



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FARMÁCIA

Maria Fernanda da Silva

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon flexuosus* (DC.) MICROENCAPSULADO COMO ANTIOXIDANTE EM FORMULAÇÕES

Florianópolis

2023

Maria Fernanda da Silva

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon flexuosus* (DC.) MICROENCAPSULADO COMO ANTIOXIDANTE EM FORMULAÇÕES

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Farmácia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Giovana Carolina Bazzo

Florianópolis
2023

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho contou com o auxílio de diversas pessoas. Dentre elas, gostaria de agradecer:

À minha professora orientadora, Giovana Carolina Bazzo, por me ajudar em todo o processo de um trabalho de conclusão de curso, que me mostrou o caminho e fez com que ele fosse leve.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a todas as experiências acadêmicas que tive aqui, como iniciação científica, estágios, na qual, com certeza me ajudaram a passar por essa reta final com mais sabedoria. Assim como a todo o corpo docente que me tornou uma profissional da saúde.

E por último, mas não menos importante, agradecer à minha família, especialmente a minha mãe Eliete de Souza, meu pai Jackes da Silva e a minha irmã Maria Eduarda da Silva, ao meu namorado Theodoro Cardoso Haeming, e amigas, por todo apoio e suporte durante estes semestres finais. E também, a mim mesma, por chegar até o final dessa jornada com excelência.

RESUMO

O óleo essencial de capim-limão é estudado na literatura por sua atividade antioxidante, porém por conta da instabilidade dos óleos essenciais, a microencapsulação desses óleos está sendo estudada, com a finalidade de torná-los mais estáveis e manterem suas características. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a atividade antioxidante de micropartículas contendo óleo essencial de capim-limão e a sua performance como antioxidante em uma formulação-base. Sendo assim, a atividade antioxidante do óleo puro e do óleo microencapsulado foram determinadas nos tempos zero e após 60 dias de armazenamento em estufa a 40 °C. Não foram observadas diferenças estatísticas entre o óleo puro de capim-limão e o óleo microencapsulado, evidenciando que o processo de microencapsulação não interferiu na atividade antioxidante do OE. Além disso, as micropartículas apresentaram uma maior estabilidade quando armazenadas, em comparação ao óleo puro. Foi realizada a incorporação do óleo puro e das micropartículas em uma formulação-base (emulsão água em óleo) e o pH, viscosidade e características macroscópicas foram avaliadas no tempo zero e após 60 dias de armazenamento à temperatura ambiente e a 40 °C. Com relação a formulação contendo OE não foi possível observar indícios da ocorrência de oxidação de componentes lipídicos, nem mesmo na base sem adição de antioxidantes e de óleo, armazenada em estufa durante 60 dias. Todavia, este trabalho foi pioneiro e possibilitará o direcionamento da continuidade dos estudos, visando uma futura aplicação do óleo microencapsulado em formulações cosméticas.

Palavras-chave: óleo essencial de capim-limão; atividade antioxidante; óleo microencapsulado; micropartículas, formulações.

ABSTRACT

Lemongrass essential oil is studied in the literature for its antioxidant activity. However, due to the instability of essential oils, the microencapsulation of these oils is being investigated in order to make them more stable and preserve their characteristics. Therefore, this study aimed to evaluate the antioxidant activity of microparticles containing lemongrass essential oil and its performance as an antioxidant in a base formulation. Thus, the antioxidant activity of pure oil and microencapsulated oil was determined at time zero and after 60 days of storage in an oven at 40°C. No statistical differences were observed between the pure lemongrass oil and the microencapsulated oil, indicating that the microencapsulation process did not interfere with the antioxidant activity of the essential oil. Furthermore, the microparticles showed greater stability when stored compared to the pure oil. The incorporation of pure oil and microparticles into a base formulation (oil-in-water emulsion) was carried out, and pH, viscosity, and macroscopic characteristics were evaluated at time zero and after 60 days of storage at room temperature and 40°C. Regarding the formulation containing the essential oil, no signs of oxidation of lipid components were observed, even in the base without the addition of antioxidants and oil, stored in an oven for 60 days. However, this work was pioneering and will guide further studies aimed at the future application of microencapsulated oil in cosmetic formulations.

Keywords: lemongrass essential oil; antioxidant activity; microencapsulated oil; microparticles, formulations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Avaliação da atividade antioxidante do óleo puro e microencapsulado nos tempos zero e após 60 dias de armazenamento em estufa a 40°C.....	21
Figura 2. Avaliação do pH das formulações armazenadas em temperatura ambiente e estufa, nos tempos zero, 30 e 60 dias.....	23
Figura 3. Avaliação da viscosidade das formulações armazenadas em temperatura ambiente e estufa, nos tempos zero e 60 dias.....	25
Figura 4. Registro das formulações no tempo zero.....	27
Figura 5. Registro das formulações no tempo 30 dias em temperatura ambiente.....	27
Figura 6. Registro das formulações no tempo 30 dias em estufa 40°C.....	28
Figura 7. Registro das formulações no tempo 60 dias em temperatura ambiente.....	29
Figura 8. Registro das formulações no tempo 60 dias em estufa 40°C.....	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Composição da formulação.....	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHA - Hidroxianisol Butilado

BHT - Hidroxitolueno Butilado

DPPH - 1,1-difenil-2-picrilhidrazil

FDA - Food and Drug Administration

GRAS - Geralmente reconhecido como seguro

OEs - Óleos Essenciais

SM - Solução mãe

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO.....	11
2.2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	15
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 OBJETIVOS.....	16
4.1 OBJETIVO GERAL.....	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
5.1 MATERIAIS.....	17
5.2 OBTENÇÃO DO OE MICROENCAPSULADO.....	17
5.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	18
5.4 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS ÓLEOS MICROENCAPSULADOS.....	19
5.5 APLICAÇÃO EM FORMULAÇÃO-BASE.....	19
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
6.1 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	21
6.2 AVALIAÇÃO DAS FORMULAÇÕES-BASE.....	23
6.2.1 Avaliação do pH das formulações.....	23
6.2.2 Avaliação da viscosidade das formulações.....	25
6.2.3 Avaliação das alterações macroscópicas.....	26
7 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

A busca por cosméticos que sejam naturais, orgânicos e/ou veganos está crescendo rapidamente e globalmente entre os consumidores. A promoção de hábitos saudáveis, além da conscientização e preservação do meio ambiente corroboram para esse fato. Diante disso, indústrias cosméticas e farmacêuticas passam a buscar soluções e alternativas que substituam os compostos de origem sintética por insumos de origem natural. Desta forma, percebe-se uma necessidade de troca dos antioxidantes sintéticos por antioxidantes naturais ou obtidos de fontes naturais, para aplicação em produtos cosméticos. Entretanto, é necessário que esta substituição seja apropriada e cuidadosa, e deve incluir a escolha adequada do tipo e da concentração do antioxidante, de modo que a formulação cosmética final se mantenha segura, eficaz e estável (GOYAL et al., 2022; ANDREOLLI, BARON, MACHADO, 2020).

A adição de antioxidantes a formulações de medicamentos e cosméticos é indispensável, já que evitam alterações das características do produto por conta da oxidação de componentes da formulação. Portanto, em função da sua atividade contra radicais livres, bem como por inibir as reações de oxidação de componentes lipídicos e para manter os produtos cosméticos estáveis e resistentes dentro do período de uso, é importante a inserção de antioxidantes nas formulações cosméticas. Os antioxidantes mais comumente utilizados são os de origem sintética, por questões econômicas e de produção. Dentre esses, destacam-se o hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) e o galato de propila (FURMAN et al., 2022).

O uso de insumos naturais, como os derivados de espécies vegetais, tais como os óleos essenciais, constituem uma alternativa potencial para substituir o uso dos antioxidantes sintéticos em formulações, já que são considerados GRAS (*generally recognized as safe*) pelo FDA (*Food and Drug Administration*), podendo ser utilizados com segurança. No Brasil, existe uma flora muito diversificada e caracterizada por uma grande representação de plantas medicinais, que são utilizadas por possuírem compostos bioativos. Tendo em foco os óleos essenciais, o gênero *Cymbopogon*, pertencente à família Poaceae, é interessante por possuir propriedades sedativas, antissépticas, anti-inflamatórias e analgésicas (MARTINS et al., 2021). Por conta da presença de alguns constituintes, como por exemplo o citral, geraniol, citronelol, citronelal e piperitona, também apresenta atividades antioxidante, antibacterianas, antifúngicas, e inseticidas. Além disso, é muito empregado na elaboração de fragrâncias, sabões, detergentes e perfumaria em função do seu aroma típico de limão e rosa. *Cymbopogon*

citratus (DC.) Stapf e *Cymbopogon flexuosus* Stapf incluem as principais espécies com atividades biológicas importantes (MARTINS et al., 2021). Esta planta popularmente conhecida como capim-limão, possui significativa importância econômica nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (MARTINS et al., 2021). Seu óleo essencial tem se mostrado eficaz contra bactérias Gram-positivas e negativas. No entanto, estudos que tenham como foco a aplicação de óleos essenciais como antioxidantes em formulações farmacêuticas e cosméticas até o presente momento são escassos e, então, constituem um campo inovador para pesquisas.

Além disso, existem alguns fatores que dificultam o emprego dos óleos essenciais nos cosméticos. Este fato se deve às características destes óleos, como a instabilidade e a alta volatilidade e sensibilidade ao oxigênio, à luz, umidade e à temperatura. Ademais, outras questões que implicam sua utilização são a dificuldade de incorporação nas formulações, principalmente nas de caráter hidrofílico, e a baixa solubilidade em água. Dessa forma, estes aspectos contribuem para a degradação de compostos dos OEs durante o seu manejo e acarretam em desafios para sua aplicação em diversos âmbitos industriais (SOUSA et al., 2022). Para contornar este problema, a microencapsulação vem sendo investigada como uma alternativa para estabilizar os óleos essenciais. Esta técnica de encapsulamento tem como objetivo manter as características funcionais destes compostos, controlar liberação de substâncias ativas e reduzir a reatividade, melhorando assim sua manipulação (SOUSA et al., 2022; SUTAPHANIT; CHITPRASERT, 2014).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO

O capim-limão (*Cymbopogon citratus* ou *Cymbopogon flexuosus*) é uma planta classificada como uma gramínea alta e perene plantada em quase todos os países tropicais e subtropicais. O óleo de capim-limão é um óleo volátil extraído das folhas frescas da planta e se tornou um dos óleos naturais mais importantes nas indústrias alimentícia, cosmética, e principalmente na indústria farmacêutica, devido às suas propriedades. Esse gênero abrange cerca de 140 espécies, das quais a maior parte possui aroma e produz um óleo essencial a partir de suas partes aéreas, por meio da técnica de destilação a vapor. Algumas espécies mais importantes desse gênero são o *Cymbopogon flexuosus* Stapf. (capim-limão do leste da Índia),

Cymbopogon nardus (L), *Cymbopogon winterianus* Jowitt (citronela), *Cymbopogon martinii* Roxb. (palmarosa) e o *Cymbopogon citratus* DC Stapf. (capim-limão da Índia Ocidental) (MOSQUERA et al., 2016; GANJEWALA, 2009).

Os componentes dos óleos essenciais são fortemente influenciados pela genética, condições ambientais e geográficas de suas plantas. As classes químicas de substâncias isoladas da planta são compostas por taninos, esteróides, terpenóides, fenóis, cetonas, flavonóides e açúcares (LAWAL et al., 2017). Já os compostos bioativos das espécies do gênero *Cymbopogon* são gerados a partir de vários constituintes de seus extratos brutos, como compostos flavonóides e taninos (MENDES HACKE et al., 2022). Contudo, a principal composição química dos óleos essenciais das espécies de *Cymbopogon* consiste principalmente em frações de monoterpeneo, majoritariamente do constituinte citral, sendo o mais abundante (80-84%) e o mais importante farmacologicamente e fisiologicamente (EKPENYONG; AKPAN; NYOH, 2015). Dentre as principais propriedades biológicas do OE de *Cymbopogon* estão as suas atividades antibacteriana, antifúngica e repelente de insetos. Além disso, também possui propriedades sedativas, antioxidantes e anti-inflamatórias (REZENDE et al., 2022; ALDAWSARI et al., 2015).

Alguns autores já demonstraram e avaliaram a atividade antioxidante do OE de capim-limão (MARTINS et al., 2021; ALENCAR et al., 2022; REZENDE et al., 2022). Martins e colaboradores, em 2021, relataram a capacidade de neutralização do radical DPPH, que foi elevada, evidenciando o potencial antioxidante da espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a maltodextrina e gelatina como materiais encapsulantes para microencapsulação do óleo essencial de capim-limão por liofilização. Determinou-se que o potencial antioxidante aumentou conforme o aumento da concentração do óleo essencial de capim-limão, além disso, observaram que o uso da maltodextrina como encapsulante do OE propiciou maiores valores de atividade antioxidante.

Em outro estudo, Alencar e colaboradores (2022), confirmaram que o OE foi eficaz contra as bactérias *E. coli* e *S. aureus* e apresentou também propriedades antioxidantes. Este trabalho foi realizado também com a espécie *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. Os autores consideraram que a alta atividade antioxidante está associada ao conteúdo fenólico total do OE. Neste trabalho, utilizou-se o método DPPH para avaliar a atividade antioxidante. Os resultados mostraram que microcápsulas do óleo essencial de *C. citratus* apresentaram maior estabilidade e baixa degradação de componentes ativos ao utilizar maltodextrina e gelatina

para a produção de microcápsulas, podendo ser explorada como potencial conservante de alimentos.

Rezende e colaboradores (2022), apresentaram que o OE de *Cymbopogon flexuosus* também foi eficaz contra as bactérias *E. coli* e *S. aureus*, além de possuir propriedades antioxidantes. O estudo trata de alternativas naturais no controle seletivo de espécies bacterianas patogênicas resistentes a antibióticos e o estresse oxidativo em processos infecciosos. Como resultado, foi visto que o uso de óleos essenciais é bastante promissor para o desenvolvimento de novos fármacos antimicrobianos. Além disso, possui uma moderada atividade antioxidante, apresentando um potente controle de estresse oxidativo *in vivo*, por conta dos altos níveis de terpenos e terpenóides, que são antioxidantes indiretos.

Estudos utilizando óleos essenciais em formulações cosméticas ainda são escassos e compõem uma área de pesquisa vasta e inovadora. O trabalho de Tran e colaboradores (2021), é um dos poucos que demonstrou o uso do OE de *Cymbopogon citratus* em produtos cosméticos. Neste trabalho, foi formulado um xampu e um produto de lavagem corporal (sabonete líquido) com óleos essenciais de *Cymbopogon citratus* incorporados em suas formulações e os parâmetros de estabilidade de cor e mudança na composição do OE foram avaliados. Os resultados apresentados indicaram que a incorporação do OE nos produtos cosméticos demonstraram uma melhor estabilidade de cor e retenção de citral em comparação com a formulação de emulsão sem os óleos essenciais. Ademais, as formulações contendo os OE não apresentaram instabilidade, já que não foi detectado alteração da composição do citral (componente químico principal do OE de *C. citratus*) nos produtos formulados.

Em relação às atividades biológicas, diversos estudos já demonstraram a capacidade antimicrobiana e antifúngica do óleo, além de apresentar importantes propriedades antioxidantes e repelentes. Essas características possibilitam a incorporação desses OE em formulações de produtos farmacêuticos ou cosméticos (MOSQUERA et al., 2016). Uma dificuldade existente e que poderia impossibilitar a incorporação é a alta volatilidade dos óleos essenciais e sua sensibilidade ao oxigênio, luz, umidade e temperatura, fatores que contribuem para a degradação dos compostos ativos durante o processo de formulação e afetam a produção de produtos com OE incorporados. Esta incapacidade pode ser contornada pelo processo de encapsulamento do OE, técnica que permite o manejo do OE, permite a liberação controlada dos compostos ativos e reduz a reatividade do OE na formulação final (MARTINS et al., 2021).

Considerando os pontos citados acima, alguns autores já relataram a utilização do processo de microencapsulação com este óleo essencial (BRINGAS-LANTIGUA; VALDÉS; PINO, 2012; DE OLIVEIRA ALENCAR et al., 2022; MARTINS et al., 2021; THUONG NHAN et al., 2020).

Alencar e colaboradores (2022) apresentaram a encapsulação do OE de *C. citratus* utilizando maltodextrina e gelatina como materiais de parede. Neste trabalho, diversos fatores que influenciam o processo de spray drying foram avaliados, como temperatura, concentração de óleo e de maltodextrina sobre a estabilidade físico-química, atividade antioxidante e atividade antimicrobiana das micropartículas. Nesse escopo, o processo de microencapsulação promoveu uma melhora da estabilidade do óleo. Contudo, foi relatado uma atividade antioxidante reduzida após a microencapsulação. Relacionou-se a utilização de altas temperaturas sobre os compostos que determinam a atividade antioxidante. Outros resultados equivalentes ao exposto também foram relatados por outros autores. Dessa forma, existe uma tendência de redução da atividade antioxidante por conta do aumento da temperatura no processo de secagem, sendo este um fator crítico a ser controlado durante o preparo das micropartículas (BRINGAS-LANTIGUA; VALDÉS; PINO, 2012).

Já em outro estudo (MARTINS et al., 2021) foi utilizada a técnica de liofilização para encapsular o OE de *C. citratus*, utilizando a maltodextrina e gelatina como materiais de parede. Este trabalho confirmou a viabilidade da preparação de micropartículas contendo este óleo essencial. Outrossim, relataram que a microencapsulação melhorou a estabilidade térmica e oxidativa do óleo. Com isso, percebeu-se uma proteção contra a volatilização e condições ambientais.

No trabalho de Thoung e colaboradores (2019) o OE de *C. citratus* foi encapsulado também pela técnica de spray drying, assim como Alencar (2022). Foi utilizado maltodextrina e goma arábica como materiais de parede. As micropartículas foram avaliadas quanto à determinação do teor de umidade, eficiência de encapsulação (EE), cromatografia gasosa, espectrometria de massa e morfologia. Observou-se que os óleos essenciais encapsulados mantiveram a maioria de seus principais constituintes em comparação com os óleos essenciais puros.

2.2 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Existem diferentes métodos para avaliar a atividade antioxidante de compostos, como TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) ou ABTS•+ (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico), ORAC (Oxygen radical absorbance capacity), FRAP (Ferric-Reducing Ability of Plasma), TRAP (Total Radical - Trapping Antioxidant Parameter), CUPRAC (Cupric ions Cu²⁺ reducing antioxidant power) e o método DPPH, o qual irá ser utilizado neste trabalho (OLIVEIRA, 2015). Esta é uma das técnicas utilizadas para detectar a presença de compostos antioxidantes, baseado na eliminação do radical livre estável 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH•). Este método possui vantagens como o fato de ser considerado fácil, preciso, rápido, simples, e econômico, além de que o radical DPPH• não precisa ser gerado e o sistema de reação envolve somente o radical e o antioxidante. Ademais, podemos destacar outros benefícios de utilizar este método. Já que molécula de DPPH• caracteriza-se como um radical orgânico livre estável, possui uma boa estabilidade na ausência da luz, aplicabilidade, simplicidade e viabilidade (OLIVEIRA, 2015). O mecanismo do método é simples e ocorre apenas pela transferência de elétron e que a transferência de hidrogênio é uma via de reação marginal (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Nos trabalhos de Alencar et al. (2022) e Martins et al. (2021) mencionados anteriormente, o método do DPPH foi utilizado para determinar a capacidade antioxidante dos óleos essenciais de capim-limão.

3 JUSTIFICATIVA

A busca pela utilização de insumos naturais nas formulações cosméticas é uma tendência atual que vem crescendo, e se torna cada vez mais relevante para as indústrias, permitindo a substituição de antioxidantes sintéticos por aqueles de origem natural, como os óleos essenciais citados (BUBONJA-SONJE; GIACOMETTI; ABRAM, 2011).

Neste cenário, revela-se a importância do óleo essencial de capim-limão, devido à sua ação antioxidante. Entretanto, a instabilidade e a alta reatividade dos OEs dificultam sua aplicação em produtos cosméticos. Contudo, conforme citado anteriormente, este problema pode ser minimizado pelo emprego da técnica de microencapsulação. Por isso, este trabalho tem como finalidade avaliar a ação antioxidante do OE de capim-limão microencapsulado, em formulações. Destaca-se que não foi encontrado, na literatura, nenhum trabalho que avaliasse

a performance do OE de capim-limão microencapsulado como possível antioxidante em formulações, demonstrando a importância deste trabalho.

Portanto, considerando os fatos mencionados, justifica-se a proposta deste presente projeto.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a atividade antioxidante de micropartículas contendo OE de *C. flexuosus* e a sua performance como antioxidante em uma formulação-base com futura aplicação em produtos cosméticos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a atividade antioxidante do óleo essencial de capim-limão antes e após a microencapsulação, através do método de DPPH
- Avaliar a atividade antioxidante do óleo microencapsulado durante o período de 60 dias, em estufa a 40 °C, comparando os resultados com o óleo não encapsulado
- Preparar uma formulação-base contendo as micropartículas do óleo essencial de capim-limão como possível agente antioxidante
- Avaliar a estabilidade física da formulação-base contendo o óleo de capim-limão microencapsulado através dos ensaios de determinação do pH, viscosidade e avaliação das características organolépticas logo após o preparo e durante o período de 60 dias, em diferentes temperaturas
- Comparar os resultados com formulação-base sem adição de antioxidante e com adição do OE não encapsulado.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

O óleo essencial utilizado foi o Óleo Essencial de Lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*), lote 22/078, do fabricante Harmonie Aromaterapia Eirelli. Este óleo foi analisado pela Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos - EQA do Centro Tecnológico - CTC da UFSC, utilizando-se a técnica de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS) e determinou-se os seus principais componentes como Geranial (42,75%) e Neral (32,76%). Os dois compostos são isômeros duplos do Citral, componente majoritário encontrado no óleo essencial de capim-limão, segundo diversos trabalhos, e principal responsável pela atividade antioxidante (MUKARRAM *et al.*, 2021). Foi utilizado DPPH do fornecedor Fluka e metanol do fornecedor Biotec.

5.2 OBTENÇÃO DO OE MICROENCAPSULADO

A microencapsulação do OE de capim-limão foi realizada em outro trabalho, que está sendo desenvolvido como parte do projeto de pesquisa intitulado “Estratégias tecnológicas para estabilização de óleos essenciais com potencial aplicação em formulações cosméticas”. Portanto, as micropartículas utilizadas no presente trabalho foram disponibilizadas já prontas para avaliação. As micropartículas foram preparadas empregando o polímero goma arábica como material encapsulante e a técnica de *spray drying*, nas seguintes condições: temperatura de 140 °C, vazão de 15% e aspiração de 100% . Este polímero já vem sendo utilizado em técnicas de microencapsulação e tem demonstrado bons resultados. Para o preparo das micropartículas utilizadas neste trabalho foi empregada a concentração de 12,5% m/m de óleo em relação ao polímero, levando em consideração os dados disponíveis na literatura, que indica o uso de 5 a 15% de óleo para obtenção de maiores valores de eficiência de encapsulação (ALENCAR *et al.*, 2022; MARTINS *et al.*, 2021). A eficiência de encapsulação do OE de capim-limão na amostra utilizada neste estudo foi de 51,3% (determinação realizada em outro trabalho).

5.3 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A avaliação da atividade antioxidante pelo método DPPH foi realizada conforme descrito por Kavooosi e colaboradores (2018), com algumas adaptações. Este ensaio foi realizado para o óleo puro de capim-limão e para o óleo microencapsulado.

O reagente DPPH foi preparado na concentração de 0,2 mM, empregando metanol como solvente. O balão volumétrico contendo o reagente foi protegido com papel alumínio devido a fácil degradação do reagente quando exposto à luz.

Inicialmente, uma Solução Mãe (SM) foi preparada pesando 500 miligramas do óleo essencial e adicionando 5 mL de metanol. Diluições seriadas foram então preparadas em metanol, a partir da SM, nas seguintes concentrações: 3.500 ug/mL, 2.000 ug/mL, 1.000 ug/mL e 500 ug/mL. Em seguida, uma alíquota de 2 mL foi transferida para tubos de ensaio e adicionado 2 mL do reagente (DPPH 0,2 mM). Após 30 min foi determinada a absorbância em 520 nm, em um espectrofotômetro Varian (Cary UV 50). Este ensaio foi realizado em triplicata. Foi preparado, também, um branco, contendo 2 mL de metanol e 2 mL do reagente DPPH.

O mesmo procedimento foi realizado com as micropartículas. Uma SM foi preparada a partir do óleo microencapsulado em água (1/1 v/v) na concentração equivalente a 5000 ug/mL de OE (foi considerada a proporção de óleo/polímero e também o valor de eficiência de encapsulação). A partir da SM, foram obtidas diluições nas mesmas concentrações descritas para o óleo puro, em água. Em seguida, uma alíquota de 1,5 mL foi transferida para tubos de ensaio e adicionado 1,5 mL do reagente (DPPH 0,2 mM). Como as diluições apresentaram certa turbidez, pela presença do polímero, foram preparados tubos com 1,5 mL de cada solução (diluição) + 1,5 mL de metanol. As absorbâncias, determinadas em 520 nm, foram descontadas dos tubos contendo o reagente DPPH, para minimizar a possível interferência da turbidez. Após 30 min foi determinada a absorbância em 520 nm. Este ensaio foi realizado em duplicata.

A porcentagem de atividade antioxidante (AA%) foi calculada através da equação 1.

$$AA\% = [(Abs\ branco - Abs\ amostra) / Abs\ branco] \times 100 \quad (1)$$

onde, AA é a porcentagem de Atividade Antioxidante e Abs o valor da absorbância.

5.4 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS ÓLEOS MICROENCAPSULADOS

Os óleos microencapsulados foram armazenados em placas de Petri transparentes, em estufa a 40 °C, durante o período de 60 dias. Após este período foi avaliada novamente a

atividade antioxidante, conforme descrito no item 5.2. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos para o óleo não encapsulado, armazenado nas mesmas condições.

5.5 APLICAÇÃO EM FORMULAÇÃO-BASE

Inicialmente foi preparada uma formulação-base semissólida (emulsão do tipo óleo em água), sem a adição de componentes com ação antioxidante. Foram preparados 120 gramas da formulação base, cuja composição está descrita no Quadro 1.

Quadro 1. Composição da formulação

Reagente	Quantidade (%)	Fornecedor	Lote
Fase aquosa (A)			
Água ultrapurificada	56		
Glicerina vegetal	6	Embacaps Química e Farmacêutica.	CS07820-36129
Sulfato de Magnésio	1	Razzini & Partners LTDA, Innova cos.	6590.7639
Fase oleosa (B1)			
PolyAquil OS2	6	Razzini & Partners LTDA, Innova cos	61977D002
Óleo de açaí	2	Santo Óleo	-
Triglicerídeo de Ácido Cáprico	13	Focus Química	19109001
Estearato de Magnésio	2	Razzini & Partners LTDA, Innova cos	669
Fase oleosa (B2)			

Neossance Squalane	14	Skin Lab. Ind. Com. Cosméticos LTDA	18LNC0624SQ457
--------------------	----	--	----------------

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram pesados todos os reagentes, e a fase B1 foi aquecida até 75°C para solubilizar o composto estearato de magnésio. Após resfriar até 50°C, adicionou-se a fase B2 na fase B1 sob agitação suave com bastão de vidro. A fase A foi aquecida até 50°C e, então, foi misturada à fase B, sob agitação em um agitador Ultra Turrax (modelo IKA T25 Digital) a 11.000 rpm por 5 minutos.

Para a incorporação do óleo puro e do óleo microencapsulado na formulação-base foi utilizado um agitador em hélice. A proporção do OE na formulação foi mantida como 1% m/m de óleo em relação à base. Neste caso, uma quantidade de micropartículas equivalente a 1% de óleo foi pesada (considerando a proporção OE/polímero e a eficiência de encapsulação).

A formulação foi dividida igualmente entre seis frascos de cor âmbar contendo 20 gramas cada um:

1. Frasco de controle negativo sem adição de óleos ou antioxidantes, contendo apenas a formulação para análise em temperatura ambiente
2. Frasco de controle negativo sem adição de óleos ou antioxidantes, contendo apenas a formulação para análise em estufa à temperatura de 40 °C
3. Frasco de formulação adicionada de óleo puro, para análise em temperatura ambiente
4. Frasco de formulação adicionada de óleo puro, para análise em estufa à temperatura de 40 °C
5. Frasco de formulação adicionada do óleo microencapsulado, para análise em temperatura ambiente
6. Frasco de formulação adicionada do óleo microencapsulado, para análise em estufa à temperatura de 40 °C

Logo após o preparo e durante 60 dias, as formulações foram avaliadas com relação ao pH e alterações macroscópicas, como cor e quebra de emulsão. A viscosidade foi avaliada nos intervalos de tempo zero e 60 dias, empregando um viscosímetro LVDV-II + Pro da *Brookfield Engineering Laboratories* (Massachusetts, EUA) acoplado a um banho

termostatizado TE-2005 Tecnal (São Paulo, Brasil), utilizando o spindle LV5, a 5 rpm. O pH foi avaliado em um pHmetro modelo SP1800 da Sensoglass (São Paulo, Brasil).

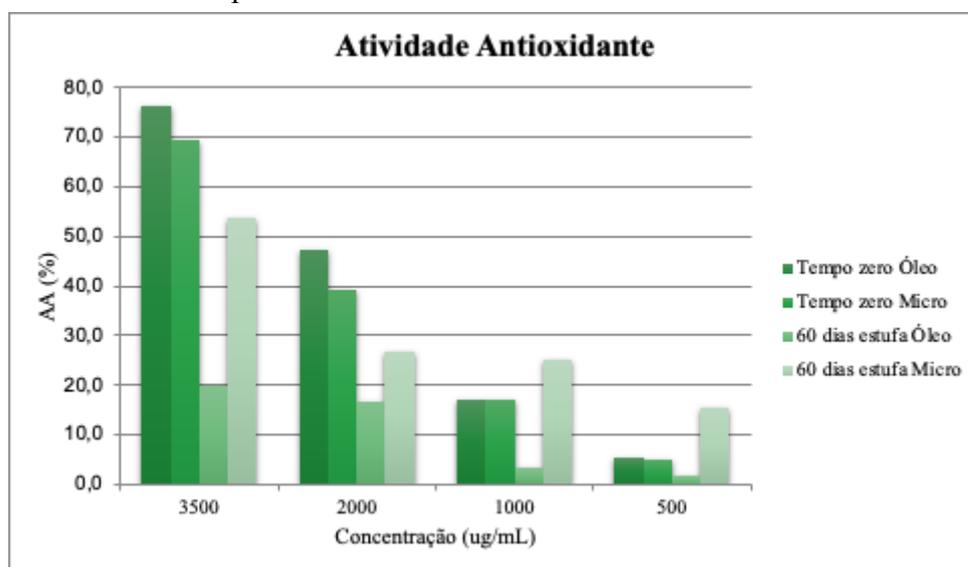
Foi avaliada, também, a estabilidade frente à centrifugação. As amostras foram acondicionadas em eppendorfs e submetidas à centrifugação (10.000 rpm) durante 15 minutos. Avaliou-se a ocorrência de separação de fases, o que demonstraria uma instabilidade física das formulações.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados da atividade antioxidante do óleo puro e do óleo microencapsulado nos tempos zero e após 60 dias em estufa estão apresentados na Figura 1.

Figura 1: Avaliação da atividade antioxidante do óleo puro e microencapsulado nos tempos zero e após 60 dias de armazenamento em estufa a 40°C.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de atividade antioxidante, expresso em AA%, é dependente da concentração da substância que possui ação antioxidante, ou seja, quanto maior a concentração, maior a AA%. Conforme esperado, os maiores valores de AA% foram obtidos para a maior concentração testada (3.500 ug/mL). Comparando-se os resultados do óleo puro e do óleo microencapsulado no tempo zero, não foram observadas diferenças estatisticamente

significativas ($p > 0,05$) para todas as concentrações testadas, evidenciando que o processo de microencapsulação não interferiu na atividade antioxidante do OE.

O autor Alencar et al. (2022) também avaliou a atividade antioxidante do OE de capim-limão, antes e após o processo de *spray drying*. O resultado encontrado foi de uma diminuição da atividade antioxidante em relação à atividade antioxidante do óleo puro. O autor justifica a diminuição da atividade antioxidante pelo emprego da alta temperatura (148 °C) utilizada no processo de *spray drying* e relata que, por este motivo, poderia ter ocorrido a degradação de compostos presentes no óleo, responsáveis pela propriedade antioxidante. Para o preparo das micropartículas utilizadas em nosso estudo, foi empregada uma temperatura menor no processo de *spray drying*, o que pode ter contribuído para a manutenção dos principais componentes do OE justificando, assim, a manutenção da atividade antioxidante.

As duas amostras, tanto de óleo puro quanto de óleo microencapsulado, nas quatro concentrações avaliadas, tiveram uma queda na porcentagem de atividade antioxidante após 60 dias na estufa, porém o óleo não microencapsulado obteve uma queda maior nos valores de AA% em relação ao tempo zero. Estes resultados evidenciam que a microencapsulação realmente promoveu um efeito protetor e tornou o óleo mais estável, embora também tenha ocorrido uma pequena diminuição dos valores de AA%.

Uma maior atividade antioxidante presente no óleo microencapsulado com 60 dias de armazenamento na estufa a 40°C, como apresentado no Gráfico 1, também foi encontrado em outro estudo. Martins et al. (2021) discute que a microencapsulação melhorou a estabilidade térmica e oxidativa do óleo, fornecendo proteção contra volatilização e condições ambientais. Além disso, este estudo apresenta, segundo o outro autor Guimarães et al., 2008, que a maioria dos compostos presentes no óleo essencial de capim-limão, como o citral, sofre degradação com o tempo, tanto na presença quanto na ausência de luz, o que é significativo para a ocorrência do efeito antioxidante. Isso explica, portanto, que após um longo período (60 dias) o efeito antioxidante tende a diminuir, por conta da degradação do composto citral.

Outros estudos evidenciam que, apesar das micropartículas apresentarem menor atividade antioxidante do que o óleo puro, ainda foram capazes de manter a bioatividade dos compostos, confirmando que a microencapsulação é uma tecnologia que pode manter os compostos estáveis durante o armazenamento, e também, manter sua propriedade antioxidante (ALENCAR et al., 2022; MELO et al., 2022).

Além disso, Melo e colaboradores (2022) destacaram que com a utilização de goma arábica como material de parede foi obtida uma melhor ação na preservação de compostos

bioativos do OE de capim-limão, o que possivelmente ocorreu por conta da afinidade da goma arábica pelos compostos bioativos presentes no óleo essencial, levando a um efeito termoprotetor durante a exposição a temperaturas mais elevadas. Isto foi observado também em nosso estudo, quando o óleo microencapsulado armazenado na estufa foi comparado ao óleo puro, indicando um menor comprometimento da AA quando microencapsulado com a goma arábica.

6.2 AVALIAÇÃO DAS FORMULAÇÕES-BASE

Com o objetivo de avaliar a performance das micropartículas contendo OE de capim-limão como possível antioxidante em formulações cosméticas, foi preparada uma base (emulsão O/A) sem a adição de antioxidantes e, posteriormente, incorporado o OE não encapsulado e as micropartículas. Para acelerar uma possível oxidação dos componentes lipídicos da formulação-base, as amostras foram armazenadas em estufa, durante 60 dias.

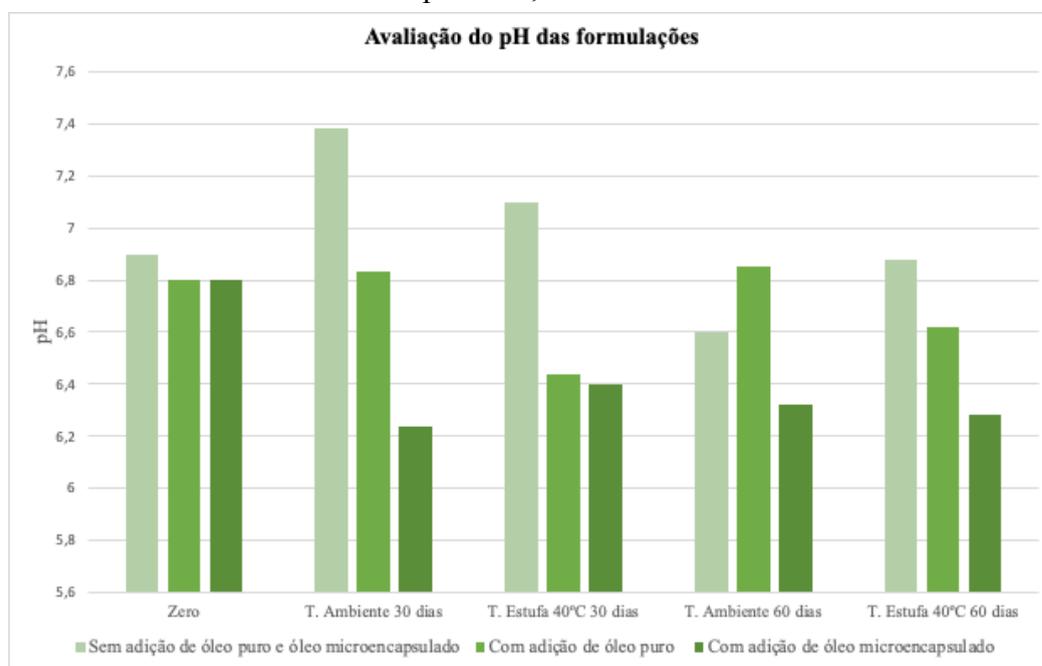
6.2.1 Avaliação do pH das formulações

A avaliação do pH das formulações armazenadas em temperatura ambiente e na estufa a 40°C estão apresentadas na Figura 2. O pH inicial ficou na ordem de 6,8 a 6,9 para todas as amostras.

A oxidação de componentes lipídicos pode levar a uma diminuição do pH, uma vez que um dos produtos gerados são os hidroxiácidos, produtos secundários da oxidação (SILVA, BORGES, FERREIRA, 1999).

Pequenas alterações no pH foram observadas com a variação de temperatura (ambiente e estufa) e também em relação às amostras: sem adição de óleo puro ou óleo microencapsulado, com adição de óleo puro, e com adição de óleo microencapsulado (Figura 2).

Figura 2. Avaliação do pH das formulações armazenadas em temperatura ambiente e estufa, nos tempos zero, 30 e 60 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A formulação-base, após 30 dias, teve seu pH levemente aumentado tanto à temperatura ambiente quanto em estufa a 40°C em relação ao tempo zero. Porém, após 60 dias, os valores ficaram novamente próximos ao do tempo zero.

A formulação com adição de OE puro teve seu pH diminuído na temperatura de 40°C em relação à temperatura ambiente, dentro do período de 30 dias. Já após completar os 60 dias o pH ficou próximo do valor encontrado no tempo zero.

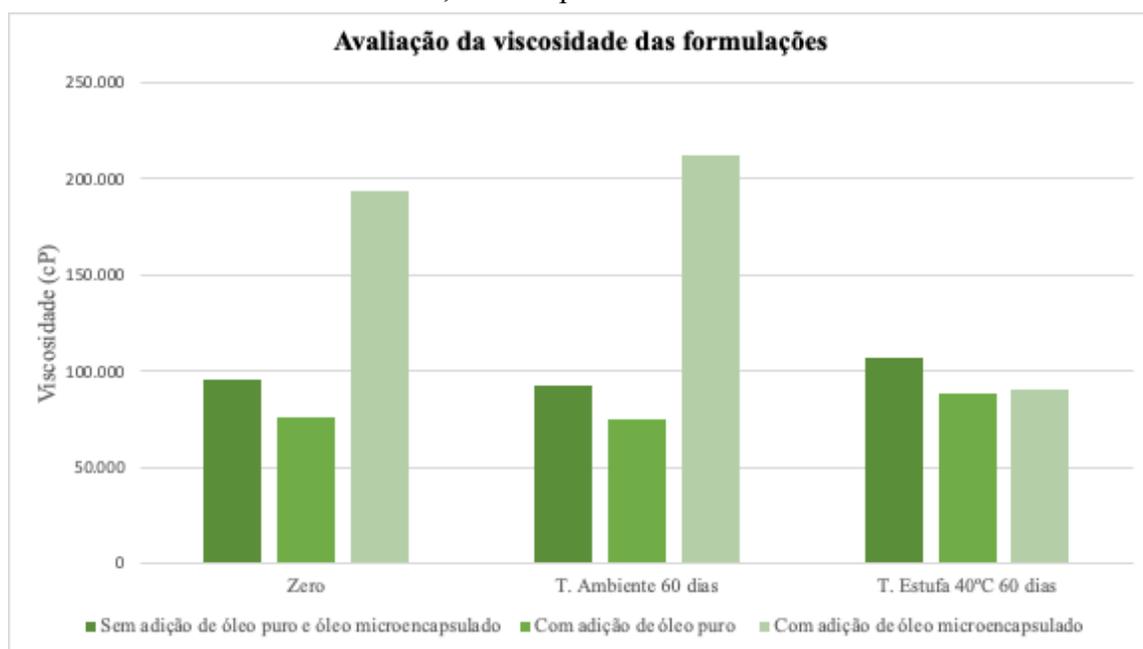
A formulação com adição do óleo microencapsulado teve seu pH diminuído em relação ao tempo zero após 30 dias à temperatura ambiente. Todavia, o pH da formulação mantida em estufa a 40°C foi maior do que o da formulação mantida à temperatura ambiente. Os valores desta formulação após 60 dias se mantiveram próximos aos de 30 dias.

No cenário geral, os resultados apresentados na Figura 2 apresentaram algumas alterações nos valores de pH, contudo variações pequenas que não sugerem a ocorrência de oxidação ou outras alterações nas amostras. Como este foi um estudo pioneiro e preliminar, não foi possível preparar as amostras em triplicata, o que seria o ideal, para possibilitar a aplicação de uma análise estatística na análise dos resultados. Portanto, foi realizada uma discussão de forma geral.

6.2.2 Avaliação da viscosidade das formulações

Os resultados de viscosidade das formulações estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Avaliação da viscosidade das formulações armazenadas em temperatura ambiente e estufa, nos tempos zero e 60 dias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores iniciais encontrados no tempo zero indicam que a adição do óleo puro levou a uma pequena diminuição da viscosidade da formulação e, por outro lado, um aumento expressivo com adição do óleo microencapsulado. Este aumento da viscosidade ocorreu por conta da quantidade de micropartículas que foi necessário adicionar à formulação-base para que tivesse o equivalente a 1% de OE. Levando-se em consideração a proporção de goma arábica e de OE empregada no preparo das micropartículas e os valores de eficiência de encapsulação, tem-se uma proporção de aproximadamente 93/7 (goma arábica/OE). Desta forma, foi adicionada à base uma quantidade expressiva de goma arábica, que pode ter sido a principal responsável pelo aumento da viscosidade da formulação.

Em relação ao armazenamento à temperatura ambiente foram observadas mínimas variações, a viscosidade se manteve praticamente a mesma para todas as amostras, comparando o tempo zero e após 60 dias em temperatura ambiente.

A base e a formulação adicionada do OE, armazenadas em estufa a 40°C, também apresentaram mínima variação da sua viscosidade, em comparação ao tempo zero. Entretanto, a viscosidade da formulação adicionada de micropartículas teve uma diminuição expressiva em comparação ao tempo zero. Isso pode ser explicado pelo fato de que temperaturas elevadas tornam o processo de instabilidade da formulação mais acelerado e podem acelerar a ocorrência de interações. Como a quantidade de óleo nas duas formulações era a mesma, supõe-se que esta alteração da viscosidade pode ter ocorrido em função da presença da goma arábica, que pode ter interagido com algum componente da formulação e causado a diminuição da viscosidade. No entanto, esta possibilidade de interação deve ser melhor investigada.

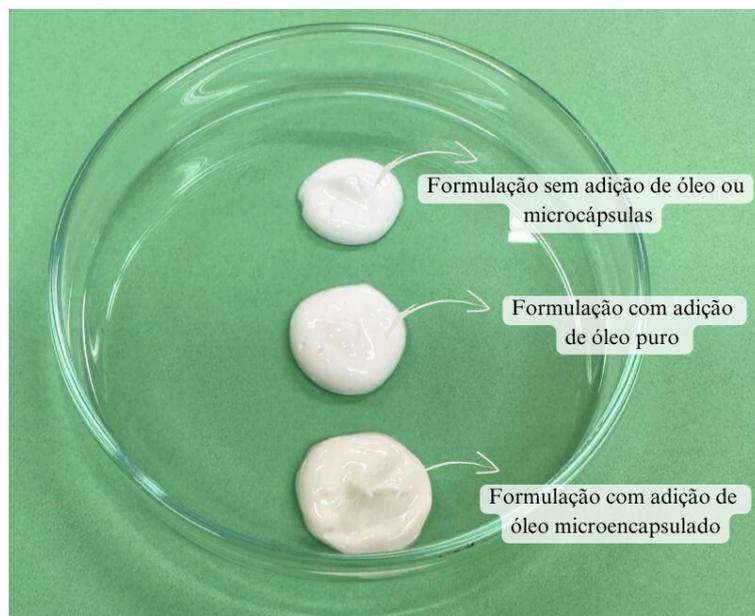
6.2.3 Avaliação das alterações macroscópicas

A ocorrência de alterações oxidativas pode levar ao aparecimento de alterações no produto, especialmente com relação ao odor e à coloração (SILVA, BORGES, FERREIRA, 1999).

A avaliação de alterações macroscópicas, como a coloração das formulações, foi analisada nos tempo zero, 30 e 60 dias. Já no tempo zero é possível perceber, conforme visualizado na Figura 4, uma coloração branca na formulação-base, e na formulação com adição de óleo puro, uma coloração levemente mais amarelada, provavelmente por conta da coloração amarela do óleo, e por fim, uma coloração moderadamente amarelada na formulação com o óleo microencapsulado. Provavelmente esta coloração deve-se à goma arábica empregada como encapsulante e também pela quantidade considerável de micropartículas que tiveram que ser adicionadas à formulação, para que a proporção de 1% de OE fosse mantida, conforme já mencionado anteriormente. Essas colorações se mantiveram também no período de 30 dias à temperatura ambiente (Figura 5) e em estufa, a 40°C (Figura 6).

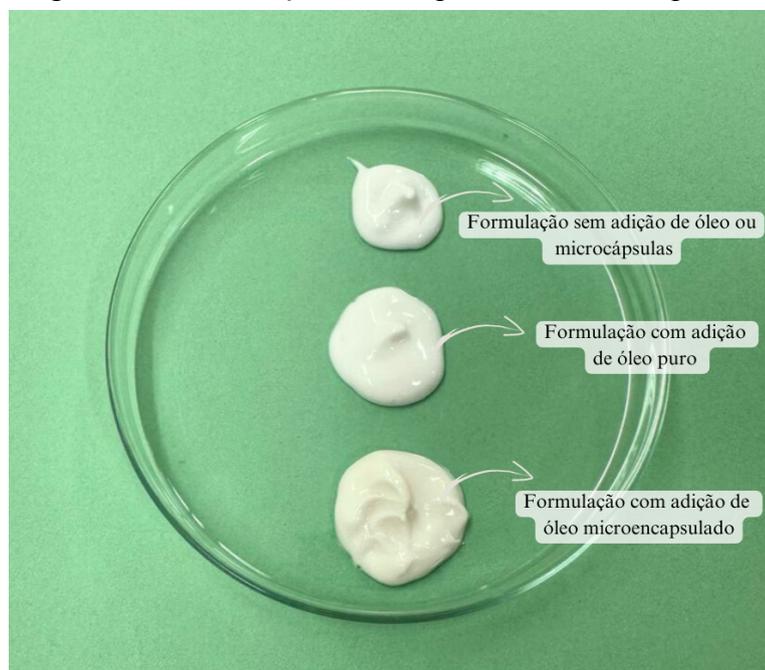
Pouca mudança de coloração foi observada, visto que as cores das formulações se mantiveram mesmo após os 30 dias. As formulações sem adição de OE e a formulação com adição de óleo continuaram com a coloração branca e a formulação com adição de micropartículas permaneceu levemente amarelada.

Figura 4. Registro das formulações no tempo zero



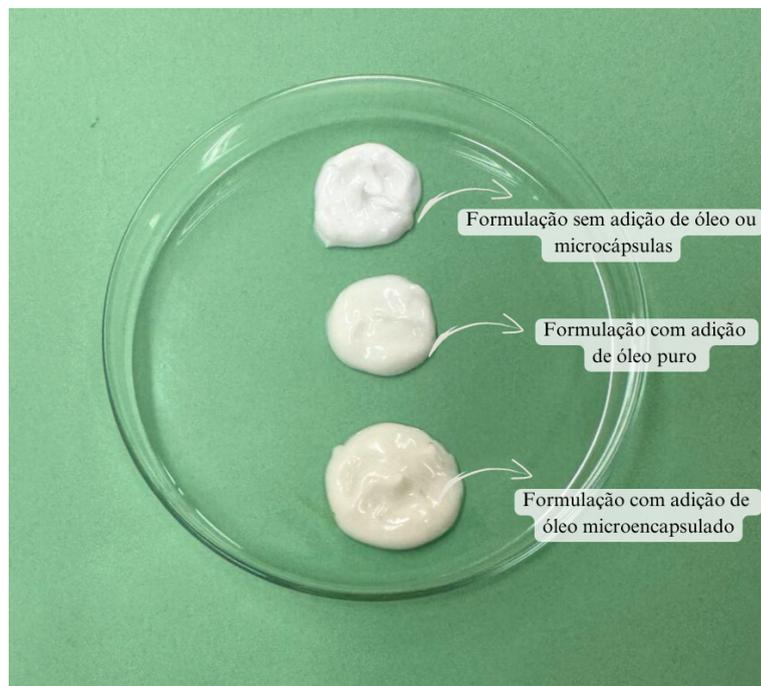
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5. Registro das formulações no tempo 30 dias em temperatura ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

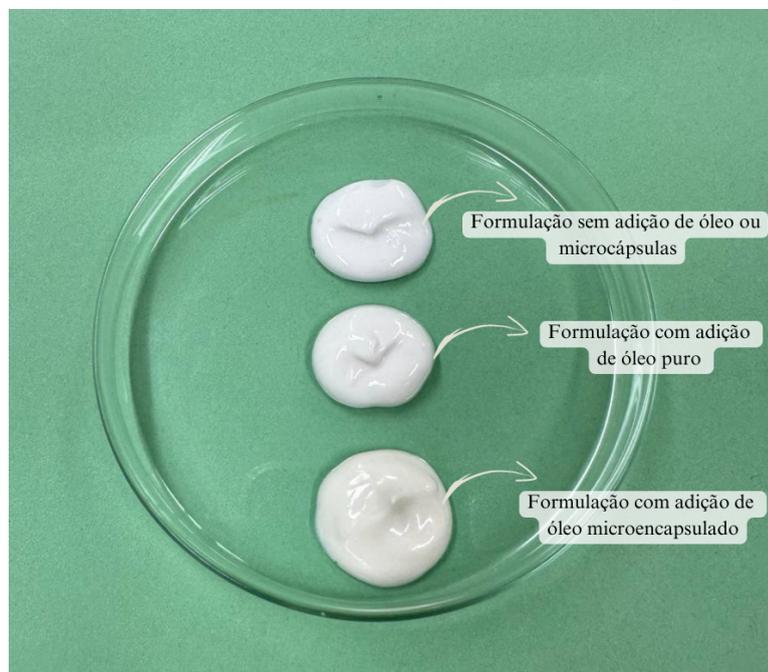
Figura 6. Registro das formulações no tempo 30 dias em estufa 40°C



Fonte: Elaborado pelo autor.

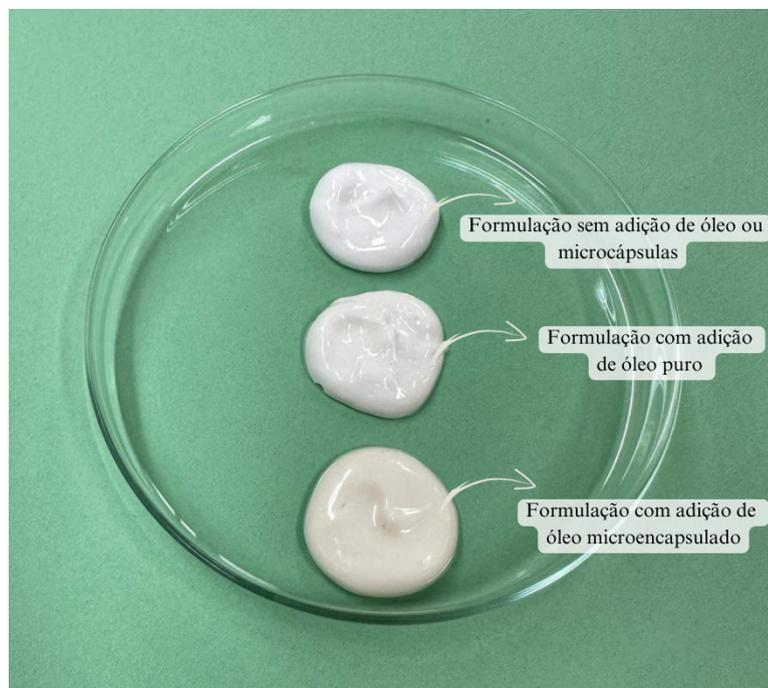
As figuras 7 e 8, apresentam, respectivamente, as formulações armazenadas em temperatura ambiente e em estufa, durante 60 dias. Nessas figuras, percebe-se que também não houve alteração de cor, diferentemente do que foi observado em outro estudo. Tran e colaboradores evidenciaram que a cor da formulação contendo OE de capim limão ficou mais escura à medida que o tempo de armazenamento se prolongou. Além disso, o armazenamento em temperatura elevada pareceu causar escurecimento mais pronunciado nas amostras. Em geral, a exposição ao calor e à luz e a preservação prolongada podem levar à degradação do conteúdo de citral e interferir na coloração.

Figura 7. Registro das formulações no tempo 60 dias em temperatura ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8. Registro das formulações no tempo 60 dias em estufa 40°C



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao teste de centrifugação, não foi visualizada separação de fases, não demonstrando qualquer instabilidade física das formulações, mesmo após o armazenamento em estufa durante 60 dias.

Portanto, não foram observadas alterações quanto ao aspecto e coloração das formulações, mesmo quando armazenadas em estufa durante 60 dias. Nem mesmo a formulação-base, sem adição de nenhum antioxidante, mostrou alterações, sugerindo que estas condições não foram suficientes para iniciar o processo de oxidação, sendo necessário prolongar o tempo de estudo ou utilizar temperaturas mais elevadas.

7 CONCLUSÃO

A atividade antioxidante das micropartículas de goma arábica contendo OE de *Cymbopogon flexuosus* não mostrou diferenças quando comparada com o óleo puro, sugerindo que o processo de spray drying não levou à degradação dos principais componentes do OE responsáveis pela atividade antioxidante. As micropartículas mostraram-se mais estáveis e mantiveram a atividade oxidante quando armazenadas por um longo período, demonstrando que a microencapsulação realmente promoveu um efeito protetor.

Com relação à performance do OE microencapsulado como antioxidante em uma formulação-base, não foi possível observar indícios da ocorrência de oxidação de componentes lipídicos, nem mesmo na base sem adição de antioxidantes e de óleo, armazenada em estufa durante 60 dias. Desta forma, sugere-se a continuação do estudo por um período de tempo mais prolongado ou o emprego de condições mais drásticas que promovam a oxidação, como temperaturas mais elevadas.

De qualquer forma, este foi um trabalho pioneiro e os resultados obtidos foram muito importantes para direcionar a continuidade dos estudos, especialmente pela escassez de estudos descritos na literatura aplicando OEs microencapsulados em formulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AC Andreolli, AP Baron, KE Machado. Cosméticos Naturais: tendências de consumo, *Cosm & Toil (Brasil)* 32(5):12-17, 2020.
- ALDAWSARI, Hibah M *et al.* Design and formulation of a topical hydrogel integrating lemongrass-loaded nanosponges with an enhanced antifungal effect: in vitro/in vivo evaluation. **International Journal Of Nanomedicine**, p. 893, jan. 2015.
- ALENCAR, Denise Dantas de Oliveira *et al.* Microencapsulation of *Cymbopogon citratus* D.C. Stapf Essential Oil with Spray Drying: development, characterization, and antioxidant and antibacterial activities. **Foods**, v. 11, n. 8, p. 1111, 13 abr. 2022.
- BRINGAS-LANTIGUA, Madai; VALDÉS, David; PINO, Jorge A.. Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. **International Journal Of Food Science & Technology**, v. 47, n. 7, p. 1511-1517, 23 abr. 2012.
- BUBONJA-SONJE, Marina; GIACOMETTI, Jasminka; ABRAM, Maja. Antioxidant and antilisterial activity of olive oil, cocoa and rosemary extract polyphenols. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1821-1827, ago. 2011.
- EKPENYONG, Christopher e; AKPAN, Ernest; NYOH, Azah. Ethnopharmacology, phytochemistry, and biological activities of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf extracts. **Chinese Journal Of Natural Medicines**, v. 13, n. 5, p. 321-337, maio 2015.
- FURMAN, Ana Carolina *et al.* Sustentabilidade no processo produtivo da indústria cosmética: uma revisão da literatura. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 13, p. 1-23, 16 out. 2022.
- GANJEWALA, D. *et al.* *Cymbopogon* essential oils: Chemical compositions and bioactivities. **International journal of essential oil therapeutics**, v. 3, n. 2-3, p. 56-65, 2009.
- GOYAL, Anju *et al.* Bioactive-Based Cosmeceuticals: an update on emerging trends. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 828, 27 jan. 2022.
- GUIMARÃES, Luiz Gustavo de L. *et al.* Influência da Luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo essencial de Capim-Limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF). **Quim. Nova**, v. 31, n. 6, p. 1476-1480, ago. 2008.
- HUANG, Dejian; OU, Boxin; PRIOR, Ronald L.. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841-1856, 25 fev. 2005.
- KAVOOSI, Fraidoon *et al.* Medical and dental applications of nanomedicines. **Apmis**, v. 126, n. 10, p. 795-803, 27 set. 2018.

LAWAL, O. A. *et al.* Cymbopogon citratus. In: **Medicinal Spices and Vegetables from Africa**. Academic Press, 2017. p. 397-423.

MARTINS, Wanderson da Silva *et al.* Lemongrass (Cymbopogon citratus DC. Stapf) essential oil microparticles: development, characterization, and antioxidant potential. **Food Chemistry**, v. 355, p. 129644, set. 2021.

MOSQUERA, Tatiana *et al.* Biological activity of Cymbopogon citratus (DC) Stapf and its Potential Cosmetic Activities. **International Journal Of Phytocosmetics And Natural Ingredients**, v. 3, n. 1, p. 7, 31 dez. 2016.

MUKARRAM, Mohammad *et al.* Lemongrass Essential Oil Components with Antimicrobial and Anticancer Activities. **Antioxidants**, p. 11-20. dez. 2021.

HACKE, Ana Carolina Mendes *et al.* Cytotoxicity of Cymbopogon citratus (DC) Stapf fractions, essential oil, citral, and geraniol in human leukocytes and erythrocytes. **Journal Of Ethnopharmacology**, v. 291, p. 115147, jun. 2022.

OLIVEIRA, G.L.s.. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH•: estudo de revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 1, p. 36-44, mar. 2015.

REZENDE, DAdCS *et al.* Bactericidal and antioxidant effects of essential oils from Satureja montana L., Myristica fragrans H. and Cymbopogon flexuosus. **Letters in Applied Microbiology**, v. 74, n. 5, p. 741-751, 2022.

SILVA, Francisco A. M.; BORGES, M. Fernanda M.; FERREIRA, Margarida A.. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, fev. 1999.

SOUSA, Vânia Isabel *et al.* Microencapsulation of Essential Oils: a review. **Polymers**, v. 14, n. 9, p. 1730, 23 abr. 2022.

SUTAPHANIT, Polin; CHITPRASERT, Pakamon. Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 150, p. 313-320, maio 2014.

THUONG NHAN, Nguyen Phu *et al.* Microencapsulation of lemongrass (Cymbopogon citratus) essential oil via spray drying: Effects of feed emulsion parameters. **Processes**, v. 8, n. 1, p. 40, 2020.

TRAN, Thien Hien *et al.* Color and composition of beauty products formulated with lemongrass essential oil: cosmetics formulation with lemongrass essential oil. **Open Chemistry**, v. 19, n. 1, p. 820-829, 1 jan. 2021.