contribuiu para a conceituação do estudo, curadoria de dados, metodologia, interpretação dos dados, redação do rascunho original, revisão e edição. Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos contribuiu para a conceituação do estudo, aquisição de financiamento, metodologia, administração do projeto, supervisão, redação, revisão e edição. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Número do processo: 2022/00897-0) e ao CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Financial code 001) pelo apoio financeiro.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse. Os editores envolvidos na autoria desses manuscritos não tiveram participação no processo de revisão ou decisão.

References / Referências

1. Manço, L.M., Mercurio, D.G., Melo, M.O., & Campos, P.M.M. (2015). Development of cosmetic formulations containing glucan polymer of Cassava (*Manihot esculenta*): stability and sensory analysis. *Biomedical and Biopharmaceutical Research*, 2;1(12), 91-98. <https://doi.org/10.19277/bbr.1.107>.
2. Ali, A., Skedung, L., Burleigh, S., Lavant, E., Ringstad, L., Anderson, C.D., Wahlgren, M., & Engblom, J. (2022). Relationship between sensorial and physical characteristics of cosmetics creams: A comparative study on effects of excipients. *International Journal of Pharmaceutics*, 613, 121370. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.121370>.
3. Dreno, B., Araviiskaia, E., Berardesca, E., Bieber, T., Hawk, J., Sanchez-Viera, M., & Wolkenstein, P. (2014). The science of dermocosmetics and its role in dermatology. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 28(11), 1409-1417. <https://doi.org/10.1111/jdv.12497>.
4. Gilbert, L., Savary, G., Grisel, M., & Picard, C. (2013). Predicting sensory texture properties of cosmetic emulsions by physical measurements. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 124, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2013.03.002>.
5. Tafuro, G., Costantini, A., Baratto, G., Busata, L., & Semenzato, A. (2019). Rheological and textural characterization of acrylic polymer water dispersions for cosmetic use. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(51), 23549-23558. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b05319>.
6. Pensé-Lhéritier, A.M. (2015). Recent developments in the sensorial assessment of cosmetic products: A review. *International Journal of Cosmetic Science* 37(5), 465-473. <https://doi.org/10.1111/ics.12223>.
7. Gilbert, L., Picard, C., Savary, G., & Grisel, M. (2012). Impact of polymers on texture properties of cosmetic emulsions: a methodological approach. *Journal of Sensory Studies*, 27(5), 392-402. <https://doi.org/10.1111/joss.12001>.
8. Alves, T.F., Morsink, M., Batain, F., Chaud, M.V., Almeida, T., Fernandes, D.A., & Severino, P. (2020). Applications of natural, semi-synthetic, and synthetic polymers in cosmetic formulations. *Cosmetics*, 7(4), 75. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040075>.
9. Kouhi, M., Prabhakaran, M.P., & Ramakrishna, S. (2020). Edible polymers: An insight into its application in food, biomedicine and cosmetics. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.025>.
10. Mendonça, B.D.M.R., Alves, P.E., & dos Santos, E.P., (2023). Cosméticos Verdes: revisão bibliográfica acerca da tendência sustentável no desenvolvimento de cosméticos. *Research, Society and Development*, 12(2), e4212239888-e4212239888. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i2.39888>.
11. Infante, V.H.P., Calixto, L.S., & Campos, P.M.M. (2019). Physico-mechanical properties of cosmetics formulations based on different polymers. *Biomedical and Biopharmaceutical Research*, 16, 213-222. <https://doi.org/10.19277/bbr.16.2.214>.
12. Tafuro, G., Costantini, A., Baratto, G., Francescato, S., & Semenzato, A. (2020). Evaluating natural alternatives to synthetic acrylic polymers: rheological and texture analyses of polymeric water dispersions. *ACS omega*, 5(25), 15280-15289. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01306>.
13. Savary, G., Gilbert, L., Grisel, M., & Picard, C. (2019). Instrumental and sensory methodologies to characterize the residual film of cosmetics products applied to skin. *Skin Research and Technology*, 25(4), 415-423. <https://doi.org/10.1111/srt.12667>.
14. Tafuro, G., Costantini, A., Baratto, G., Francescato, S., Busata, L., & Semenzato, A. (2021). Characterization of polysaccharidic associations for cosmetic use: Rheology and texture analysis. *Cosmetics*, 8(3), 62. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8030062>.
15. Wortel, V.A., Verboom, C., Wiechers, J.W., Taelman, M.C., Leonard, S., & Tadros, T. (2005). Linking sensory and rheology characteristics. *Cosmetics and toiletries*, 120(4), 57-66.
16. Calixto, L.S., Infante, V.H.P., & Maia Campos, P.M.B.G. (2018). Design and Characterization of Cosmetics Formulations: Correlations Between Instrumental and Sensorial Measurements. *AAPS PharmSciTech*, 19, 1512-1519. <https://doi.org/10.1208/s12249-018-0960-0>.
17. César, F.C., & Maia Campos, P.M. (2020). Influence of vegetable oils in the rheology, texture profile and sensory properties of cosmetic formulations based on organogel. *International Journal of Cosmetic Science*, 42(5), 494-500. <https://doi.org/10.1111/ics.12654>.
18. Parente, M.E., Ga' Mbaro, A., & Solana, G. (2005). Study of sensory properties of emollients used in cosmetics and their correlation with physicochemical properties. *International Journal of Cosmetic Science*, 27(6), 354-354. https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2005.00289_3.x.
19. Luengo, G. S., Leonforte, F., Greaves, A., Rubio, R. G., & Guzman, E. (2023). Physico-chemical challenges on the self-assembly of natural and bio-based ingredients on hair surfaces: towards sustainable haircare formulations. *Green Chemistry*, 25(20), 7863-7882.
20. Garrido, J.I., Lozano, J.E., & Genovese, D.B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: modelling and optimization. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1):325-32. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.010>.
21. Diezhandino, I., Fernández, D., Sacristán, N., Combarros-fuertes, P., Prieto, B., & Fresno, J.M. (2016). Rheological, textural, colour and sensory characteristics of a Spanish blue cheese (Valdeón cheese). *LWT - Food Science and Technology*, 65:1118-25. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.003>.
22. Liu, H., Xu, X.M., & Guo, S.D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT - Food Science and Technology*, 40(6), 946-954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>.
23. Calixto, L.S., & Maia Campos, P.M.B.G. (2017). Physical mechanical characterization of cosmetic formulations and correlation between instrumental measurements and sensorial properties. *International Journal of Cosmetic Science*, 39(5):527-34. <https://doi.org/10.1111/ics.12406>.
24. Lukic, M., Jaksic, I., Krstonosic, V., Cekic, N., & Savic, S. (2012). A combined approach in characterization of an effective w/o hand cream: the influence of emollient on textural, sensorial and in vivo skin performance. *International Journal of Cosmetic Science*, 34(2):140-9. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2011.00693.x>.
25. Leite, M.G.A., & Campos, P.M.B.G.M. (2020). Development of shampoo formulations with guarana extract: Influence of thickening agents in the texture profile. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 7(1), 1-1.
26. Jones, D. S., Lawlor, M. S., & Woolfson, A. D. (2002). Examination of the flow rheological and textural properties of polymer gels composed of poly (methylvinylether-co-maleic anhydride) and poly (vinylpyrrolidone): Rheological and mathematical interpretation of textural parameters. *Journal of pharmaceutical sciences*, 91(9), 2090-2101. <https://doi.org/10.1002/jps.10195>.

27. Patil, A., & Ferritto, M.S. (2013). Polymers for personal care and cosmetics: Overview. *Polymers for personal care and cosmetics*, p. 3-11. <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1148.ch001>.
28. Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality Preference*, 13(4), 215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8).
29. Calixto, L. S., Maia Campos, P. M., Picard, C., & Savary, G. (2020). Brazilian and French sensory perception of complex cosmetic formulations: a cross-cultural study. *International Journal of Cosmetic Science*, 42(1), 60-67. <https://doi.org/10.1111/ics.12586>.
30. Gregolin, M.T., Chiari, B.G., Ribeiro, H.M., & Isaac, V.L.B. (2010). Rheological characterization of hydrophilic gels. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 31(6), 820-825. <https://doi.org/10.1080/01932690903333655>.
31. Isaac, V.L.B., Cefali, L.C., Chiari, B.G., Almeida, M.G.J., Ribeiro, H.M., & Correa, M.A. (2013). Effect of various thickening agents on the rheological properties of oil-in-water emulsions containing nonionic emulsifier. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 34(6), 880-885. <https://doi.org/10.1080/01932691.2012.695952>.
32. Shafiei, M., Balhoff, M., & Hayman, N.W. (2018). Chemical and microstructural controls on viscoplasticity in Carbopol hydrogel. *Polymer*, 139, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.01.080>.
33. da Silva Ávila, D.M., Zanatta, R.F., Scaramucci, T., Aoki, I.V., Torres, C.R.G., & Borges, A.B. (2017). Influence of bioadhesive polymers on the protective effect of fluoride against erosion. *Journal of Dentistry*, 56, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.10.015>.
34. Sobral-Souza, D. F., Gouveia, T. H. N., Condeles, A. L., Junior, J. C. T., Muniz, B. V., Franz-Montan, M., ... & Lima, D. A. N. L. (2022). Effect of accelerated stability on the physical, chemical, and mechanical properties of experimental bleaching gels containing different bioadhesive polymers. *Clinical Oral Investigations*, 26(3), 3261-3271. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04308-6>.
35. Gouveia, T. H. N., de Souza, D. F. S., Aguiar, F. H. B., Ambrosano, G. M. B., & Lima, D. A. N. L. (2020). Effect of ammonium acryloyldimethyltaurate copolymer on the physical and chemical properties of bleached dental enamel. *Clinical Oral Investigations*, 24, 2701-2711. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-03132-3>.
36. Lochhead, R.Y. (2007). The role of polymers in cosmetics: recent trends. In: *ACS Symposium Series*, p. 3-56. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0961.ch001>.
37. Dubuisson, P., Picard, C., Grisel, M., & Savary, G. (2018). How does composition influence the texture of cosmetic emulsions?. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 536, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.08.001>.
38. Sworn, G. (2021). Xanthan gum. In *Handbook of hydrocolloids* (pp. 833-853). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820104-6.00004-8>.
39. Lefrançois, P., Ibarboure, E., Payré, B., Gontier, E., Le Meins, J. F., & Schatz, C. (2015). Insights into carbopol gel formulations: microscopy analysis of the microstructure and the influence of polyol additives. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(46). <https://doi.org/10.1002/app.42761>.
40. Behera, B., Singh, V. K., Kulanthaivel, S., Bhattacharya, M. K., Paramanik, K., Banerjee, I., & Pal, K. (2015). Physical and mechanical properties of sunflower oil and synthetic polymers based bigels for the delivery of nitroimidazole antibiotic—A therapeutic approach for controlled drug delivery. *European Polymer Journal*, 64, 253-264. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.01.018>.
41. Graessley, W. W. (1980). Polymer chain dimensions and the dependence of viscoelastic properties on concentration, molecular weight and solvent power. *Polymer*, 21(3), 258-262. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(80\)90266-9](https://doi.org/10.1016/0032-3861(80)90266-9).
42. Limsuwan, T., Boonme, P., & Amnuait, T. (2013). Study on the Antioxidant Activities of Gel Containing Tagetes erecta (L.). *Advanced Materials Research*, 747, 741-744. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.747.741>.
43. Singla, A. K., Chawla, M., & Singh, A. (2000). Potential applications of carbomer in oral mucoadhesive controlled drug delivery system: a review. *Drug development and industrial pharmacy*, 26(9), 913-924. <https://doi.org/10.1081/DDC-100101318>.
44. Jaworski, Z., Spychaj, T., Story, A., & Story, G. (2022). Carbomer microgels as model yield-stress fluids. *Reviews in Chemical Engineering*, 38(7), 881-919. <https://doi.org/10.1515/revce-2020-0016>.
45. Lin, F., Song, M., He, Z., & Zhang, T. (2008). Synthesis and structural characterization of methacrylic acid/octadecyl acrylate-graft-poly (methylhydrosiloxane) by hydrosilylation. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(6), 3773-3780. <https://doi.org/10.1002/app.27487>.
46. Donnelly, M.W., Hailemichael, M., & Liberatore, M.W. (2015). Altering the viscosity of cationically modified cellulose polymers by the addition of salt. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(11). <https://doi.org/10.1002/app.41616>.
47. Tai, A., Bianchini, R., & Jachowicz, J. (2014). Texture analysis of cosmetic/pharmaceutical raw materials and formulations. *International Journal of Cosmetic Science*, 36(4), 291-304. <https://doi.org/10.1111/ics.12125>.
48. Gore, E., Picard, C., & Savary, G. (2018). Spreading behavior of cosmetic emulsions: Impact of the oil phase. *Biotribology*, 16, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.biotri.2018.09.003>.
49. Hurler, J., Engesland, A., Poorahmary Kermany B., & Škalko-Basnet, N. (2012). Improved texture analysis for hydrogel characterization: Gel cohesiveness, adhesiveness, and hardness. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(1), 180-188. <https://doi.org/10.1002/app.35414>.
50. Huynh, A., Garcia, A.G., Young, L.K., Szoboszlai, M., Liberatore, M.W., & Baki, G. (2021). Measurements meet perceptions: rheology–texture–sensory relations when using green, bio-derived emollients in cosmetic emulsions. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(1), 11-19. <https://doi.org/10.1111/ics.12661>.
51. Savary, G., Gilbert, L., Grisel, M., & Picard, C. (2019). Instrumental and sensory methodologies to characterize the residual film of topical products applied to skin. *Skin Research and Technology*, 25(4), 415-423. <https://doi.org/10.1111/srt.12667>.
52. Estanqueiro, M., Amaral, M.H., & Sousa Lobo, J.M. (2016). Comparison between sensory and instrumental characterization of cosmetics formulations: impact of thickening agents. *International Journal of Cosmetic Science*, 38(4), 389-398. <https://doi.org/10.1111/ics.12302>.
53. Wang, S., Kislalioglu, M.S., & Breuer, M. (1999). The effect of rheological properties of experimental moisturizing creams/lotions on their efficacy and perceptual attributes. *International Journal of Cosmetic Science*, 21(3), 167-188. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2494.1999.203162.x>.
54. Coelho, R.L. (2018). On the deduction of Newton's second law. *Acta Mechanica*, 229(5), 2287-2290. <https://doi.org/10.1007/s00707-017-2074-2>.
55. Waddell, M.L., Fine, J.M., Likens, A.D., Amazeen, E.L., & Amazeen, P.G. (2016). Perceived heaviness in the context of Newton's Second

- Law: Combined effects of muscle activity and lifting kinematics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(3), 363–374. <https://doi.org/10.1037/xhp0000151>.
56. Crowther, J.M. (2021). Understanding humectant behaviour through their water-holding properties. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(5), 601-609. <https://doi.org/10.1111/ics.12723>.
57. Pinto, J.R., Monteiro e Silva, S.A., & Leonardi, G.R. (2023). Effects of 1, 3-propanediol associated, or not, with butylene glycol and/or glycerol on skin hydration and skin barrier function. *International Journal of Cosmetic Science*, 46(1), 85-95. <https://doi.org/10.1111/ics.12911>.
58. Nadarzynski, A., Scholz, J., & Schröder, M. S. (2022). Skin Barrier Enhancing Alternative Preservation Strategy of O/W Emulsions by Water Activity Reduction with Natural Multifunctional Ingredients. *Cosmetics*, 9(3), 53. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9030053>.
59. Verdier-Sévrain, S., & Bonté, F. (2007). Skin hydration: a review on its molecular mechanisms. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 6(2), 75-82. <https://doi.org/10.1111/j.1473-2165.2007.00300.x>.