



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Aplicação de algas em iogurte: uma revisão sistemática da literatura

Gabriela Kovaleski

Departamento de química – Universidade de Aveiro

Sónia P. M. Ventura

Departamento de química – Universidade de Aveiro

Resumo: O desenvolvimento de novos produtos alimentícios fortificados com algas vem aumentando ao longo dos anos. O valor nutricional das algas, juntamente com suas propriedades antioxidantes, compostos bioativos e pigmentos naturais que servem como corantes naturais, são as principais atrações para a indústria. As algas ganharam atenção em produtos lácteos devido à sua cor estável, capacidade de melhorar a textura e benefícios potenciais durante a fermentação. Este trabalho analisa estudos sobre a incorporação de microalgas e macroalgas em iogurte, por meio de uma revisão sistemática da literatura. A análise de conteúdo destaca os parâmetros e compostos que estão sendo investigados para esse produto específico. No final, uma perspectiva crítica sobre como a incorporação de algas em iogurte pode beneficiá-los, bem como os desafios enfrentados serão fornecidos.

Palavras-chave: Microalgas, macroalgas, alimentos fortificados, iogurte

Application of algae in yogurt: a systematic literature review

Abstract: The development of new food products fortified with algae has been increasing over the years. The nutritional value of algae, along with their antioxidant properties, bioactive compounds, and natural pigments that serve as natural dyes, are the main attractions for the industry. Algae have gained attention in dairy products due to their stable color, ability to enhance texture, and potential benefits during fermentation. This work reviews studies on the incorporation of microalgae and macroalgae in yogurt, through a systematic literature review. The content analysis will highlight the parameters and compounds being investigated for these specific products. In the end, a critical perspective on how the incorporation of algae in dairy products can benefit them as well as the challenges faced in their development will be provided.

Keywords: Microalgae, macroalgae, fortified foods, yogurt

1. Introdução

A demanda global por produtos naturais e fortificados/funcionais que oferecem benefícios à saúde tem aumentado constantemente, atraindo consumidores e fabricantes (MATOS *et al.*, 2022). As algas são excelentes fontes de proteínas, vitaminas, minerais, fibras e aminoácidos essenciais, todos os quais contribuem para suas propriedades antioxidantes,

antibacterianas, anticancerígenas e anti-inflamatórias (LOMARTIRE *et al.*, 2021). As algas marinhas podem ser procarióticas ou eucarióticas e são geralmente classificadas em duas categorias principais, macroalgas (macroscópicas) e microalgas (microscópicas). As macroalgas são ainda divididas em três grupos principais: Rhodophyta (macroalgas vermelhas), Phaeophyta (macroalgas marrons) e Chlorophyta (macroalgas verdes). As microalgas, por outro lado, são classificadas em quatro grupos: Pyrrophyta (dinoflagelados), Cyanophyta (algas verde-azuladas), Chrysophyta (diatomáceas e algas marrom-douradas) e Chlorophyta (algas verdes) (BEETUL *et al.*, 2016).

O uso de algas em alimentos ganhou atenção significativa nos últimos cinco anos na Europa, com aplicações em produtos como sorvete, iogurte, queijo, pastas, massas, bebidas, pão, biscoitos e sopas/molhos (AMPOFO; ABBEY, 2022). No entanto, ainda há desafios na incorporação de algas em alimentos devido a questões relacionadas ao equilíbrio de concentração, aceitação do consumidor e qualidade nutricional (NETHRAVATHY *et al.*, 2019). Altas concentrações podem melhorar a qualidade do produto, mas também podem se tornar desagradáveis aos consumidores devido a mudanças indesejáveis na cor e no sabor (TOHAMY *et al.*, 2018). Além disso, a composição de cada micro-macroalga varia, e seu comportamento pode diferir quando adicionado a vários produtos alimentícios (AMPOFO; ABBEY, 2022). Além disso, a composição química das algas pode ser influenciada por fatores como condições de cultivo, métodos de extração e purificação, bem como a precisão da identificação e quantificação do composto (MACHU *et al.*, 2015 e KOVALESKI *et al.*, 2022).

A adição de algas aos laticínios já foi estudada como um produto mais saudável, porque tem coloração natural, alto teor de nutrientes e, em alguns casos, compostos funcionais. No entanto, até o momento, nenhuma revisão sistemática foi feita para identificar, analisar e discutir o conhecimento sobre a adição de macro e microalgas ao iogurte. Esta revisão sistemática da literatura buscou encontrar toda a literatura relacionada ao assunto, nos ajudando a verificar, analisar e discutir o que foi realizado até agora. O objetivo desta revisão é demonstrar quais algas estão sendo utilizadas, para qual propósito e quais são os desafios enfrentados na incorporação delas no iogurte.

2. Desenvolvimento de iogurte com adição de algas

As publicações revisadas no presente estudo foram obtidas do Scopus e Science Direct de 1º de março a 5 de maio de 2024, usando as seguintes palavras-chave: “Macroalgae+Yogurt”, “Microalgae+Yogurt”, “Algae+Daily Foods”, “Seaweed+Yogurt”, e “Seaweed+Daily Foods”. Considerando um total de 423 artigos encontrados após a busca, aqueles não relacionados ao tópico, duplicatas e artigos de revisão foram excluídos.

Dezenove artigos foram encontrados investigando a incorporação de algas em iogurte (Tabela 1 em Anexo). As microalgas mais utilizadas foram *S. platensis* e *C. vulgaris*. Outras microalgas como *Aurantiochytrium sp.*, *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana* e *Dunaliella salina* também foram investigadas. Apenas uma macroalga foi investigada, *Undaria pinnatifida*. Três estudos se concentraram na extração de lipídios de algas (chamados de óleo de algas) para enriquecer iogurte com ácidos graxos ômega-3, avaliando a deterioração oxidativa e a estabilidade. Além disso, três estudos extraíram ficobiliproteínas (como a ficocianina) e o carotenoide fucoxantina de algas para produção de iogurte. As concentrações de algas incorporadas variaram de 0,25% a 2%, com até 8% para ficobiliproteínas extraídas e até 10% para algas frescas. Os pesquisadores também avaliaram se as algas foram adicionadas antes ou depois da fermentação do iogurte, pois esse momento pode impactar os resultados. As características estudadas do iogurte serão detalhadas a seguir.

2.1 Composição físico-química

Os componentes mais comumente analisados no iogurte foram proteína, gordura, carboidratos, cinzas, umidade e pH. A maioria dos estudos relataram um aumento no teor de proteína quando o iogurte foi fortificado com *S. platensis*. Por exemplo, Barkallah *et al.*, (2017) descobriram que mesmo uma pequena adição de 0,25% de *S. platensis* aumentou significativamente o teor de proteína em comparação com o controle, enquanto Dinçoglu *et al.* (2024) e Arslan e Aksay (2022) observaram aumentos semelhantes com adições de 1% e 1,5%, respectivamente. Yağmur *et al.* (2023) também relataram um aumento no teor de proteína de 4,82% para 5,48%, embora a concentração exata de algas utilizadas não tenha sido especificada, pois o artigo completo não estava disponível. Em outro estudo, o iogurte fortificado com 2% de *I. galbana* mostrou um aumento no teor de proteína (MATOS *et al.*, 2021). Pan-utai *et al.* (2020) testaram *S. platensis* seca em estufa (0,1%, 0,3% e 5%) e fresca (1%, 5% e 10%), mas descobriram que todos os componentes permaneceram semelhantes aos do controle, apesar do alto teor de proteína das algas. Um resultado semelhante foi relatado por Robertson *et al.*, (2016) ao incorporar o extrato lipídico de *Pavlova lutheri*, pois nenhum dos componentes do iogurte foi significativamente alterado pela adição do extrato a 0,25% ou 0,5%. Dinçoglu *et al.* (2024) não encontraram nenhuma diferença significativa no conteúdo lipídico ao adicionar algas ao iogurte, mas houve um aumento significativo no conteúdo de cinzas. Da mesma forma, usando *S. platensis*, Barkallah *et al.* (2017) observaram um ligeiro aumento nos níveis lipídicos, bem como em todos os outros componentes. Arslan e Aksay (2022) descobriram que, à medida que a concentração de algas aumentava, o conteúdo lipídico diminuía significativamente em comparação com o controle, embora a diminuição no conteúdo de carboidratos não fosse estatisticamente significativa. Em uma concentração de 1,5%, eles também observaram um aumento no conteúdo de cinzas. Com *I. galbana*, não houve aumento significativo no conteúdo lipídico, mas uma diminuição na umidade do iogurte e um aumento nas cinzas foram observados.

O pH foi medido no início e no final da fermentação, bem como durante todo o armazenamento. Tanto Beheshtipour *et al.* (2012) quanto Barkallah *et al.* (2017) não relataram nenhuma diferença significativa nos níveis de pH no final da fermentação entre diferentes concentrações de *S. platensis*. No entanto, o declínio no pH foi maior com a adição de algas em comparação ao controle. Beheshtipour *et al.*, (2012) também descobriram que a *S. platensis* levou a uma maior taxa de acidificação do que *C. vulgaris*. Pan-utai *et al.* (2020) relataram uma diminuição semelhante no pH no final da fermentação para *S. platensis* seca em estufa e fresca em comparação ao controle. Essa acidez aumentada é considerada uma vantagem da adição de algas ao iogurte, pois auxilia no crescimento de bactérias do ácido láctico. Durante o armazenamento, *S. platensis* exibiu mudanças mínimas de pH ao longo de 28 dias, com apenas uma ligeira diminuição no estudo de Pan-utai *et al.*, (2020). Nourmohammadi *et al.*, (2020) observaram uma diminuição significativa no pH ao longo de 15 dias devido à atividade bacteriana. Kazemeini *et al.*, (2023) não encontraram nenhuma diferença significativa até 21 dias de armazenamento, mas uma mudança foi observada após 35 dias. Eles também aumentaram a concentração de algas para 2%, resultando em um pH mais baixo devido à capacidade de tamponamento em amostras contendo microalgas. Dinçoglu *et al.*, (2024) notaram que a diminuição do pH ao longo de 28 dias foi mais controlada com algas, demonstrando uma maior capacidade de tamponamento. Mohammadi-Gouraji *et al.*, (2018) e Sangian *et al.*, (2022), que usaram ficocianina extraída de *S. platensis*, observaram níveis de pH estáveis ao longo de 15 e 21 dias de armazenamento, respectivamente, mesmo em uma concentração de 8% de ficocianina.

2.2 Análise da cor

Dado o impacto significativo da cor na aceitação do consumidor de produtos lácteos, a cor do iogurte foi avaliada em várias concentrações de algas, incluindo no final do armazenamento (Tabela 2 em Anexo). Barkallah *et al.*, (2017), Nourmohammadi *et al.*, (2020) e Arslan e Aksay (2022) descobriram que adicionar *S. platensis* ao iogurte diminuiu os valores L^* , a^* e b^* , tornando o iogurte menos brilhante, mais verde e mais azul. Pan-utai *et al.*, (2020) relataram que o iogurte com a *S. platensis* fresca exibiu maior coloração branca e azul em comparação com o iogurte com algas secas na estufa, que por sua vez pareciam mais verdes. Quando o iogurte foi suplementado com ficocianina extraída de *S. platensis*, os valores a^* e b^* aumentaram, correspondendo a maior brilho com o aumento das concentrações de proteína (2%, 4% e 8%), consistente com a tonalidade azul desta ficobiliproteína. A cor permaneceu estável ao longo de 21 dias de armazenamento. Uma tendência semelhante foi observada no estudo de Sangian *et al.*, (2022), embora o efeito tenha sido mais sutil devido às concentrações mais baixas usadas (0,5%, 1,0% e 1,5%). A cor do iogurte também foi avaliada com a adição de fucoxantina de alga *Undaria pinnatifida*, outro pigmento presente em algas, que pertence à família dos carotenoides. Embora não tenha havido alteração significativa no brilho geral do iogurte, houve um aumento nos valores de a^* e b^* no primeiro dia, resultando em uma aparência mais vermelha e amarelada (WANG *et al.*, 2023). Durante o armazenamento, o brilho diminuiu enquanto as cores vermelha e amarela foram intensificadas. A cor do iogurte contendo extrato lipídico de *Pavlova lutheri* permaneceu inalterada ao longo de 28 dias de armazenamento. No entanto, uma diminuição significativa no brilho foi observada entre o controle e o iogurte com concentrações de algas adicionadas (0,25% e 0,5%), juntamente com um aumento no verde e no amarelo (Robertson *et al.*, 2016).

2.3 Análise sensorial

No iogurte, as características mais avaliadas na análise sensorial foram a cor, textura, sabor e aceitabilidade geral. Em estudos envolvendo *S. platensis*, as pontuações para cor, textura e aceitabilidade geralmente diminuíram com o aumento da concentração de algas. Akalin *et al.*, (2009) e Arslan e Aksay (2022) descobriram que uma concentração de 0,5% era mais aceitável para o parâmetro de cor, enquanto Barkallah *et al.*, (2017) relataram que 0,25% de algas era o preferido. Beheshtipour *et al.*, (2012) não encontraram nenhuma diferença significativa na cor e textura entre concentrações de algas de 0,25% e 0,5%, embora tenham observado diferenças no sabor. Barkallah *et al.*, (2017) notaram diferenças significativas na textura, sabor e aceitabilidade, particularmente em concentrações superiores a 0,25% de algas. Nourmohammadi *et al.*, (2020) foram os únicos a testar uma concentração maior de 2%, o que também resultou em pontuações menores para cor e textura. Dinçoglu *et al.*, (2024) não relataram diferenças na cor em suas amostras de iogurte. A rejeição do sabor pelos avaliadores pode ser atribuída à oxidação de lipídios e minerais em *S. platensis*, que pode produzir um sabor metálico (SHIMAMATSU, 2004). Para *C. vulgaris*, Beheshtipour *et al.*, (2012) não encontraram diferenças significativas entre concentrações de 0,25% e 0,5%, mas as pontuações sensoriais foram maiores em comparação com *S. platensis*. A adição de óleo de algas pode introduzir um sabor de peixe aos produtos, tornando a análise sensorial essencial. No estudo de Chee *et al.*, (2005), um painel treinado detectou esse sabor, mas não afetou adversamente a aceitabilidade geral do produto. He *et al.*, (2023) descobriram que o óleo de algas encapsulado teve melhor aceitabilidade no iogurte em comparação com o óleo de algas cru. Em contraste, o óleo de algas de *Pavlova lutheri* não foi aceito em termos de sabor, cor ou aceitação geral (ROBERTSON *et al.*, 2016). Sangian *et al.*, (2022) descobriram que adicionar ficocianina até 1,5% resultou em pontuações de textura e sabor ligeiramente mais baixas em comparação ao controle. No entanto, no estudo de Mohammadi-Gouraji *et al.*, (2018), o iogurte com 8% de ficocianina foi considerado aceitável em relação à cor, mas recebeu *feedback* mais favorável dos painelistas em concentrações de até 4%. A cor do iogurte

contendo fucoxantina foi altamente avaliada e bem aceita pelos painelistas (WANG *et al.*, 2023).

2.4 Microbiologia

A viabilidade de microrganismos probióticos em um produto até o momento do consumo é um parâmetro crítico de qualidade. Embora não haja consenso global sobre o número mínimo de células probióticas viáveis necessárias, uma contagem de 10^6 UFC.mL⁻¹ ou UFC.g⁻¹ por dia é geralmente aceita como o mínimo para atingir efeitos promotores de saúde (VIVEK *et al.*, 2023). Akalın *et al.*, (2009) adicionaram *S. platensis* ao iogurte após a fermentação e monitoraram a viabilidade celular ao longo de 30 dias de armazenamento. Os iogurtes contendo algas apresentaram níveis mais altos de bactérias lácticas do que o controle, com contagens permanecendo acima de 10^6 UFC.g⁻¹ 1 ao final do período de armazenamento. Da mesma forma, Dinçoglu *et al.*, (2024) observaram níveis aumentados de *L. acidophilus* e *Bifidobacterium animalis* com a adição de algas durante 28 dias de armazenamento. Beheshtipour *et al.*, (2012) relataram aumento da viabilidade de *L. acidophilus* e bifidobactérias tanto no final da fermentação quanto durante o armazenamento, com contagens atingindo quase 10^7 UFC.mL⁻¹ para iogurtes contendo *S. platensis* e *C. vulgaris*. Além disso, o índice de crescimento para iogurtes com microalgas foi significativamente maior do que o do controle, particularmente para *L. acidophilus*. Khaledabad *et al.*, (2019) descobriram que com 0,5% de suplementação de algas, as populações probióticas permaneceram acima de 10^8 UFC.g⁻¹ durante todo o período de armazenamento. Da mesma forma, Kazemeini *et al.*, (2023) observaram um aumento significativo na viabilidade probiótica, mantendo contagens acima de 10^7 UFC.mL⁻¹ até o final do armazenamento. A adição de até 8% de ficocianina ao iogurte não teve impacto significativo, positivo ou negativo, em *S. thermophilus* em comparação ao controle e após 21 dias de armazenamento (MOHAMMADI-GOURAJI *et al.*, 2018). Sangian *et al.*, (2022) encontraram um ligeiro aumento nas bactérias do ácido láctico com concentrações de ficocianina de até 1,5% no primeiro e 15º dias de armazenamento em comparação ao controle, com níveis permanecendo estáveis durante todo o período de armazenamento. Concluindo, adicionar algas ao iogurte oferece suporte a um ambiente favorável para bactérias do ácido láctico durante a fermentação e o armazenamento. Compostos encontrados em algas, como aminoácidos, vitaminas e ácido γ -linolênico, podem aumentar a proliferação de probióticos proteolíticos, enquanto polissacarídeos em algas já são reconhecidos como prebióticos (Khaledabad *et al.*, 2019).

2.5 Análise de textura e sinérese

Os parâmetros de textura mais comumente estudados em iogurte são firmeza, coesão, consistência e viscosidade. A suscetibilidade à sinérese (STS), uma característica indesejável em iogurte, refere-se ao rearranjo espontâneo da rede de gel, levando à separação do soro. A capacidade de retenção de água (WHC), que mede a capacidade de reter água sob forças externas, depende principalmente da microestrutura da rede de proteínas no iogurte. No estudo de Barkallah *et al.*, (2017), concentrações aumentadas de *S. platensis* reduziram a firmeza do iogurte ao romper sua rede de gel. No entanto, não houve diferença na coesão em comparação ao controle. A STS foi maior, e a WHC foi menor no iogurte controle do que no iogurte com algas adicionadas, provavelmente devido ao alto teor de proteína, gordura e fibra das microalgas. Durante um período de armazenamento de 15 dias, Nourmohammadi *et al.*, (2020) descobriram que tanto o controle quanto os iogurtes fortificados apresentaram uma diminuição no WHC e um aumento no STS, atribuídos à produção de ácido láctico, o que pode enfraquecer a rede de proteínas. No estudo de Pan-utai *et al.*, (2020), o iogurte com *S. platensis* fresca apresentou WHC mais alto do que aqueles com algas secas em estufa. Ao longo de um período de armazenamento de 28 dias, o WHC aumentou em todas as concentrações (0,5%, 0,75% e

1,5%), bem como entre elas (DINÇOĞLU *et al.*, 2024). No mesmo estudo, os valores de dureza foram maiores no controle e no iogurte com 0,5% de *S. platensis* em comparação com aqueles com 0,75% e 1%. O iogurte fortificado com ficocianina (2%, 4% e 8%) apresentou menor sinérese em comparação ao controle e, durante o armazenamento o STS diminuiu em todos os tratamentos (MOHAMMADI-GOURAJI *et al.*, 2018). O aumento do teor total de sólidos ajudou a estabilizar a rede de gel, levando a uma melhor WHC. Sangian *et al.*, (2022) não encontraram nenhuma diferença significativa em WHC e STS, possivelmente devido à menor concentração de ficocianina usada, até 1,5%. No entanto, o grupo controle apresentou a maior dureza e elasticidade, enquanto a viscosidade aumentou com maiores concentrações de ficocianina. O iogurte fortificado com fucoxantina apresentou valores mais baixos de dureza, consistência e viscosidade, sugerindo que esse pigmento altera a estrutura do gel do iogurte (WANG *et al.*, 2023). Embora nenhuma diferença significativa na sinérese tenha sido observada com a adição de óleo de algas de *Pavlova lutheri*, isso pode ajudar a reduzir a taxa de sinérese após 28 dias de armazenamento (ROBERTSON *et al.*, 2016).

2.6 Compostos bioativos

Apenas 4 artigos verificaram a atividade antioxidante em iogurtes fortificados com algas. Barkallah *et al.*, (2017) avaliaram a atividade antioxidante usando dois métodos, DPPH e FRAP, e encontraram resultados mais altos em iogurtes fortificados com *S. platensis* em comparação ao controle. Em uma concentração de 0,25% de algas, eles alcançaram 52,41% de atividade de eliminação de radicais DPPH. Em outro estudo, a adição de 1% de *S. platensis* resultou em 77% de atividade de eliminação de radicais DPPH, que diminuiu para 56% após 28 dias de armazenamento (DINÇOĞLU *et al.*, 2005). Da mesma forma, Khaledabad *et al.*, (2019) observaram uma redução na atividade antioxidante durante o período de armazenamento. Esse declínio, observado em ambos os estudos, pode ser atribuído à natureza proteolítica de *L. paracasei*, que degrada ficocianina (DONKOR *et al.*, 2007). WANG *et al.*, (2023) observaram um aumento na atividade antioxidante com a adição de fucoxantina de *Undaria pinnatifida* em comparação ao controle, mas resultados ainda melhores foram alcançados quando a fucoxantina foi encapsulada.

3. Conclusão

A partir da análise dos estudos sobre iogurte fortificados com algas, fica evidente que a incorporação de algas em produtos lácteos oferece vantagens e desafios. Algas, como *Spirulina platensis* e *Chlorella vulgaris*, podem aumentar o conteúdo nutricional do iogurte, pois aumentam os níveis de proteína e contribuem com compostos benéficos como antioxidantes, aminoácidos essenciais e vitaminas quando incorporadas a esses produtos lácteos. As algas também têm um papel relevante no suporte ao crescimento e à viabilidade de bactérias probióticas, o que é essencial para os benefícios à saúde desses produtos. O uso de algas também tem impacto na textura e nas propriedades sensoriais, com alguns estudos observando mudanças na firmeza, coesão e capacidade de retenção de água. Embora os produtos fortificados possam ter uma textura diferente em comparação ao controle, eles podem manter qualidades desejáveis, como maior retenção de água no iogurte, o que pode ajudar a prevenir a sinérese. No entanto, propriedades sensoriais como sabor e cor podem se tornar menos atraentes em concentrações mais altas de algas, muitas vezes levando a uma diminuição na aceitabilidade do consumidor. Finalmente, parece, a partir dos resultados analisados neste trabalho, que as algas podem criar um ambiente mais favorável para bactérias do ácido láctico durante o armazenamento, mantendo alta viabilidade probiótica. Elas também contribuem para uma taxa de acidificação mais rápida, o que pode ser benéfico para a fermentação do iogurte. No entanto, o declínio do pH e as alterações no sabor devido às algas podem ser uma preocupação para o armazenamento a longo prazo e preferências de sabor. Resumindo, as algas têm o potencial de melhorar o

perfil nutricional do iogurte e do queijo, oferecendo suporte probiótico aprimorado e uma gama de compostos bioativos. No entanto, equilibrar os aspectos sensoriais como sabor e textura é crucial para a aceitação do consumidor. Mais pesquisas sobre a otimização da concentração e formulação de algas podem ajudar a enfrentar esses desafios e aumentar o apelo de produtos lácteos enriquecidos com algas.

Referências

- AKALIN, A. S.; UNAL, G.; DALAY, M. C. Influence of *Spirulina platensis* biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. **Italian Journal of Food Science**, v. 21, n. 3, p. 357-364, 2009.
- AMPOFO, J.; ABBEY, L. Microalgae: Bioactive composition, health benefits, safety and prospects as potential high-value ingredients for the functional food industry. **Foods**, v. 11, p. 1744, 2022.
- ARSLAN, R.; AKSAY, S. Investigation of sensorial and physicochemical properties of yoghurt colored with phycocyanin of *Spirulina platensis*. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 6, 2022.
- BARKALLAH, M. et al. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. **LWT**, v. 84, p. 323–330, 2017.
- BEETUL, K.; GOPEECHUND, A.; KAULLYSING, D.; MATTAN-MOORGAWA, S.; PUCHOOA, D.; BHAGOOI, R. Challenges and opportunities in the present era of marine algal applications [Internet]. In: *Algae - Organisms for Imminent Biotechnology*. **InTech**, 2016.
- BEHESHTIPOUR, H. et al. Effects of *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. **European Food Research and Technology**, v. 235, n. 4, p. 719–728, 2012.
- CHEE, C. P. et al. Chemical and sensory analysis of strawberry flavoured yogurt supplemented with an algae oil emulsion. **Journal of Dairy Research**, v. 72, n. 3, p. 311–316, 2005.
- DINÇOĞLU, A. H.; AKÇA, S. S.; ÇALIŞKAN, Z. Effect of *Spirulina platensis* on probiotic, nutritional, and quality properties of yogurt. **International Food Research Journal**, v. 31, n. 1, p. 157-168, 2024.
- DONKOR, O. N.; HENRIKSSON, A.; VASILJEVIC, T.; SHAH, N. P. Proteolytic activity of dairy lactic acid bacteria and probiotics as determinant of growth and *in vitro* angiotensin-converting enzyme inhibitory activity in fermented milk. **Le Lait**, v. 87, p. 21–38, 2007.
- HE, S. et al. Nutrition and stability enhancement of yoghurt fortified with encapsulated algae oil through vortex fluidic device. **LWT**, v. 191, p. 1-8, 2024. doi:10
- KAZEMEINI, H.; AZIZIAN, A.; AHMADI, K. Preparation of synbiotic yogurt sauce containing *Spirulina platensis* microalgae extract and its effect on the viability of *Lactobacillus acidophilus*. **Biomed Research International**, p. 8434865, 2023.
- KHALEDABAD, M. et al. Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and Zedo gum: chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. **International Journal of Dairy Technology**, v. 73, 2019.
- KOVALESKI, G. et al. Extraction and purification of phycobiliproteins from algae and their applications. **Frontiers in Chemistry**, v. 10, p. 1065355, 2022.
- LOMARTIRE, S.; MARQUES, J. C.; GONÇALVES, A. M. M. An overview to the health benefits of seaweeds consumption. **Marine Drugs**, v. 19, p. 341, 2021.
- MACHU, L. et al. Phenolic content and antioxidant capacity in algal food products. **Molecules**, v. 20, p. 1118–1133, 2015.
- MATOS, Â. P.; NOVELLI, E.; TRIBUZI, G. Use of algae as food ingredient: sensory acceptance and commercial products. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 2, p. 989801, 2022.
- MATOS, J. et al. Yogurt enriched with *Isochrysis galbana*: an innovative functional food. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1458, 2021.

MOHAMMADI-GOURAJI, E.; SOLEIMANIAN-ZAD, S.; GHIACI, M. Phycocyanin-enriched yogurt and its antibacterial and physicochemical properties during 21 days of storage. **LWT**, 2018.

NETHRAVATHY, M. U. et al. Recent advances in microalgal bioactives for food, feed, and healthcare products: commercial potential, market space, and sustainability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, p. 1882–1897, 2019.

NOURMOHAMMADI, N.; SOLEIMANIAN-ZAD, S.; SHEKARCHIZADEH, H. Effect of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) microencapsulated in alginate and whey protein concentrate addition on physicochemical and organoleptic properties of functional stirred yogurt. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020.

PAN-UTAI, W. et al. Effect of *Arthrospira* microalga fortification on physicochemical properties of yogurt. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 8, n. 2, 2020.

PAULO, M. C. et al. The development of a novel functional food: Bioactive lipids in yogurts enriched with *Aurantiochytrium* sp. biomass. **Food Function**, v. 11, p. 9721, 2020.

ROBERTSON, R. C. et al. An assessment of the techno-functional and sensory properties of yoghurt fortified with a lipid extract from the microalga *Pavlova lutheri*. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 37, p. 237–246, 2016.

SALEHI, M.; KHAJEHRAHIMI, A.; HESARINEJAD, M. A. The effect of *Dunaliella salina* on physicochemical and sensory properties of yogurt. **FSCT**, v. 18, n. 117, p. 95-107, 2021.

SANGIAN, M. et al. Investigation of the effect of phycocyanin extracted from *Spirulina platensis* and persimmon powder on physicochemical and sensory characteristics of yogurt. **Egyptian Journal of Veterinary Sciences**, v. 53, n. 1, p. 75-86, 2022.

SHIMAMATSU, H. Mass production of *Spirulina*, an edible microalga. **Hydrobiologia**, v. 512, p. 39-44, 2004.

TOHAMY, M. M. et al. Production of functional spreadable processed cheese using *Chlorella vulgaris*. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 17, n. 4, p. 347-358, 2018.

VIVEK, K. et al. A comprehensive review on microencapsulation of probiotics: technology, carriers and current trends. **Applied Food Research**, v. 3, p. 100248, 2022.

WANG, C. et al. Encapsulated fucoxanthin improves the structure and functional properties of fermented yogurt during cold storage. **Food Chemistry**, v. 419, 2023.

YAĞMUR, N.; ŞAHİN, S.; AKYILDIZ, G. The effect of pomegranate peel extracts coated with *Spirulina* microalgae supplementation on physicochemical, microbiological and sensorial properties of yoghurts during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 6, p. 3180-3188, 2023.

ANEXO

Tabela 1. Estudos sobre a aplicação de micro-macroalgas em iogurte (AF- Antes da fermentação;DF- Depois da fermentação).

Espécies	Concentração	Forma aplicada	Características estudadas	Referência
Óleo de alga	500 mg de PUFA ômega-3 por 272g- AF	Emulsão	Análise química e sensorial	Chee <i>et al.</i> , (2005)
Óleo de alga - <i>Chlorella vulgaris</i>	35,4% de ácidos graxos ômega-3 - AF	Liofilizado	Estabilidade da emulsão, textura e propriedades sensoriais	He <i>et al.</i> , (2023)
Extrato lipídico- Pavlova lutheri	0.25% e 0.5% (p/v) - AF	Extrato lipídico	Análise de ácidos graxos e propriedades sensoriais	Robertson <i>et al.</i> , (2016)
<i>Spirulina platensis</i>	0.5 e 1.0% (p/v) - DF	Liofilizado	Análise microbiológica	Akalın, <i>et al.</i> , (2009)
	0.25, 0.5, 0.75 e 1%- AF	Liofilizado	Propriedades físico-químicas, texturais, cor, antioxidantes e sensoriais	Barkallah <i>et al.</i> , (2017)
	2% (p/v) -AF	Liofilizado	Propriedades físico-químicas e sensoriais	Nourmohammadi <i>et al.</i> , (2020)
	Seco em estufa: 0.1, 0.3, e 0.5% (p/v) - AF	Seco em estufa e fresca	Análise físico-químicas e cor	Pan-utai <i>et al.</i> , (2020)
	Fresca: 1,5 e 10% (v/v) - AF	-	-	-
	-	-	Análise físico-químicas, microbiológicas e sensoriais	Yağmur <i>et al.</i> , (2023)-NE
	0,5, 1, e 2% - DF	Liofilizado	Análise microbiológicas e sensoriais	Kazemeini <i>et al.</i> , (2023)
	0, 0,5, 0,75, e 1% -DF	Liofilizado	Análise microbiológicas, físico-químicas, sensoriais texturais e perfil antioxidante	Dinçoğlu, <i>et al.</i> , (2024)
	0.5%, 1.0%, e 1.5% (p/v) - AF	Liofilizado	Análise físico-químicas, sensoriais e de cor	Arslan and Aksay (2022)
	0,5- AF	-	Análise microbiológicas, sensoriais e de cor, capacidade antioxidante	Khaledabad, <i>et al.</i> , (2019)
<i>Spirulina platensis</i> e <i>Chlorella vulgaris</i>	0. 25, 0,50 e 1,00% - AF	Liofilizado	Análise microbiológica, química e sensorial	Beheshtipour <i>et al.</i> , (2012)
Ficocianina - <i>Spirulina platensis</i>	2, 4, e 8% (p/p) - DF	Liofilizado	Análise microbiológicas, físico-químicas, de cor, sensoriais	Mohammadi-Gouraji <i>et al.</i> , (2018)
Ficocianina - <i>Spirulina platensis</i>	0,5-1,0-1,5 (p/p) - AF	-	Análise físico-químicas, microbiológicas e sensoriais	Sangian, <i>et al.</i> , (2022)
<i>Aurantiochytrium sp</i>	2% (p/p)	-	Caracterização da fração lipídica e determinação da bioacessibilidade de ácidos graxos	Paulo <i>et al.</i> , (2020)- NE
<i>Dunaliella salina</i>	0, 0,5, 1 e 2% (p/p) - AF	Liofilizado	Propriedades físico-químicas, de cor, textura e sensoriais	Salehi <i>et al.</i> , (2021)-NE

<i>Isochrysis galbana</i>	2% (p/p) - AF	Liofilizado e extrato lipídico	Análise físico-químico e perfil de ácidos graxos	Matos <i>et al.</i> , (2021)
Fucoxantina - <i>Undaria pinnatifida</i>	DF	Liofilizado	Análise físico-química, de textura, propriedades sensoriais e análise de digestão simulada	Wang <i>et al.</i> , (2023)
NE- Não encontrado				

Tabela 2 - Parâmetros de cor em iogurte

Espécies	L		a		b		Referências
	WN						Barkallah <i>et al.</i> , 2017
	1º dia	15º dia	1º dia	15º dia	1º dia	15º dia	Nourmohammadi <i>et al.</i> , 2020
	C: 74.67± 0.16	C: 71.8± 0.1	C: -0.3± 0.31	C: -0.76± 0.18	C: 8.16 ± 0.16	C: 4.28± 0.11	
	2%: 54.29± 0.49	2%: 54.46± 0.19					
			2%: -9.07± 0.23	2%: -6.26± 0.13	2%: 8.69 ± 0.14	2%: 4.32 ± 0.11	
<i>Spirulina platensis</i>	C: 88.57 ± 0.28		C: -2.12 ± 0.04		C: 2.56 ± 0.08		Arslan, R. e Aksay, S. (2022)
	0.5%:76.86 ± 0.05		0.5%: -5.29 ± 0.27		0.5%: -3.23 ± 0.10		
	1.0%:70.31 ± 0.25		1.0%: -4.25 ± 0.04		1.0%: -7.37 ± 0.19		
	1.5%: 65.73 ± 0.05		1.5%: -7.22 ± 0.05		1.5%: -12.54 ± 0.12		
	1º dia	21º dia	1º dia	21º dia	1º dia	21º dia	Mohammadi-Gouraji <i>et al.</i> , 2018
	C: 72.53 ± 0.13	C: 72.45 ± 0.01	C: -1.93 ± 0.03	C: -1.90 ± 0.03	C: 7.92 ± 0.02	C: 7.48 ± 0.04	
	2%: 66.36 ± 0.15	2%: 66.88 ± 0.1	2%: -4.82 ±0.04	2%: -3.87 ± 0.04	2%: 0.47 ± 0.04	2%: 0.70 ± 0.05	
	4%: 62.48 ± 48	4%: 62.59 ± 0.1	4%: -7.26 ± 0.08	4%: -6.45 ± 0.03	4%: -2.66 ± 0.28	4%: -2.385 ± 0.02	
	Ficocianina - <i>Spirulina platensis</i>	8%: 56.52 ± 0.26	8%: 56.37 ± 0.04	8%: -9.91 ± 0.01	8%: -9.19 ± 0.01	8%: -6.29 ± 0.02	8%: -6.16 ± 0.01
C: 95.09±0.27		C: -2.24±0.11		C: -0.04±0.30			

	0.5%: 93.69±0.49		0.5%: -3.65±0.03		0.5%: -1.05±0.01		
	1.0%: 93.48±0.10		1.0%: -3.85±0.01		1.0%: -1.15±0.00		
	1.5%: 92.66±0.12		1.5%: -4.09±0.28		1.5%: -1.43±0.04		
Fucoxantina - <i>Undaria</i> <i>pinnatifida</i>	1º dia	7º dia	1º dia	7º dia	1º dia	7º dia	Wang <i>et al.</i> , 2023
	C: 90.77 ± 0.38	C: 88.52 ± 0.39	C: -2.26 ± 0.08	C: - 1.77 ±	C: 5.36 ± 0.20	C: 5.81 ± 0.06	
	FX: 90.82 ± 0.58	FX: 87.69 ± 0.16	FX: - 2.03 ± 0.02	FX: - 1.83 ±	FX: 7.55 ± 0.26	FX: 8.20 ±0.15	