



Scientific Electronic Archives

Issue ID: Vol.19 (2), March/April 2026, p. 1-8

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/19220262181>

+ Corresponding author: deniavalladao@gmail.com

Desenvolvimento e avaliação da estabilidade de formulações cosméticas em gel contendo extrato glicólico de *Sapindus saponaria* Linnaeus

Development and stability evaluation of cosmetic gel formulations containing the glycolic extract of *Sapindus saponaria* Linnaeus

Ana Carolina Rodriguês Alano, Rafael Laurindo Morales, Elton Brito Ribeiro, Maycon de Paula Ribeiro Torres, Ana Sophia Zeretzki Hartmann, Dênia Mendes de Sousa Valladão+

Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Sinop

Resumo. *Sapindus saponaria* L. é uma espécie amplamente distribuída no território brasileiro e reconhecida pela presença de saponinas e compostos fenólicos com expressivo potencial biológico e tecnológico, despertando crescente interesse para aplicações dermocosméticas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar formulações em gel contendo diferentes concentrações do extrato glicólico de *S. saponaria*, investigando sua estabilidade físico-química, comportamento reológico e atividade antioxidante. As folhas da espécie foram submetidas à maceração em etanol 70 % (v/v), seguida de concentração e padronização do extrato glicólico com propilenoglicol. Foram desenvolvidas formulações em gel à base de hidroxietilcelulose contendo 1% e 3% do extrato, além de uma formulação controle, as quais foram submetidas a estudos de estabilidade preliminar e acelerada sob diferentes condições de temperatura e exposição à radiação ultravioleta por um período de 90 dias. Ao longo do armazenamento, foram avaliados parâmetros físico-químicos, organolépticos e reológicos, bem como o potencial antioxidante pelos métodos do DPPH e ABTS e o teor de flavonoides totais. As formulações apresentaram adequada estabilidade físico-química e sensorial quando armazenadas sob refrigeração e temperatura ambiente, mantendo pH compatível com a aplicação tópica, homogeneidade e elevada viscosidade. Em contrapartida, a exposição à radiação ultravioleta promoveu alterações significativas, evidenciando a sensibilidade do sistema ao estresse luminoso. A formulação contendo 1% de extrato destacou-se por apresentar maior atividade antioxidante, com menores valores de EC_{50} e maior teor de flavonoides totais, indicando que concentrações moderadas favorecem a preservação da atividade biológica em sistemas semissólidos. Concluiu-se que *S. saponaria* representa uma matéria-prima promissora para o desenvolvimento de géis dermocosméticos antioxidantes, desde que associada a estratégias adequadas de formulação e acondicionamento, agregando valor científico, tecnológico e sustentável à biodiversidade brasileira.

Palavras-chaves: Atividade antioxidante, Compostos fenólicos, Estabilidade físico-química, Géis, Saponinas.

Abstract. *Sapindus saponaria* L. is a species widely distributed throughout the Brazilian territory and is recognized for the presence of saponins and phenolic compounds with significant biological and technological potential, which has generated increasing interest in dermocosmetic applications. In this context, the present study aimed to develop and evaluate gel formulations containing different concentrations of *S. saponaria* glycolic extract, investigating their physicochemical stability, rheological behavior, and antioxidant activity. The leaves of the species were subjected to maceration in 70% (v/v) ethanolic solution, followed by concentration and standardization of the glycolic extract using propylene glycol. Gel formulations based on hydroxyethylcellulose containing 1% and 3 % of the extract and a control formulation were developed and subjected to preliminary and accelerated stability studies under different temperature conditions and ultraviolet radiation exposure over a 90-day period. Throughout storage, physicochemical, organoleptic, and rheological parameters were evaluated, as well as antioxidant potential using the DPPH and ABTS assays and total flavonoid content. The formulations exhibited adequate physicochemical and sensory stability when stored under

refrigeration and at room temperature, maintaining pH values compatible with topical application, homogeneity, and high viscosity. In contrast, exposure to ultraviolet radiation promoted significant alterations, highlighting the sensitivity of the system to light-induced stress. The formulation containing 1 % of extract stood out by presenting higher antioxidant activity, lower EC₅₀ values, and higher total flavonoid content, indicating that moderate concentrations favor the preservation of biological activity in semisolid systems. It is concluded that *S. saponaria* represents a promising raw material for the development of antioxidant dermocosmetic gels, provided that appropriate formulation and packaging strategies are adopted, adding scientific, technological, and sustainable value to Brazilian biodiversity.

Keywords: Antioxidant activity, Phenolic compounds, Physicochemical stability, Gels, Saponins.

Introdução

A família Sapindaceae, composta por 138 gêneros, apresenta ampla distribuição no território brasileiro, com espécies adaptadas a diferentes ecossistemas, desde florestas tropicais úmidas até regiões áridas (Pereira *et al.*, 2016). Entre esses gêneros, destaca-se *Sapindus*, reconhecido pela formação de espuma devido à presença de saponinas (Tsuzuki *et al.*, 2007). Além de sua relevância ecológica, espécies do gênero *Sapindus* têm despertado crescente interesse tecnológico devido à presença de saponinas com propriedades tensoativas e bioativas. Dentre as espécies, destaca-se *Sapindus saponaria* Linnaeus, popularmente conhecida como árvore-sabão. Essa espécie arbórea nativa possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo em todos os estados brasileiros (Embrapa Florestas, 2020.). Além disso apresenta notável capacidade de adaptação a tipos de climas, demonstrando uma grande versatilidade ecológica (Cavaletti *et al.*, 2023; Albiero *et al.*, 2001).

A espécie *S. saponaria* apresenta potencial farmacológico, evidenciado pela atividade biológica observada em diferentes partes da planta. Os extratos dos ramos finos demonstraram efeitos antimicrobianos, antifúngicos, anti-inflamatórios e antioxidantes atribuídos a saponinas triterpênicas e compostos fenólicos (Shah *et al.* 2017; Pelegrini *et al.*, 2008). As folhas, por sua vez, exibem atividade antioxidante, antimicrobiana e cicatrizante. Essas propriedades reforçam o potencial terapêutico da espécie em formulações destinadas ao tratamento de infecções, processos inflamatórios (Grisiet *et al.*, 2012; Pelegrini *et al.*, 2008). Além disso, extratos dos caules e frutos apresentaram atividade antifúngica significativa contra espécies do gênero *Candida*, o que destaca o valor biofarmacológico da planta como fonte natural de potencial agente antifúngico (Shinobu-Mesquita *et al.*, 2015; Tsuzuki *et al.*, 2007).

A presença de saponinas na espécie colabora não só com a formação de espuma, mas confere um potencial tensoativo relevante, características que tornam seus extratos de grande interesse para aplicações industriais, cosméticas e farmacêuticas, especialmente na formulação de limpadores, emulsões e sistemas de liberação controlada (Bezerra *et al.*, 2018; Cavaletti *et al.*, 2023).

O desenvolvimento de formulações em gel que incorporam extratos vegetais é uma estratégia eficaz para aproveitar os compostos bioativos

presentes em espécies naturais. As formas farmacêuticas semissólidas se destacam por seu baixo custo de produção, facilidade de preparo e aplicação tópica, apresentando características como homogeneidade, elevada espalhabilidade e excelente capacidade de incorporação de princípios ativos, conforme descrito por Allen Jr., Popovich e Ansel (2013). Além disso, essa classe de formulações é versátil como sistema carreador, capaz de veicular compostos hidrofílicos e lipofílicos, incluindo extratos vegetais com potencial terapêutico (Souza *et al.*, 2020).

Nesse contexto, os estudos de pré-formulação desempenham um papel crucial no desenvolvimento de produtos cosméticos, pois possibilitam a caracterização físico-química dos componentes e a detecção de possíveis interações que podem afetar a estabilidade e a eficácia do produto final. A análise prévia de parâmetros como pH, compatibilidade dos excipientes, comportamento reológico e sensibilidade a fatores ambientais permite prever possíveis instabilidades, diminuindo riscos visando o consumidor e evitando problemas durante o armazenamento e uso (Aulton; Taylor, 2016). Ademais, em relação a formulações que contêm extratos vegetais, essa fase se torna ainda mais importante, analisando a complexidade química desses componentes e sua maior propensão a processos de degradação (Heim *et al.* 2002; Ladeira *et al.*, 2021).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver formulações em gel com diferentes concentrações do extrato glicólico de *S. saponaria*, uma espécie que integra a biodiversidade do Mato Grosso, bem como avaliar a estabilidade dessas formulações.

Material e Métodos

Obtenção do material vegetal e preparo do extrato glicólico

As folhas de *S. saponaria* foram coletadas no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) localizado no município de Sinop região norte de Mato Grosso nas coordenadas 11,86216° S, 55,48256° O e a identificação botânica foi realizada no Herbário Centro-Norte-Mato-Grossense (CNMT) da mesma universidade, onde uma exsiccata foi armazenada sob registro 0759 e código AD2F8E4 no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

As folhas foram encaminhadas ao laboratório de Controle de Qualidade, secas em estufa (40 ± 1 °C, 48 horas), trituradas em um liquidificador e armazenadas a 5 ± 2 °C, para uso posterior.

Os extratos foram obtidos por maceração estática das folhas de *S. saponaria* em etanol 70% (v/v), na proporção de 1:10 (m/v) de droga vegetal para solvente, durante sete dias, com agitação ocasional. Ao término do período, o material foi filtrado e o volume do filtrado mensurado em proveta. Em seguida, o filtrado foi dividido em duas frações: a primeira foi evaporada até peso constante em rotaevaporador, a 40 °C, para determinação do rendimento de extração (m/m) do extrato seco; a segunda foi concentrada até aproximadamente metade do volume inicial, também em evaporador rotativo a 40 °C. Ao concentrado hidroalcolólico adicionou-se propilenoglicol na proporção de 1:1 (v/v), obtendo-se o extrato glicólico padronizado, que foi utilizado no preparo das formulações em gel.

Preparação do gel

Foram desenvolvidos géis de hidroxietil celulose (Natrosol®) contendo extrato glicólico de *S. saponaria* nas concentrações de 1% e 3% (m/m), além de formulação controle sem extrato conforme a Tabela 1. Inicialmente, o metilparabeno (Nipagin) foi dissolvido em água purificada aquecida a 70 °C e em seguida, adicionou-se a hidroxietilcelulose (Natrosol) gradualmente, sob agitação lenta e constante, até completa dissolução do polímero. Então, a mistura foi resfriada até 40 °C, intercalando-se períodos de agitação e repouso. Na sequência, a Imidazolidinilureia (Germal), previamente solubilizada em pequena quantidade de água, foi incorporado à base e em seguida adicionou-se o extrato glicólico nas proporções correspondentes a cada concentração, obtendo-se um gel homogêneo e de aspecto uniforme.

Tabela 1 - Componentes e percentuais das concentrações empregadas para preparação dos géis.

Componentes	F (% m/m)	F1 (% m/m)	F2 (% m/m)
Extrato de <i>S. saponaria</i>	0	1	3
Hidroxietilcelulose (Natrosol®)	3	3	3
Imidazolidinilureia (Germal®)	0,1	0,1	0,1
Metilparabeno (Nipagin®)	0,2	0,2	0,2

F- Formulação controle, F1- Formulação 1 contendo 1% de extrato, F2- Formulação 2 contendo 3% de extrato. Fonte: autoria própria.

Estudo da estabilidade

As formulações foram inicialmente submetidas ao ensaio de estabilidade preliminar, no qual as amostras acondicionadas em frascos plásticos transparentes foram expostas a ciclos térmicos de 24 horas, alternando entre 45 °C e 5 ± 2 °C, durante 16 dias consecutivos (Brasil, 2004). Ao final desse período, as formulações que não apresentaram alterações organolépticas ou físico-químicas aparentes foram encaminhadas para o estudo de estabilidade acelerada. No ensaio acelerado, as amostras foram armazenadas em embalagens idênticas e mantidas sob quatro condições distintas: refrigeração (5 ± 2 °C), temperatura ambiente controlada (25 ± 2 °C), temperatura elevada (40 ± 2 °C) e exposição contínua à radiação ultravioleta (UV). As formulações foram avaliadas quanto aos parâmetros físico-químicos (pH, viscosidade, condutividade elétrica e índice de refração) e características organolépticas (aspecto, cor e odor) em intervalos de 30 dias, totalizando 90 dias de monitoramento (Brasil, 2004).

Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos avaliados compreenderam centrifugação, características organolépticas, pH e índice de refração, conforme metodologia adaptada de Brasil (2019). As amostras

(10 g) foram submetidas à centrifugação em centrífuga (Quimis® Q222T), a 3000 rpm por 30 min a 25 ± 2 °C, para verificação da estabilidade física. As características organolépticas (aspecto e odor) foram avaliadas e classificadas como normais (N) ou modificadas (M) em cada período de análise. O pH e a condutividade elétrica foram determinados por inserção direta do eletrodo na amostra, utilizando pHmetro (Del Lab.®) e condutivímetro (Analytical Instruments). O índice de refração foi mensurado em refratômetro Abbe (Polax® WYA-2S), conforme metodologia descrita na Farmacopeia Brasileira (Brasil, 2019), visando detectar possíveis alterações na dispersão da luz associadas à instabilidade das formulações.

A viscosidade aparente foi determinada em viscosímetro rotacional (Myr®) utilizando spindle L4 adequado para amostras semissólidas, foram registrados os valores de viscosidade aparente. As análises foram realizadas a 10 rpm, a 25 ± 2 °C, em triplicata, registrando-se os valores em centipoise de cada determinação que foi realizada em triplicata (Brasil, 2004).

Determinação do potencial antioxidante pelo método do DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

A atividade antioxidante do extrato e das formulações foi determinada com base na capacidade de neutralização do radical livre 2,2-

difenil-1-picril-hidrazil (DPPH[•]), conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007a). Soluções estoque foram preparadas a 4000 µg mL⁻¹, a partir das quais foram obtidas diluições na faixa de 1000 a 50 µg mL⁻¹ para as análises. Alíquotas de 1000 µL de cada diluição foram transferidas para tubos de ensaio, aos quais se adicionaram 4,0 mL da solução etanólica de DPPH previamente preparada. Após homogeneização em agitador tipo vórtex, as amostras foram mantidas em repouso, protegidas da luz, por 1 hora. A absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-Vis (FEMTO-CIRRUS 80) a 515 nm. Os ensaios foram realizados em triplicata, com teste em branco utilizado para correção das leituras de absorbância e com o controle contendo apenas DPPH e o solvente. Os resultados foram expressos como EC₅₀ (µg mL⁻¹), correspondente à concentração do extrato necessária para reduzir 50% da absorbância inicial do radical DPPH[•].

Determinação do potencial antioxidante pelo método 2,2 Azino Bis (3- etilbenzotiazolina -6- ácido sulfônico) (ABTS^{•+})

O potencial antioxidante das formulações foi realizado pelo ensaio de sequestro do radical ABTS^{•+} (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)), seguiu metodologia estabelecida por Rufino et al. (2007b). A faixa de concentração adotada para a análise foi a mesma do ensaio de DPPH (1000 a 50 µg mL⁻¹), onde adicionou-se 3,0 mL da solução do radical ABTS^{•+} e 30 µL da amostra diluída em tubos de ensaio. As amostras foram homogeneizadas em agitador tipo vórtex e mantidas em repouso, protegidas da luz, por 6 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis, no comprimento de onda de 734 nm, utilizando etanol como branco. Os ensaios foram conduzidos em triplicata e os

resultados foram expressos em micromoles equivalentes de Trolox por grama de extrato seco (µmol Trolox g⁻¹) e em µg mL⁻¹.

Determinação de flavonoides totais

A quantificação total de flavonoides seguiu a metodologia descrita por Silva et al. (2016). A partir das soluções estoque do extrato e formulações, preparadas a 4000 µg mL⁻¹. A partir da solução estoque foi retirado 2,0 mL e transferidos para o tubo de ensaio contendo 2,0 mL de solução de cloreto de alumínio (AlCl₃) a 5% (p/v) totalizando o volume final de 4 mL. A mistura foi homogeneizada em vórtex e mantida em repouso por 15 minutos. As leituras foram realizadas em triplicata, a 420 nm e os resultados foram expressos em miliequivalentes (mEq) de quercetina por grama de extrato seco (mEq quercetina g⁻¹).

Resultados e discussão

As formulações de gel mostraram-se inicialmente translúcidas, homogêneas e sem formação de grumos, características adequadas para esse tipo de sistema (Allen Jr.; Popovich; Ansel, 2013). Após o período de estabilidade preliminar (16 dias), essas propriedades organolépticas permaneceram inalteradas, sem mudança perceptível em cor, odor ou textura como demonstrado na Tabela 2. O pH das formulações se manteve próximo à neutralidade tanto em t₁ quanto em t₁₆, indicando que a incorporação do extrato glicólico de *S. saponaria* não alterou significativamente a acidez do sistema. Essa manutenção do pH é importante para garantir segurança e conforto na aplicação tópica, evitando irritações cutâneas (Aulton; Taylor, 2016). Assim, os resultados sugerem que a adição do extrato não comprometeu a estabilidade físico-química dos géis durante o período avaliado.

Tabela 2 - Estabilidade preliminar dos géis contendo hidroxietilcelulose e extrato glicólico de *S. saponaria* após 24 h (t₁) e 16 dias (t₁₆).

Formulação	Δt	pH	Viscosidade (cP)	Condutividade (µS cm ⁻¹)	Índice de refração
F	t ₁	6,08 ± 0,60	226.917 ± 1,73	1.055,30 ± 1,05	1,34 ± 0,06
	t ₁₆	6,05 ± 0,30	261.600 ± 4,81	1.065,00 ± 0,41	1,34 ± 0,09
F1	t ₁	6,06 ± 0,02	230.688 ± 10.786,20	1.006,34 ± 18,57	1,34 ± 0,00
	t ₁₆	5,94 ± 0,07	238.657 ± 10.823,34	1.026,15 ± 35,24	1,34 ± 0,00
F2	t ₁	6,08 ± 0,04	220.838 ± 11.386,20	1.016,65 ± 24,23	1,34 ± 0,00
	t ₁₆	5,96 ± 0,06	228.947 ± 13.623,34	1.042,7 ± 65,65	1,34 ± 0,00

Valores expressos em média ± desvio padrão (n = 3). F – Gel controle (hidroxietilcelulose sem extrato); F1 – Gel de hidroxietilcelulose contendo 1 % do extrato glicólico de *S. saponaria*; F2 – Gel de hidroxietilcelulose contendo 3 % do extrato glicólico de *S. saponaria*; t₁ – avaliação realizada após 24 horas do preparo; t₁₆ – avaliação realizada após 16 dias de armazenamento à temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

Ademais, as formulações mantiveram-se visualmente estáveis durante a estabilidade preliminar, sem evidências de separação de fases, sinérese ou mudança de consistência, o que

demonstra que o sistema permaneceu coeso e fisicamente uniforme durante o período de armazenamento (Brasil, 2004; Corrêa et al., 2005). As variações na condutividade elétrica foram

mínimas ao longo dos períodos de análise, indicando que não houve alterações significativas no equilíbrio iônico das formulações (Aulton; Taylor, 2016). A viscosidade permaneceu alta e relativamente estável, apresentando pequenas variações devido ao ajuste natural das cadeias poliméricas dahidroxietilcelulose ao longo do armazenamento, mantendo a consistência típica dos géis (Corrêa et al., 2005; Aulton; Taylor, 2016). O índice de refração manteve-se constante ao longo das medições, indicando uniformidade óptica do

sistema e ausência de turbidez, condição que minimiza o espalhamento da luz e assegura a precisão e a reprodutibilidade da determinação do índice de refração (Brasil, 2004). Portanto, levando em conta que as formulações apresentaram estabilidade físico-química e organoléptica satisfatória sob as condições de estresse aplicadas na estabilidade preliminar, novas amostras foram preparadas e submetidas ao estudo de estabilidade acelerada, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estabilidade preliminar dos géis contendo hidroxietilcelulose e extrato glicólico de *S. saponaria* após 24 h (t1) e 16 dias (t16).

Formulação	Condição	Δt	pH	Viscosidade (cP)	Condutividade ($\mu S\ cm^{-1}$)	Índice de Refração
F1	5 $\pm$ 2	0	6,43 $\pm$ 0,00	115.066,67 $\pm$ 7.542,26	513,33 $\pm$ 63,70	1,34 $\pm$ 0,00
		30	6,29 $\pm$ 0,00	63.616,67 $\pm$ 6.187,51	-	1,35 $\pm$ 0,00
		60	5,57 $\pm$ 0,00	46.910,00 $\pm$ 1.862,02	-	1,35 $\pm$ 0,00
		90	5,70 $\pm$ 0,00	48.660,00 $\pm$ 4.348,38	1.390,66 $\pm$ 5,85	1,35 $\pm$ 0,00
	25 $\pm$ 2	0	6,46 $\pm$ 0,00	97.783,33 $\pm$ 8.953,80	541,66 $\pm$ 18,17	1,34 $\pm$ 0,00
		30	6,13 $\pm$ 0,00	77.243,33 $\pm$ 5.930,14	-	1,34 $\pm$ 0,00
		60	5,50 $\pm$ 0,00	16.276,67 $\pm$ 1.435,63	-	1,35 $\pm$ 0,00
		90	5,55 $\pm$ 0,00	50.200,00 $\pm$ 3.638,42	1.555,00 $\pm$ 5,56	1,35 $\pm$ 0,00
	45 $\pm$ 2	0	6,45 $\pm$ 0,00	137.546,67 $\pm$ 9.493,70	528,00 $\pm$ 11,00	1,34 $\pm$ 0,00
		30	5,63 $\pm$ 0,00	59.630,00 $\pm$ 3.014,08	-	1,35 $\pm$ 0,00
		60	5,38 $\pm$ 0,00	55.400,00 $\pm$ 3.444,36	-	1,35 $\pm$ 0,00
		90	5,44 $\pm$ 0,02	52.730,00 $\pm$ 3342,11	1.669,00 $\pm$ 9,53	1,34 $\pm$ 0,00
	UV	0	6,45 $\pm$ 0,00	167.140,00 $\pm$ 34027,38	558,33 $\pm$ 11,59	1,35 $\pm$ 0,00
		30	5,25 $\pm$ 0,60	551,33 $\pm$ 54,52	-	1,35 $\pm$ 0,00
		60	4,77 $\pm$ 0,00	275,00 $\pm$ 21,63	-	1,35 $\pm$ 0,00
		90	4,74 $\pm$ 0,10	318,67 $\pm$ 4.348,38	1.600,66 $\pm$ 0,00	1,35 $\pm$ 0,00
F2	5 $\pm$ 2	0	6,28 $\pm$ 0,01	113.653,30 $\pm$ 5.280,87	1.465,33 $\pm$ 21,20	1,35 $\pm$ 0,00
		30	6,32 $\pm$ 0,00	229.993,30 $\pm$ 14.601,10	-	1,34 $\pm$ 0,00
		60	5,77 $\pm$ 0,00	106.943,30 $\pm$ 6.124,90	-	1,34 $\pm$ 0,00
		90	5,30 $\pm$ 0,00	110.593,30 $\pm$ 9.701,50	1.473,00 $\pm$ 7,54	1,34 $\pm$ 0,00
	25 $\pm$ 2	0	6,25 $\pm$ 0,00	65.316,67 $\pm$ 7.652,85	1.455,67 $\pm$ 10,69	1,35 $\pm$ 0,00
		30	6,02 $\pm$ 0,00	168.303,30 $\pm$ 11.730,00	-	1,34 $\pm$ 0,00
		60	5,71 $\pm$ 0,00	78.153,33 $\pm$ 8.427,95	-	1,34 $\pm$ 0,00
		90	5,16 $\pm$ 0,00	103.493,30 $\pm$ 11.396,76	1.609,00 $\pm$ 9,54	1,35 $\pm$ 0,00
	45 $\pm$ 2	0	6,29 $\pm$ 0,00	92.610,00 $\pm$ 1.046,75	1.437,67 $\pm$ 2,08	1,35 $\pm$ 0,00
		30	5,56 $\pm$ 0,00	96.790,00 $\pm$ 10.897,90	-	1,35 $\pm$ 0,00
		60	5,50 $\pm$ 0,00	155.873,3 $\pm$ 10126,00	-	1,34 $\pm$ 0,00
		90	5,09 $\pm$ 0,01	110.317 $\pm$ 5.884,70	1.813,33 $\pm$ 12,22	1,34 $\pm$ 0,00
	UV	0	6,27 $\pm$ 0,00	78.720,00 $\pm$ 6.855,66	1.461,00 $\pm$ 6,55	1,34 $\pm$ 0,00
		30	5,1 $\pm$ 0,60	8.454,66 $\pm$ 1.329,74	-	1,34 $\pm$ 0,00
		60	4,88 $\pm$ 0,00	2.000,66 $\pm$ 24,37	-	1,34 $\pm$ 0,00
		90	4,48 $\pm$ 0,00	1.280,33 $\pm$ 9.701,56	1.534,66 $\pm$ 4,16	1,34 $\pm$ 0,00

Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão (n = 3); F1 – Gel de hidroxietilcelulose contendo 1 % do extrato glicólico de *S. saponaria* L.; F2 – Gel de hidroxietilcelulose contendo 3 % do extrato glicólico de *S. saponaria* L.; Δt – tempo de avaliação (0, 30, 60 e 90 dias) correspondente ao período de ensaio de estabilidade acelerada; condições de armazenamento: 5 $\pm$ 2 °C (refrigeração), 25 $\pm$ 2 °C (temperatura ambiente), 45 $\pm$ 2 °C (temperatura elevada) e UV (exposição contínua à radiação ultravioleta).

No estudo de estabilidade acelerada, as formulações mantiveram suas características organolépticas quando armazenadas ao abrigo da luz, permanecendo translúcidas, homogêneas e com coloração levemente amarelada ao longo dos 90 dias de análise. O pH das amostras mantidas em temperatura ambiente e sob refrigeração permaneceu próximo à neutralidade, faixa

compatível com o pH cutâneo, o que indica que a incorporação do extrato glicólico de *S. saponaria* não alterou significativamente o equilíbrio ácido-base do sistema, garantindo potencial segurança e conforto para aplicação tópica (Brasil, 2004). Entretanto, observou-se redução do pH nas formulações mantidas em estufa e, principalmente, naquelas expostas à luminosidade, esse

comportamento pode estar associado à degradação oxidativa de compostos fenólicos presentes no extrato, conforme já descrito em formulações contendo extratos vegetais sensíveis à radiação e calor (Pinto *et al.*, 2021). Lis *et al.* (2020) relataram resultados semelhantes ao examinarem a estabilidade de um gel com cafeína. Eles notaram uma redução significativa do pH em condições de estufa a 45 °C, o que foi atribuído à formação de metabólitos ácidos resultantes da degradação térmica dos componentes da formulação, indicando que o estresse térmico e luminoso pode acelerar reações de degradação química, o que leva a uma diminuição do pH nos sistemas semissólidos.

Nas formulações protegidas da luz, a condutividade elétrica manteve-se estável, indicando que a matriz polimérica permaneceu íntegra e que não houve liberação significativa de espécies iônicas no meio. Em contrapartida, as formulações submetidas à radiação luminosa mostraram um aumento gradual da condutividade elétrica. A radiação ultravioleta pode causar foto-oxidação em polímeros hidrofílicos solúveis em água, levando à quebra das cadeias poliméricas e desestruturação da rede tridimensional do gel. Isso resulta em maior quantidade de água livre e maior mobilidade iônica no sistema (Aulton; Taylor, 2016; Santos *et al.*, 2008). Ademais, polímeros hidrofílicos solúveis em água podem sofrer processos de foto-oxidação quando expostos à radiação ultravioleta, o que resulta na quebra das cadeias poliméricas e na desestruturação da rede tridimensional do gel. Esse fenômeno contribui para o aumento da fração de água livre no sistema, o que, por sua vez, eleva a mobilidade dos íons na matriz polimérica. Isso ocorre porque a condução elétrica em hidrogéis se dá principalmente por meio de mecanismos de

condução iônica, que dependem tanto do grau de hidratação quanto da organização estrutural da rede polimérica, o que contribui para elevar a condutividade elétrica das formulações (Aulton; Taylor, 2016; Santos *et al.*, 2008).

Além disso, em determinados momentos do estudo, as amostras exibiram um aumento inicial da viscosidade, seguido por uma redução gradual ao longo do período de armazenamento. Esse comportamento pode ser explicado por um processo inicial de reacomodação e interação mais intensa entre as cadeias poliméricas da hidroxietilcelulose, o que leva a um aumento temporário da resistência ao escoamento (Aulton; Taylor, 2016). Com a persistência do estresse físico-químico, principalmente sob a influência da radiação e temperatura, a estrutura tridimensional do polímero começa a se desorganizar. Isso resulta na quebra das interações intermoleculares e na redução da viscosidade, fazendo com que o gel se torne cada vez mais fluido. Esse comportamento é típico de sistemas poliméricos semissólidos e está em conformidade com o relatado por Aulton; Taylor, (2016) e Corrêa *et al.* (2005) para géis.

O índice de refração permaneceu constante nas formulações armazenadas tanto sob refrigeração quanto à temperatura ambiente, demonstrando uniformidade óptica e ausência de turbidez, o que confirma a preservação da homogeneidade do sistema. Esse conjunto de evidências indica que a luminosidade foi o principal fator negativo na estabilidade das formulações, enquanto temperatura ambiente e refrigeração se mostraram condições apropriadas para preservar as propriedades físico-químicas e sensoriais durante o período de estudo.

Tabela 4 - Avaliação da atividade antioxidante (métodos DPPH e ABTS) e quantificação de flavonoides totais nas formulações em gel de *S.saponaria*.

Formulação	Condição	DPPH	ABTS		Flavonoides totais ($\mu\text{g QE g}^{-1}$)
		EC50 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	$\mu\text{M Trolox g}^{-1}$	EC50 ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	
F1	25 $\pm$ 2	7077,83 $\pm$ 82,55	610,87 $\pm$ 1,13	1359,5 $\pm$ 3,04	62,47 $\pm$ 1,86
F2	25 $\pm$ 2	11665,4 $\pm$ 1321,99	236,24 $\pm$ 20,60	3418,65 $\pm$ 314,41	38,47 $\pm$ 0,40

F1- Formulação 1 contendo 1% de extrato, F2- Formulação 2 contendo 3% de extrato, GC-Formulação 3 controle. Fonte: autoria própria. Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão. EC₅₀: concentração necessária para reduzir 50% do radical livre; $\mu\text{M Trolox/g}$: capacidade antioxidante equivalente ao Trolox; Flavonoides totais expressos em μg equivalentes de quercetina/g de extrato

Ao analisar os dados obtidos nas demais condições, fica evidente que a avaliação da atividade antioxidante deve focar principalmente nas amostras mantidas na condição de 25 $\pm$ 2 °C, devido as condições temperatura de 45°C e radiação apresentarem muitas variações. Isso ocorre porque temperaturas mais altas e exposição à radiação UV geralmente provocam maior variação nos resultados, possivelmente devido à degradação dos compostos contidos no extrato. Nessa condição mais estável (25 $\pm$ 2 °C), notou-se que a F1 exibiu a maior atividade antioxidante, como demonstrado

pelos menores valores de EC₅₀ no método DPPH e pelos maiores valores no método ABTS. Além disso, apresentou um maior teor de flavonoides totais em comparação com a F2. Esses achados fortalecem a relação entre o teor de flavonoides e a atividade antioxidante, uma vez que essa classe de compostos funciona como doadores de elétrons e estabilizadores de radicais livres (Heimet *et al.*, 2002). Portanto, embora a F2 apresente uma maior concentração de extrato, a F1 exibiu um desempenho antioxidante superior nas condições de avaliação mais favoráveis.

Nesse cenário, pesquisas mecanísticas mostram que a atividade antioxidante de compostos fenólicos varia de acordo com a concentração e as condições do meio, pois diferentes mecanismos antioxidantes e pró-oxidantes podem prevalecer de acordo com o ambiente químico e a disponibilidade do composto para reação. Portanto, o aumento da concentração não significa necessariamente uma maior eficácia antioxidante, principalmente em sistemas complexos, como as formulações poliméricas (Castañeda-arriaga *et al.*, 2018).

Considerando os resultados, recomenda-se o acondicionamento das formulações em frascos âmbar ou outra embalagem opaca, de modo a minimizar a exposição à luz e preservar a estabilidade físico-química e sensorial durante o armazenamento.

Conclusão

Os resultados obtidos demonstram que o extrato glicólico de *S. saponaria* apresenta elevada compatibilidade com matrizes poliméricas à base de hidroxietilcelulose, viabilizando o desenvolvimento de géis dermocosméticos fisicamente estáveis e com adequada manutenção das propriedades físico-químicas e sensoriais sob condições apropriadas de armazenamento. A formulação contendo 1% de extrato destacou-se por apresentar melhor desempenho antioxidante e maior teor de flavonoides totais na condição de 25 ± 2 °C, evidenciando que concentrações moderadas favorecem a preservação da atividade biológica em sistemas semissólidos, possivelmente em função de interações mais equilibradas entre os compostos fenólicos e a matriz polimérica. A redução da estabilidade observada sob exposição à radiação ultravioleta reforça o papel crítico do acondicionamento na manutenção da qualidade do produto, indicando a necessidade do uso de embalagens opacas como estratégia tecnológica simples e eficaz. Dessa forma, *S. saponaria* consolida-se como uma matéria-prima promissora para aplicações dermocosméticas, especialmente em formulações voltadas à proteção contra o estresse oxidativo, agregando valor científico, tecnológico e sustentável à biodiversidade brasileira.

Referências

- ALLEN J.R.L.V.; POPOVICH, N.G.; ANSEL, H.C. **Formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos**. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- ALBIERO, A. L. M.; BACCHI, E. M.; MOURÃO, KSM. Caracterização anatômica das folhas, frutos e sementes de *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). **Acta Scientiarum**, v. 23, p. 549-560, 2001.
- AULTON, M.E; TAYLOR, K.M.G. **Aulton delineamento de formas farmacêuticas**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- BEZERRA, K.G.O.; RUFINO, R.D.; LUNA, J.M.; SARUBBO, L.A. Saponinas e biossurfactantes microbianos: potenciais matérias-primas para a formulação de cosméticos. **Biotechnology Progress**, v. 34, n 6, p. 1482-1493, 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Guia de estabilidade de produtos cosméticos**. Brasília: Anvisa, 2004.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Farmacopeia Brasileira**. 6. ed. Brasília: Anvisa, 2019.
- CASTAÑEDA-ARRIAGA, R.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; REINA, M.; ALVAREZ-IDABOY, JR; Galano, A. Investigação abrangente dos efeitos antioxidantes e pró-oxidantes de compostos fenólicos: uma faca de dois gumes no contexto do estresse oxidativo? **The journal of physical chemistry B**, v. 122, n. 23, p. 6198-6214, 2018.
- CAVALETTI, J. C. S.; PRANDO, W. L. M.; RIBEIRO, E. B.; VALLADÃO, D. M. S. Development and stability of intimate soap formulations using *Sapindus saponaria* L. extract as a natural surfactant. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e276940, 2023.
- CORRÊA, N.M.; CAMARGO JÚNIOR, F.B.; IGNÁCIO, R.F.; LEONARDI, G.R. Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofilicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 1, p. 73-78, 2005.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Sapindaceae**. In: FLORA DO BRASIL em construção. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. v. 40. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br>>. Acesso em: dia mês ano
- GRISI, P. U., RANAL, M. A., GUALTIERI, S. C. J. ;SANTANA, D. G. Allelopathic potential of *Sapindus saponaria* L. leaves in the control of weeds. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 34, p. 1-9, 2012.
- HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 13, n. 10, p. 572-584, 2002.
- LADEIRA, G.D.A.; ALVES, A.S.A.; MOTA, B.S.; ROSA, J.A.; GOMES, M.G.R.; TAVARES, R.C.; XAVIER, Q.M.L.A. A IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS DE PRÉ-FORMULAÇÃO NA ESTABILIDADE DOS PRODUTOS COSMÉTICOS. Revista: **Ibero-Americana de Humanidades**,

Ciências e Educação, v. 7, n. 12, p. 1074–1085, 2021.

LIS, C.C.; MASSUQUETTO, F.R.; SILVA, T.F.B.X. da; LUBI, N.C. Desenvolvimento e avaliação da estabilidade de um gel contendo cafeína. **Revista Saúde e Desenvolvimento**, v. 13, n. 16, p. 105–113, 2020.

PELEGRINI, D. D.; TSUZUKI, J.K.; AMADO, C.A.B.; CORTEZ, D.A.G.; FERREIRA, I.C.P. Biological activity and isolated compounds in *Sapindus saponaria* L. and other plants of the genus *Sapindus*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, p. 922- 927, 2008.

PEREIRA, L. D. A.; AMORIM, B. S.; ALVES, M.; SOMNER, G. V.; BARBOSA, M. R. D. V. Flora da Usina São José, Igarassu, Pernambuco: Sapindaceae. **Rodriguésia**, v. 67, p. 1047-1059, 2016.

PINTO, D.; LAMEIRÃO, F.; DELERUE-MATOS, C.; RODRIGUES, F.; COSTA, P. Caracterização e estabilidade de uma formulação contendo extrato de casca de *Castanea sativa* enriquecido com antioxidantes. **Cosmetics**, v. 8, n. 2, p. 49, 2021.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; MORAIS, S.M. SAMPAIO, C. G.; JIMENEZ, J.P.; CALIXTO, F. D. S. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa, 2007a.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{o+}**. Fortaleza: Embrapa, 2007b.

SANTOS, L.C. **Fotodegradação de polímeros solúveis em água e moléculas modelo via processos oxidativos avançados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SHAH, M.; PARVEEN, Z.; KHAN, M. R. Evaluation of antioxidant, anti- inflammatory, analgesic and antipyretic activities of the stem bark of *Sapindus mukorossi*. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v.17. n.1, p. e526, 2017.

SHINOBU-MESQUITA, C.S.; BONFIM-MENDONÇA, P.S.; MOREIRA, A.L.; FERREIRA, I.C.P.; DONATTI, L.; FIORINI, A.; SVIDZINSKI, T.I.E. Mudanças estruturais celulares em *Candida albicans* causadas pelo extrato hidroalcoólico de *Sapindus saponaria* L. **Molecules**, v. 20, p. 9405-9418, 2015.

SILVA, J.B.; Costa, K. M.; Coelho, W. A.; Paiva, K. A.; Costa, G. A.; Salatino, A.; Batista, J. S. Quantificação de fenóis, flavonoides totais e atividades farmacológicas de geoprópolis de *Plebeia aff. Flavocincta* do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 874-880, 2016.

SOUZA, R.P.; HOLANDA, J.N.P.; SOUSA, L.R.B.; OLIVEIRA, D.; SOUZA, D.C.P.; SOUSA, RWR. Desenvolvimento farmacotécnico e controle de qualidade de um gel crioterápico à base de extrato de gengibre, mentol e cafeína. **Research Society and Development**, v. 9, n. 6, p. e110963513, 2020.

TSUZUKI, J.K.; SVIDZINSKI, T.I.; SHINOBU, C.S.; SILVA, L.F.; RODRIGUES-FILHO, E; CORTEZ, DA; FERREIRA, IC. Atividade antifúngica dos extratos e saponinas de *Sapindus saponaria* L. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, p. 577-583, 2007.