

Relação entre Características Sensoriais e Reológicas

Vincent A.L. Wortel, Cornells Verboom e Johann W. Wlochers, PhD

Uniqema, Gouda, Países Baixos

Mario-Claire Taelman e Sandra Leonard,

Uniqema Personal Care, Wilton Redcar, Reino Unido

Tharwat Tadros,

Workingham, Berkshire, Reino Unido

Os autores apresentam um método de uso das propriedades reológicas (como viscosidade dinâmica e tensão de cisalhamento) para descrever e prever atributos sensoriais da pele (como coesividade) de produtos cosméticos. Esta é a primeira etapa no aprendizado do uso de estrutura de emulsão para prever atributos sensoriais.

Los autores presentan un método de uso de las propiedades reológicas (como viscosidad dinámica y tensión de cohesión) para describir y predecir atributos sensoriales de la piel (como cohesión) de productos cosméticos. Esta es la primera etapa en el aprendizaje del uso de la estructura de emulsión para predecir atributos sensoriales

The authors introduce a method to use rheological properties (such as dynamic viscosity and yield stress) to describe and predict skin sensory attributes (such as cohesiveness) of cosmetic products. This is the first step in learning to use emulsion structure to predict sensory attributes.

Atualmente, a maioria das avaliações sensoriais dos produtos de cuidado pessoal é realizada por meio de painéis de pessoas bem treinadas. Algumas vezes, essa avaliação é suplementada por diversos métodos instrumentais, como viscosidade, corneometria, polaridade, etc. O objetivo deste estudo é investigar a relação entre propriedades reológicas e atributos sensoriais. Consideramos isto como o primeiro passo para entender a influência da estrutura da emulsão sobre as características sensoriais.

Neste estudo, demonstramos uma metodologia para usar as propriedades reológicas para descrever e prever atributos sensoriais da pele. Os dados reológicos são analisados pela Análise de Componente Principal (PCA) e foram encontradas evidentes correlações entre as diversas propriedades reológicas. A regressão dos Mínimos Quadrados Parciais demonstrou que a coesão pode ser prevista por duas propriedades reológicas: viscosidade dinâmica e força de cisalhamento.

Algumas propriedades sensoriais e reológicas dependem claramente da estrutura da emulsão. Na química dos colóides, os pesquisadores estão usando modelos para correlacionar a estrutura da emulsão com as características reológicas. Ao contrário, há muito menos conhecimento sobre as relações sensoriais e a estrutura das emulsões, mas o desenvolvimento dos relacionamentos reológicos-sensoriais pode ser o primeiro passo na construção do conhecimento de como os atributos sensoriais são influenciados pela modificação da estrutura da emulsão.

Teoria

As propriedades sensoriais dos produtos cosméticos são características fundamentais e muitas destas estão, muitas vezes, relacionadas com as propriedades reológicas. A aparência é o primeiro contato visual do consumidor com o produto sendo, por isso mesmo, muito importante. Em seguida, o produto é aplicado e esfregado na pele. Nessa fase, são importantes as propriedades da sensação causada pelo produto sobre a pele. Por exemplo, a consistência de um produto pode desempenhar papel importante na impressão sensorial. O consumidor espera um produto mais espesso para um creme facial, enquanto que uma loção para o corpo é esperada como sendo um produto mais fluído. Este último produto precisa ser de fácil aplicação em áreas maiores do corpo. A consistência também desempenha papel importante durante a produção.

A avaliação adequada das características sensoriais leva tempo e, portanto, é onerosa. Para economizar tempo e dinheiro, métodos instrumentais podem ser úteis para substituir os testes sensoriais. É geralmente aceito que os métodos instrumentais (como a reologia) poderiam ser utilíssimos para ampliar o conhecimento dos motivos pelos quais diferentes produtos apresentam diferentes características sensoriais, e outros não. Surpreendentemente, a quantidade de informações encontradas na literatura sobre as correlações entre reologia e sensações, em produtos cosméticos, é muito limitada.

Meloni¹ usou propriedades reológicas para explicar propriedades inesperadas de hidratação de polímeros hidrófilos, mostrando como os ingredientes podem ser usados para modificar a estrutura da emulsão. Uns poucos relatórios afirmam que as correlações reológicas-sensoriais não são observadas em proporção um para um. Barry² estudou a correlação de testes sensoriais de emulsões cosméticas com a reologia, mas concluiu que os testes sensoriais não têm correlação com a viscosidade estacionária isoladamente. Brummer³ concluiu que a tensão de cisalhamento quando diante de um e apenas um fluxo é um critério ambíguo para distinguir entre os tipos de produtos. Tanto Barry quanto Brummer estão indicando que as propriedades reológicas não podem ser suficientemente des-

ANÁLISE MULTIVARIADA

Técnicas multivariadas são usadas mais frequentemente para calcular a correlação entre uma variável dependente e uma variável independente. Um exemplo famoso é a relação entre absorvância e concentração, de acordo com a lei de Lambert-Beer. Infelizmente, algumas referências²⁻³ demonstraram que relações reológicas sensoriais não podem ser explicadas como um relacionamento de um-por-um. Por isso, são aplicadas técnicas mais avançadas. Dois exemplos são a Análise do Componente Principal (PCA) e Mínimos Quadrados Parciais (PLS).

Análise do Componente Principal: O princípio básico do PCA é reduzir o número de dimensões identificando relacionamentos lineares entre as variáveis. Variáveis latentes (componentes principais) são calculadas otimamente para explicar a variância no conjunto de dados. Os resultados visuais mais importantes do cálculo podem ser descritos por gráficos plotando-se cargas e valores.

Um gráfico de carga dá informações sobre as variáveis e como elas se correlacionam. Por exemplo, este gráfico permite identificar a existência de relações positivas ou negativas entre as variáveis. Um gráfico de valores mostra as semelhanças e diferenças entre os produtos.

Mínimos Quadrados Parciais: PLS é um método de regressão com certa semelhança com o PCA. Ao invés de maximizar a variância do conjunto de dados, o PLS maximiza a explicação do valor dependente (valor y). Este processo é muito mais concentrado na variável dependente e, portanto, mais eficiente para descrever a variável de interesse.

critas pela propriedade sensorial. Em outras palavras, métodos univariados não são capazes de identificar correlação adequada. Métodos multivariados são muito mais eficazes. Tais métodos estão descritos na literatura.⁸

O poder dos métodos multivariados tem sido demonstrado em diversas áreas de aplicação. A indústria alimentícia é um bom exemplo, pois existe uma clara sobreposição com aplicações cosméticas.⁴ As duas áreas de aplicação, muitas vezes, trabalham com emulsões e, nas duas áreas, as características sensoriais são de grande importância. Apesar disso, métodos multivariados não são muito descritos na literatura de aplicações cosméticas. Wortmann⁵ usou PCA para estudar a influência de co-tensoativos e agentes condicionantes em shampoos. Wiechers⁶ e Wortel⁷ descreveram diversas técnicas multivariadas para avaliar atributos sensoriais de produtos emolientes e formulados.

O objetivo deste artigo é demonstrar um método para descrever atributos sensoriais com propriedades reológicas. Não é possível dar uma introdução teórica completa nem para análise multivariada ou reologia. Porém, há necessidade de alguns conhecimentos básicos dessas técnicas, para entender este trabalho (box). Neste artigo, iremos nos concentrar sobre a vantagem da análise multivariada e o uso do resultado de seus cálculos sem explicar o raciocínio matemático dessa estatística.

Materiais

Neste estudo, medimos 85 formulações entre produtos comerciais e formulações internas. Essas amostras foram testadas por um painel sensorial treinado. As amostras foram também medidas com um reômetro (*Physica UDS 200*, Anton Paar GmbH, Graz, Áustria) para conseguir informações sobre como a emulsão se comporta quando determinada força é aplicada. A avaliação dos dados e a regressão foram feitas por vários programas de computador, como o SAS versão 8.2 (*Statistical Analysis Software*, Cary, NC, Estados Unidos) e *Unscrambler* (CAMO, Noruega).

Métodos Sensoriais

As 85 amostras foram avaliadas pelo método *Spectrum Descriptive Analysis*.⁹ Essa técnica sensorial baseia-se na obtenção de números precisos por um painel sensorial bem treinado. Esse painel é formado por cerca de 10 membros e cada um desses membros avalia três vezes cada produto, usando atributos bem definidos, com significado conhecido. Os 21 atributos podem ser subdivididos em muitos grupos: aparência, captação, esfregação, sensação imediata e sensação após 20 minutos.

Este estudo focaliza, principalmente, a fase de captação e de esfregação por estas serem as mais relacionadas com a reologia.

A coesão é usada como exemplo típico para explicar a metodologia aplicada. Este atributo sensorial é avaliado durante a fase de captação e é avaliado comprimindo lentamente o produto entre os dedos indicador e polegar, e depois separando os dedos. O grau de formação de fios quando os dedos são separados é definido como coesão. Um produto viscoso, que forma fios, possui um número elevado de coesão.

Métodos Reológicos

São aplicadas várias técnicas reológicas, como estado de equilíbrio (taxa de cisalhamento constante), esforço constante e mensuração dinâmica (oscilante). Isso nos permitiu obter 20 propriedades reológicas como viscosidade de taxa elevada de cisalhamento, valor de rendimento (obtido a partir de ajuste da curva de fluxo), viscosidade de cisalhamento zero, armazenagem e módulo de perda. Para todas as medições, as amostras são colocadas no intervalo entre um cone de 2° e uma chapa de 5 cm. Dependendo da medição, uma força diferente (cisalhamento ou esforço) é aplicada sobre a amostra.

Medições do estado de equilíbrio (taxa de cisalhamento constante): Para essas medições, o reômetro é usado como instrumento de taxa de cisalhamento constante girando-se o cone numa velocidade crescente. Todas as amostras são medidas à temperatura de 29°C. O perfil do fluxo é medido de 0-500-0 s⁻¹, por meio de 180 pontos de medição (0,5 seg/ponto) e 240 pontos de medição (2 seg/ponto). O torque sobre a placa é medido para dar o esforço de cisalhamento. As curvas de esforço de cisalhamento – taxa de cisalhamento das curvas são analisadas por diversos modelos, para obter o valor de rendimento e a viscosidade plástica.

Neste estudo, o esforço de rendimento é calculado pelo modelo de Bingham (Equação 1). Segundo o modelo, o esforço de rendimento (interceptação) é calculado pela extrapolação da taxa de cisalhamento zero. Essa extrapolação é realizada usando quatro pontos após a primeira medição

$$s = s_b + h_{pi}g \quad (1)$$

onde s = esforço de cisalhamento

s_b = esforço de rendimento

h_{pi} = viscosidade plástica

g = taxa de cisalhamento

Medição do esforço constante: É aplicado um esforço constante sobre a amostra (25°C). A deformação ou variação é medida em função do tempo, durante t = 120 segundos. Em seguida, a pressão é retirada e o esforço (com sinal trocado) é medido por 120 segundos; disso resulta a curva de recuperação. Antes do esforço de resultado ser alcançado, próximo é obtida a recupe-

ração completa, ou seja, o esforço na curva de recuperação aproxima-se de zero. Quando a carga aplicada excede o esforço de resultado, o esforço continua aumentando com o tempo (durante o tempo de aplicação, $t=120$ seg) e é obtida recuperação apenas parcial, isto é, o esforço atingido após o $t=120$ seg na curva de recuperação já não é mais zero. A partir da inclinação na curva esforço versus tempo obtém-se a taxa de cisalhamento.

Quando a pressão aplicada é dividida pela taxa de cisalhamento, obtém-se a viscosidade h_s desse esforço aplicado. Um gráfico da viscosidade h_s versus o esforço s mostra uma curva com duas regiões newtonianas: uma no regime de baixo cisalhamento $h(0)$ (a viscosidade residual ou de taxa de cisalhamento zero) e uma em regime de alta taxa de cisalhamento $h(\infty)$. Essas viscosidades alta e baixa são separadas por uma região de afinamento de cisalhamento. O valor do esforço no qual a viscosidade começa a se reduzir é, às vezes, chamado de esforço crítico s_{cr} .

Medições dinâmicas (oscilantes): Para essas medições é aplicada uma força senoidal com frequência w (rad/seg) e amplitude g_o sobre a amostra a 29°C e o esforço é medido simultaneamente. Para um sistema visco-elástico o esforço e a amplitude oscilam com a mesma frequência, mas fora de fase. As amplitudes da pressão e do esforço são desviadas por um tempo Dt , o que permite calcular o desvio do ângulo da fase d ($d = wDt$). A partir das amplitudes da pressão e do esforço e o desvio do ângulo da fase, pode-se obter o módulo complexo G^* :

$$G^* = (s_o / g_o) \quad (2)$$

onde G^* = módulo complexo

s_o = esforço medido

g_o = amplitude

O módulo elástico ou módulo de armazenagem (G') e a perda ou módulo viscoso (G'') podem ser calculados a partir do módulo complexo:

$$G' = G^* \cos d \quad (3)$$

$$G'' = G^* \sin d \quad (4)$$

Finalmente, a viscosidade dinâmica h' pode ser calculada a partir de módulos de perda:

$$h' = G'' / w \quad (5)$$

Em medições oscilantes fixa-se inicialmente a frequência, por exemplo em 1 Hz e mede G^* , G' , G'' e h' como função da amplitude do esforço.

Os parâmetros reológicos são virtualmente constantes até um esforço crítico g_{cr} . Essa região constante é conhecida como uma região visco-elástica linear (LVER). Acima de g_{cr} os valores de G^* e de G' começam a cair, enquanto G'' e h' começam a se elevar com maior aumento da amplitude. No presente estudo, o valor de h' foi calculado usando valores dos parâmetros reológicos no final do LVER.

Métodos Multivariados

Na primeira parte do estudo, visamos entender a exclusividade das propriedades reológicas usando PCA. O resultado visual deste método possibilita a identificação das semelhanças e diferenças entre as propriedades reológicas. Isso pode ter um

papel importante na pré-seleção dessas propriedades. Essa etapa é útil para aumentar a densidade da informação do conjunto de dados e aumentar a qualidade da regressão (parte 2). O cálculo de PCA é aplicado no conjunto de dados, inclusive as 20 propriedades reológicas calculadas a partir das três técnicas de medição reológica. Gráficos de carga são criados para mostrar quais atributos reológicos continham informações exclusivas e quais propriedades estão relacionadas, visando reduzir o número de atributos reológicos e obter uma visão mais abrangente.

Na segunda parte, aplica-se a correlação PLS para correlacionar atributos sensoriais com propriedades reológicas. A coesão é usada como exemplo para ilustrar a previsão de um atributo sensorial a partir de propriedades reológicas. Usa-se um procedimento escalonado para escolher as propriedades reológicas mais significativas relativas à coesão. Essas propriedades escolhidas são usadas para calibração do modelo. Um conjunto de testes independentes é usado para validar o modelo PLS. Este conjunto de testes continha 10 novos produtos. A coesão foi prevista pelo modelo de coesão e avaliada pelo painel sensorial. A comparação dos resultados irá demonstrar a confiabilidade do modelo PLS.

Resultados

Reologia: As propriedades reológicas mencionadas na parte experimental foram calculadas e avaliadas. Os dados foram usados como informação para o cálculo de PCA. Para algumas propriedades foi aplicada uma transformação logarítmica para obtermos melhor distribuição. O gráfico de carga (Figura 1) mostra as relações entre as propriedades reológicas.

A interpretação desse gráfico pode ser explicada por dois exemplos claros. Primeiro, compara os pontos A (componente elástico) e B (componente viscoso); os dois são atribuídos a medições de esforço constante. Segundo o gráfico de carga, essas duas propriedades estão inversamente correlacionadas, ou seja, se A está aumentando, então B deve estar diminuindo. Esse fenômeno é facilmente explicável pela reologia. O esforço constante J é a deformação por unidade de pressão e consiste de um componente viscoso e de um componente elástico (Figura 2). Quanto mais elástico for o comportamento de uma formulação, menos viscosa esta será, e vice-versa.

O segundo exemplo estuda duas propriedades próximas uma da outra no gráfico de carga; isso quer dizer que essas propriedades são diretamente correlacionadas. Uma correlação direta significa que se uma das propriedades está aumentando, a

Figura 1. Gráfico de carga PCA

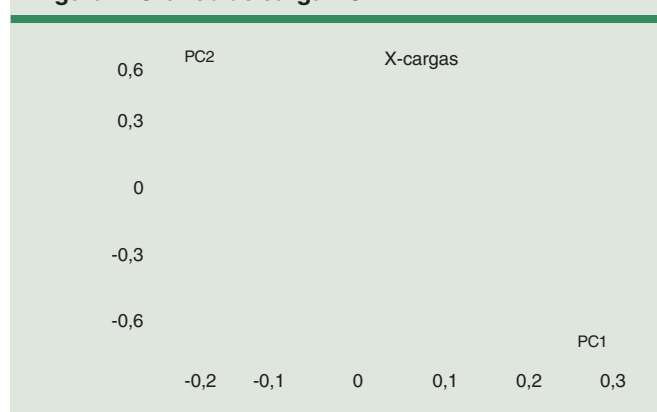


Figura 2. Componentes viscosos e elásticos da concordância do esforço constante



outra também estará aumentando. Um bom exemplo são os pontos C (energia de coesão, amplitude) e D (índice tixotrópico, medição da rotação) da Figura 1. Essas propriedades reológicas contêm informações semelhantes (para o conjunto de dados reais), mas são o resultado de diferentes técnicas de medição e de cálculos independentes. Surpreendentemente, do ponto de vista reológico, essa correlação é inesperada, mas pode ser um bom ponto para entender as propriedades das amostras. Evidentemente, pode-se economizar tempo não medindo propriedades reológicas redundantes.

Regressão: A regressão escalonada mostra que a viscosidade dinâmica e o esforço de resultado (pontos E e F, respectivamente, na Figura 1) são os mais adequados a aplicar para o modelo de coesão. Essas propriedades são usadas para calcular o modelo de PLS. O coeficiente de correlação desse modelo é de 0,85, o que não é muito alto. Porém, o modelo baseia-se numa avaliação do painel sensorial que normalmente contém considerável quantidade de ruído. O modelo prova que as duas propriedades reológicas estão diretamente correlacionadas com a coesão.

As propriedades reológicas escolhidas são de técnicas reológicas diferentes. A viscosidade dinâmica é medida com medição oscilante, ao passo que o esforço de resultado é medido sob condições de estado de equilíbrio. Segundo o gráfico de carga de PCA (Figura 1) essas propriedades se diferenciam principalmente nos PC segundos (eixo y). O esforço de resultado contém informações sobre como é necessária muita força para movimentar o produto. Mais detalhes sobre a interpretação física estão no item Discussão. A validação do conjunto de testes independentes desse modelo de PLS mostra que a maioria dos produtos foi estimada com a mesma precisão da calibração (Figura 3).

Discussão

Podem ser usados modelos colóides para descrever a relação entre reologia e estrutura da emulsão. Como primeiro passo, escolhemos três amostras A, B e C caracterizadas por uma ampla gama de propriedades reológicas. Como ilustração, a Figura 4 mostra a variação da viscosidade dinâmica h' com amplitude de esforço. A Figura 5 mostra curvas do esforço de cisalhamento versus taxa de taxa de cisalhamento dessas amostras. A partir dessa curva, o valor de rendimento s_0 foi obtido por extrapolação na taxa de cisalhamento zero. A viscosidade dinâmica (Figura 4) dessas amostras é 69,2 – 2,6 e 0,1 e o esforço de resultado é 178 – 74 e 3,4 Pa para A, B e C respectivamente. Pode-se ver que a redução da viscosidade das amostras de A a C é

Figura 3. Valores medidos por PLS versus valores previstos



muito maior do que a redução do esforço de rendimento.

Vamos agora considerar a composição de cada amostra e as possíveis interações “coloidais” presentes. A amostra A é um creme para mãos (*Neutrogena*, Johnson & Johnson). Considera-se que uma emulsão O/A estruturada usando fases líquidas cristalinas. O último é feito de uma mistura de sulfato cetearílico sódico (tensoativo aniônico de sulfato C16/C18), álcool cetearílico (álcool C16/C18) e ácido esteárico (ácido carboxílico C18). Essa combinação produz fases cristalinas de líquido lamelar que estendem na fase contínua, produzindo uma estrutura de “rede gel” tridimensional. A estrutura líquida cristalina também é realizada pela incorporação de eletrólito (Na_2SO_4) no sistema. A rede gel deverá ter estrutura “coesa” e, assim, deve ter um alto valor de rendimento (178 Pa) e elevada viscosidade dinâmica (69 Pa.s).

A amostra B é um gel de Aloe vera (*Aloe vera Gel* da Fruit of the Earth, Irving, Texas, Estados Unidos) - simplesmente um extrato natural aquoso. O extrato é “gelificado” por carbômero (*Carbopol 940*, Noveon Inc., Cleveland, Ohio, Estados Unidos) neutralizado por trietanolamina. O carbômero é ácido poliacrílico com ligação cruzada, que ao ser neutralizado produz partículas de “micro-gel”. Os demais são produzidos pela dissociação de grupos COOH formando grupos de COO-, o que causa intumescimento pela expansão das camadas duplas. As partículas de micro-gel terão alta carga e uma camada dupla estendida. Espera-se que essa estrutura gel seja menos “coesa” do que as três estruturas géis tridimensionais de “rede de gel” produzidas usando fases de líquido lamelar cristalino. Como resultado, o valor de resultado (74 Pa) e a viscosidade dinâmica (2,6 Pa.s) são reduzidos.

Figura 4. Viscosidade dinâmica versus amplitude de esforço

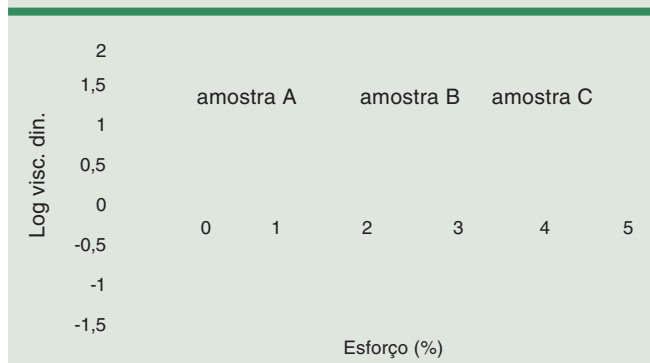
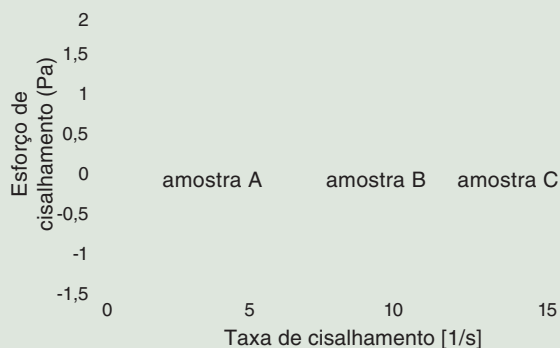


Figura 5. Esforço de cisalhamento versus taxa de cisalhamento



A amostra C é uma formulação doméstica preparada usando-se um sistema de biopolímero emulsificante a 1% (*Arlatone V-100*, Uniqema) e fase oleosa de 10% (trietil-hexanoína). O sistema emulsificante/biopolímero consiste de uma mistura tensoativa de steareth-100, steareth-2, citrato estearato de glicerila e sacarose, além de um estabilizador (espessante) formado por *mannan* (*konjac*) e goma xantana. O mecanismo de estabilização mais provável se baseia na absorção do sistema emulsificante na interface óleo/água (com a possível absorção de algum sistema hidrocolóide). Essa emulsão produz um valor de rendimento relativamente baixo (3,4 Pa) e baixa viscosidade dinâmica (0,1 Pa.s). Esses valores baixos são devidos ao baixo valor da fração oleosa no sistema e assim a interação de gotículas é relativamente fraca. Porém, o sistema biopolímero pode produzir uma fraca estrutura “gel” e assim esforço de rendimento baixo.

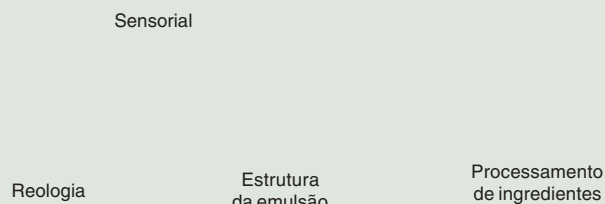
Finalmente, o conhecimento fundamental obtido a partir de um relacionamento sensorial-reológico é realmente somente o primeiro passo de um processo para alterar propriedades específicas de uma formulação. A relação entre a estrutura da emulsão e o sensorial será difícil de extrair. Uma correlação entre reologia e sensorial poderia, portanto, ajudar a obter as desejadas propriedades sensoriais da pele. A Figura 6 é uma visualização desse conceito.

A discussão acima mostra que modelos coloidais podem ser usados para explicar o relacionamento entre reologia e estrutura da emulsão de uma formulação de produto de cuidado pessoal. O próximo desafio será obter atributos sensoriais a partir da combinação dos relacionamentos sensoriais-reológicos e os modelos coloidais. Finalmente, após ser estabelecido um tipo de relacionamento, seria possível correlacionar os ingredientes usados e os processos envolvidos para serem os atributos sensoriais finais dos produtos de cuidado pessoal. Em seguida, o químico formulador pode escolher os melhores ingredientes e o melhor processo para atingir a meta de atributos sensoriais desejados. Esse conhecimento, portanto, deverá facilitar o desenvolvimento de formulações cosméticas inovadoras. Contudo, este estudo demonstrou claramente que a relação entre reologia e atributos sensoriais pode ser atingida pelo uso de técnicas multivariadas.

Conclusão

A primeira parte do estudo mostra que muitas propriedades reológicas são altamente correlacionadas. Para algumas propriedades o relacionamento é muito lógico, e para outras este não

Figura 6. Modelo para relacionar estrutura de emulsão com atributos sensoriais por meio da reologia



deve ser esperado. PCA pode ajudar a conhecer melhor muitas das propriedades reológicas de determinado conjunto de amostras.

A coesão foi usada como um exemplo típico de atributo sensorial. O método de calibração univariado não demonstra boas correlações mas os métodos de calibração multivariadas mostraram ser bem-sucedidos. O modelo de regressão deste estudo mostra que a coesão pode ser descrita pelo esforço de resultado e viscosidade dinâmica. A validação do modelo mostra que o erro do conjunto de teste é aproximadamente o mesmo do que o erro do modelo de calibração e, portanto, tais modelos são confiáveis. Há outros trabalhos em andamento para fazer uma ligação direta entre atributos sensoriais e estrutura da emulsão e possivelmente com ingredientes e condições de processamento. &T

Referências

1. M Meloni. 22nd IFSCC Congress, Edinburgh 2002
2. BW Barry. Sensory testing of spreadability-investigation of rheological conditions operative during application of topical preparations, *J Pharm Sci* **61**(3):335-341, 1972
3. R Brummer, S Godersky. Rheological studies to objectify sensation occurring when cosmetic emulsions are applied on the skin, *Colloids and Surfaces A, Physichem Eng Aspects* **152**:89-94, 1999
4. K Carson, JEC Meullenet, DW Reischem. Spectral stress strain analysis and partial least squares regression to predict sensory texture of yogurt using a compression/penetration instrumental method, *J Food Sci* **67**:1224-1228, 2002
5. FJ Wortmann. Aussagekräftige Dimensionen, *Parfumerie und Kosmetik* **80**(6), 1999
6. JW Wiechers, Val Wortel. Making sense of sensory data, *Cosmet Toil* **115**(3):37-45, 2000
7. VAL Wortel, JW Wiechers. Skin sensory performance of individual personal care ingredients and marketed personal care products, *Food Quality and Preference* **11**:121-127, 1999
8. T Naes, H Martens. *Multivariate Calibration*, Chichester, UK: John Wiley, 1989
9. M Meilgaard, GV Civille, BT Carr. *Sensory Evaluation Techniques*, London: CRC Press, 1991
10. ThF Tadros. Correlation of viscoelastic properties of stable and flocculated suspensions with their interparticle interaction, *Advances Colloid Interface Sci* **68**:97-200, 1996
11. GT Dimitrova, ThF Tadros, PF Luckham. Investigation of the phase behaviour of nonionic surfactant using microscopy, differential scanning calorimetry and rheology, *Langmuir* **11**:1101-1111, 1995
12. ThF Tadros, MC Taelman, S Leonard. *Investigation of the interaction between surfactants and biopolymers using rheological measurements*. Não publicado.

Publicado originalmente em inglês,
Cosmetics & Toiletries **120**(4):57-66, 2005