



COMPARAÇÃO DE GÉIS CRIOTERÁPICOS À BASE DE PROPILENOGLICOL E DE ALOE VERA PARA REDUÇÃO DA ALOPECIA INDUZIDA POR QUIMIOTERAPIA

Manuella B. Beck¹; Maria Clara Guernhardt¹, Paola Del Vecchio¹, Lucinara de Souza Linck¹.

¹Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

Maria Clara Guernhardt: 23000067@liberato.com.br

Manuella Bittencourt Beck: 23000077@liberato.com.br

Palavras-Chave: Resfriamento passivo; Crioproteção; Retenção térmica.

Introdução

O câncer de mama constitui a neoplasia maligna de maior incidência entre mulheres no Brasil, segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA, 2022). Apesar de a quimioterapia representar um pilar terapêutico essencial, sua baixa seletividade também atinge os folículos pilosos, provocando a alopecia induzida por quimioterapia (AIQ), efeito colateral que compromete significativamente o bem-estar psicossocial, a identidade e a adesão das pacientes ao tratamento.

A crioterapia capilar consolidou-se como a principal estratégia para mitigar a AIQ, por meio da hipotermia local, que promove vasoconstrição periférica e reduz o metabolismo celular na matriz folicular, limitando a absorção dos agentes citotóxicos. A literatura indica que a manutenção da temperatura do couro cabeludo em valor igual ou inferior a 22°C é o parâmetro determinante para a eficácia desse mecanismo (KAUFMAN et al., 2025). Sistemas automatizados, como o Paxman Scalp Cooling, representam o padrão-ouro dessa terapia (PAXMAN, [s.d.]), porém seu alto custo operacional restringe o acesso a centros de elite, excluindo grande parte das pacientes atendidas pela rede pública de saúde.

Alternativas de resfriamento manual, como as toucas de gel congelado, já são utilizadas clinicamente como opção de menor custo. No entanto, esses produtos apresentam composição proprietária não divulgada, custo ainda relevante para populações de baixa renda e ausência de documentação científica sistemática que compare o desempenho térmico de diferentes formulações para essa finalidade.

Diante dessa lacuna, este trabalho teve como objetivo desenvolver e comparar géis crioterápicos à base de propilenoglicol e de Aloe vera, avaliando seu desempenho



térmico, sua estabilidade física e sua viabilidade técnica e econômica para aplicação em um protótipo de touca crioterápica de baixo custo e resfriamento passivo, como alternativa acessível para a redução da alopecia induzida por quimioterapia.

Material e Métodos

Foram desenvolvidas formulações de gel utilizando propilenoglicol e/ou Aloe vera como agentes crioprotetores, goma xantana como espessante, glicerina como umectante/dispersante e Nipaguard como conservante, em base aquosa. Após ajustes iniciais para corrigir a rigidez excessiva observada em baixas concentrações do agente crioprotetor, foram estabelecidas as formulações finais: propilenoglicol isolado (12%), Aloe vera isolada (12%) e duas formulações combinadas (Aloe vera 12% + propilenoglicol 12% e 10%), todas com goma xantana a 1,5% e Nipaguard a 1%.

As formulações foram submetidas a três ensaios, adaptados dos princípios de avaliação de estabilidade de formulações semissólidas da ANVISA (2004) para a finalidade térmica específica deste trabalho: (1) estabilidade física, com amostras armazenadas por 5 dias a 5°C e a 20°C, com observação diária; (2) flexibilidade em baixa temperatura, com amostras mantidas 12 horas em freezer e avaliação manual da maleabilidade após o congelamento; e (3) retenção térmica simulando o uso clínico, com o gel resfriado e posicionado sobre um lençol térmico (30–37°C), monitorando-se a temperatura a cada 5–10 minutos até que a superfície ultrapassasse 21°C, limite adotado como critério de encerramento por conferir margem de segurança em relação ao valor terapêutico de 22°C. Os ensaios foram conduzidos no laboratório de Química da Fundação Escola Técnica Liberato, com sensores térmicos digitais e bolsas plásticas simulando o compartimento da touca.

O calor específico das formulações isoladas foi estimado teoricamente pela regra de mistura por fração mássica, a partir de valores de literatura para cada componente puro. Também foram avaliadas a viabilidade técnica (número de bolsas necessárias, tempo de troca) e econômica (custo de matéria-prima por bolsa e por sessão de tratamento) do dispositivo proposto.

Resultados e Discussão

Os géis iniciais (1% de agente crioprotetor) apresentaram rigidez excessiva no ensaio de flexibilidade, mesmo com aumento da goma xantana; o problema foi resolvido elevando-se a concentração de propilenoglicol para 5% e 10%, o que motivou o ajuste final para 12%.

No ensaio de estabilidade (5 dias, 5°C e 20°C), todas as formulações finais — propilenoglicol isolado, Aloe vera isolada e as combinações — mantiveram-se homogêneas, sem separação de fases, alteração de coloração ou de consistência. No ensaio de flexibilidade após 12 horas de congelamento (temperaturas finais entre -7°C e -9°C), todas as formulações passaram no teste; o gel de propilenoglicol apresentou leve



cristalização superficial mantendo-se íntegro, o de Aloe vera isolada apresentou-se inicialmente mais rígido, retornando rapidamente à maleabilidade após manuseio, e as formulações combinadas mantiveram-se maleáveis desde a retirada do freezer.

Nos ensaios de retenção térmica com condições iniciais padronizadas (Teste A: gel armazenado em temperatura ambiente entre usos, partindo de $-10^{\circ}\text{C}/-11^{\circ}\text{C}$), o propilenoglicol isolado (12%) manteve a superfície simulando o couro cabeludo em temperatura igual ou inferior a 21°C por aproximadamente 75 minutos, contra 115 minutos da Aloe vera isolada (12%) — vantagem de 40 minutos. As formulações combinadas (Gel 7 e Gel 8), partindo de $-8^{\circ}\text{C}/-9^{\circ}\text{C}$, apresentaram tempo de retenção de aproximadamente 55 minutos, inferior ao da Aloe vera isolada.

Ao repetir o ensaio com as mesmas amostras, alterando-se o armazenamento entre usos para refrigeração (em vez de temperatura ambiente) e padronizando-se as dimensões das bolsas (Teste B), ambas as formulações isoladas apresentaram aumento no tempo de retenção térmica: aproximadamente 110 minutos para o propilenoglicol e 135 minutos para a Aloe vera, preservando a vantagem desta última (25 minutos). Esse resultado indica que o armazenamento refrigerado entre sessões e o acondicionamento mais compacto do gel não comprometem — e podem até favorecer — o desempenho térmico, o que representa uma recomendação prática relevante e não compromete a viabilidade de reuso do dispositivo.

A estimativa teórica do calor específico, obtida pela regra de mistura por fração mássica, resultou em $3,79 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ para o propilenoglicol isolado e $3,99 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ para a Aloe vera isolada — diferença de aproximadamente 5%, compatível com a maior fração de água estruturada presente na formulação de Aloe vera (composta por mais de 98% de água, organizada por uma rede de polissacarídeos, majoritariamente acemanana). Essa maior capacidade térmica por grama é consistente com o maior tempo de retenção térmica observado experimentalmente para essa formulação, achado também respaldado pela literatura sobre o comportamento da água ligada em géis de polissacarídeos, que apresenta transição de fase mais gradual que a da água livre.

As formulações combinadas, desenvolvidas na hipótese de reunir a maleabilidade do propilenoglicol à maior retenção térmica da Aloe vera, apresentaram desempenho térmico inferior ao da Aloe vera isolada nos ensaios realizados até o momento, ainda que tenham sido aprovadas no ensaio de flexibilidade. Diante do conjunto de resultados, a formulação de Aloe vera isolada (12%) destacou-se como a de melhor desempenho térmico entre as avaliadas.

Considerando um protocolo clínico típico de aproximadamente 180 minutos (pré-resfriamento, infusão e pós-resfriamento) e a duração de eficácia de 110 a 135 minutos observada para a Aloe vera isolada, estima-se a necessidade de 1 a 2 trocas de bolsa por sessão. Para cobertura completa do couro cabeludo ($600\text{--}700 \text{ cm}^2$), estimou-se a necessidade de 6 a 9 bolsas modulares de 120g. Com base nos preços dos insumos



utilizados, o custo de matéria-prima foi estimado em R\$1,75 por bolsa, resultando em um custo total de material entre aproximadamente R\$10,50 e R\$31,50 por sessão completa — valor substancialmente inferior ao de sistemas automatizados comerciais, que variam entre 1.200 e 3.000 dólares por curso de tratamento, reforçando a viabilidade econômica da proposta.

Conclusões

Entre as formulações avaliadas, o gel de Aloe vera isolada (12%) apresentou o melhor desempenho térmico, mantendo a superfície simulando o couro cabeludo em temperatura igual ou inferior a 21°C por período consistentemente superior ao do propilenoglicol isolado e das formulações combinadas, em ensaios com condições iniciais padronizadas. Todas as formulações mantiveram maleabilidade adequada mesmo após congelamento prolongado, indicando viabilidade física para uso em bolsas flexíveis.

Verificou-se que o armazenamento sob refrigeração entre usos, com congelamento único nas horas que antecedem cada sessão, preserva o desempenho térmico do gel, constituindo uma recomendação prática relevante para o protocolo de utilização do dispositivo. A análise de viabilidade técnica e econômica indicou custo de material significativamente inferior ao de sistemas automatizados comerciais, reforçando o potencial do gel de Aloe vera isolada como alternativa acessível para compor um protótipo de touca crioterápica de baixo custo. Como direções futuras, sugerem-se a avaliação do número máximo de ciclos de reuso sem perda de desempenho, novos ensaios para confirmação estatística dos resultados e o desenvolvimento de um protótipo físico da touca para validação prática do sistema.

Agradecimentos

À Fundação Escola Técnica Liberato pela infraestrutura, e às orientadoras Lucinara de Souza Linck e Paola Del Vecchio pela orientação.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Guia de **estabilidade de produtos cosméticos**. Brasília: Anvisa, 2004.

HATAKEYAMA, T.; TANAKA, M.; HATAKEYAMA, H. Thermal properties of freezing bound water restrained by polysaccharides. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, 21(14), 1865-1875, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). **Câncer de mama**. 2022.

KAUFMAN, L.; VALENTIC, L.; MALLEY, L.; ICKSARUS, C.; ROSE, L.; DULMAGE, B. Scalp cooling therapy in chemotherapy-induced alopecia: addressing variability in cooling duration and efficacy. **Supportive Care in Cancer**, 2025.

PAXMAN. **Paxman Pacientes: passo a passo touca inglesa**. [s.l.], [s.d.].



WU, N.; FAN, C.; QIN, G.; ZHANG, X.; CHEN, Z.; ZHAO, M.; LU, C. Characterization of Heat Conduction Performance in Sodium Polyacrylate Hydrogels with Varying Water Content. **Materials**, 19(3), art. 454, 2026.