

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 06/09/2019.

CAMILA YAMASHITA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE OZÔNIO
NA QUALIDADE DE ALGINATO
EXTRAÍDO DE ALGAS PARDAS
(*SARGASSUM* SPP.)**

ASSIS

2019

CAMILA YAMASHITA

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE OZÔNIO
NA QUALIDADE DE ALGINATO
EXTRAÍDO DE ALGAS PARDAS
(*SARGASSUM* SPP.)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para a obtenção do título de Mestra em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientador(a): Ivanise Guilherme Branco

Bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

ASSIS

2019

Y19e	<p>Yamashita, Camila</p> <p>Efeito da aplicação de ozônio na qualidade de alginato extraído de algas pardas (<i>Sargassum</i> spp.). / Camila Yamashita. -- Assis, 2019</p> <p>58 f.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Letras, Assis</p> <p>Orientadora: Ivanise Guilherme Branco</p> <p>1. Ozônio. 2. Alga Parda. 3. Alginato. 4. Otimização. 5. Atividade Antioxidante. I. Título.</p>
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Letras, Assis. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito da aplicação de ozônio na qualidade de alginato extraído de algas pardas (*Sargassum* spp.)

AUTORA: CAMILA YAMASHITA

ORIENTADORA: IVANISE GUILHERME BRANCO



Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em BIOCÊNCIAS, área: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica pela Comissão Examinadora:

Ivanise Guilherme Branco

Profa. Dra. IVANISE GUILHERME BRANCO
Departamento de Ciências Biológicas / UNESP/Assis

Cassia Roberta Malacrida Mayer

Profa. Dra. CASSIA ROBERTA MALACRIDA MAYER
Departamento de Biotecnologia / UNESP/Assis

Ízabel Cristina Freitas Moraes

Profa. Dra. ÍZABEL CRISTINA FREITAS MORAES
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos / USP/Pirassununga

Assis, 06 de março de 2019

Dedico este trabalho aos meus pais, Regina e Nelson, meus maiores exemplos. Sem o apoio e ensinamentos de vocês, não teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar em cada passo que dou e por todas as oportunidades de crescimento pessoal e profissional.

À Prof^a Ivanise pela orientação e ensinamentos durante todos esses anos.

Aos Professores Ciro, Cássia, Izabel e Antônio pela colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

Aos colaboradores técnicos-administrativos Sérgio, Alan e Gilberto que não mediram esforços ao me auxiliar na pesquisa.

À Dani e ao Sinésio pelas conversas otimistas matutinas.

Aos colaboradores da Seção de Pós-Graduação, Natália, Lino e Marcos, que tanto me auxiliaram em todas as etapas do mestrado.

Aos ex-companheiros de laboratório Assay, Adriana, Karen e Marcela que mesmo já finalizado suas pesquisas, me auxiliaram na conclusão da minha.

À Letícia, companheira de laboratório, pela ajuda e companheirismo.

À amiga que o mestrado me deu, Fer, pela amizade e parceria nos bons e maus momentos.

Aos amigos de outros laboratórios e da vida, Edson, Joyce e André pela energia positiva, amizade, companheirismo e por estarem sempre dispostos a me ajudar.

Às minhas ex-colegas de casa, Bruna, Mari e Matheus (agregado) pelo otimismo e apoio nas horas mais difíceis.

Às pessoas dispostas a compartilharem seus conhecimentos em Ressonância Nuclear Magnética com toda paciência e receptividade, Ícaro e Lucinéia.

Ao Edson, profissional da OzonioBras, por me auxiliar a entender os parâmetros de funcionamento do ozonizador com tanta dedicação.

Às amigas de infância Camila, Fernanda, Priscilla e Renata que acompanham e torcem tanto por mim.

Aos meus pais, Regina e Nelson, por me apoiarem e não medirem esforços para meu crescimento profissional.

À minha irmã, Adriana, por fazer parte dos momentos de descontração, auxílio, incentivo e por sempre lembrar de acreditar em mim.

Ao meu namorado, Rafael, pelo amor, compreensão e por sempre acreditar e me fazer acreditar que no fim tudo daria certo.

Às cadelinhas, Laila e Tuca, por toda alegria contagiante.

À Banca da qualificação, Bruno e Rosana, pelas sugestões e correções realizadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro (Código de financiamento 001).

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma colaboram para realização deste trabalho. Meu reconhecimento e gratidão!

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados”. (Mahatma Gandhi)

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”. (Madre Teresa de Calcutá)

YAMASHITA, Camila. **Efeito da aplicação de ozônio na qualidade de alginato extraído de algas pardas (*Sargassum spp.*)**. 2019. 58 f. Dissertação (Mestrado acadêmico em Biociências). – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, 2019.

RESUMO

O alginato, presente na parede celular das algas marinhas pardas, apresenta coloração marrom, sendo necessário seu branqueamento para melhor aceitabilidade do mercado consumidor. O gás ozônio (O₃) tem mostrado grande potencial de aplicabilidade como agente clareador mais sustentável. O presente estudo visa a otimização, utilizando a análise de superfície de resposta, dos parâmetros de clareamento (tempo, fluxo de oxigênio e temperatura), utilizando ozônio como agente branqueador, sobre os parâmetros colorimétricos (porcentagem de transmitância e índice de luminosidade), composição química (razão entre os ácidos manurônico (M) e gulurônico (G) M/G) e propriedades reológicas (viscosidade dinâmica, viscosidade intrínseca e massa molar) do alginato de sódio extraído de algas pardas (*Sargassum spp.*). Nas condições otimizadas de clareamento também foi verificada a influência da ozonização sobre a atividade antioxidante do alginato. O tempo é a variável independente que apresentou maior influência nas respostas, seguido da temperatura e fluxo de oxigênio. A condição otimizada encontrada foi um tratamento com fluxo de oxigênio de 2 L/min por 35 minutos à 25°C. A amostra clareada na condição otimizada apresentou capacidade antioxidante maior que a amostra comercial, indicando que o processo de clareamento por ozonização pode ser menos prejudicial aos compostos bioativos. Além disso, os antioxidantes naturais presentes no alginato de sódio aqui estudado podem agregar valor aos produtos que utilizam esse composto em preparações alimentícias.

Palavras-chave: Ozônio. Otimização. Alginato. Alga Parda. Atividade Antioxidante.

YAMASHITA, Camila. **Effect of ozone application on the quality of alginate extracted from brown seaweeds (*Sargassum* spp.).** 2019. 58 f. Dissertation (Masters in Biosciences) – Sao Paulo State University (UNESP), School of Sciences, Humanities and Languages, Assis, 2019.

ABSTRACT

Alginate is a polysaccharide which can be found in the cell wall of brown algae. Its original color is brown that is why a bleaching process is needed to improve this visual impairment. The ozone gas (O₃) has shown a great potential as a more sustainable bleaching agent. The present study aims the optimization of bleaching parameters (time, oxygen flow rate and temperature) of sodium alginate from brown seaweeds (*Sargassum* spp.) using ozone gas as the bleaching agent on the colorimetrics parameters (percent transmittance and index of luminosity), chemical composition (mannuronic (M) and guluronic (G) acid ratio M/G) and rheological properties (intrinsic viscosity, dynamic viscosity and molar mass). Once it was found the optimal conditions of bleaching, it was also verified the influence of ozonation on antioxidant activity of sodium alginate. The findings point out that ozonation time is the independent variable that most affects the responses, followed by the temperature and oxygen flow rate. The optimized bleaching conditions were determined with an oxygen flow rate at 2 L/min, during 35 min at 25°C. The bleached sample on the optimized conditions presented a higher antioxidant capacity than the commercial sodium alginate sample, highlighting that the discoloration by ozone might be less harmful to bioactive compounds. Besides, natural antioxidants of sodium alginate can add value to products that use this compound in food preparations.

Key-words: Ozone. Optimization. Alginate. Brown Seaweed. Antioxidant Activity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
Otimização do processo de clareamento de alginato de sódio extraído de alga parda utilizando superfície de resposta.....	18
RESUMO.....	18
INTRODUÇÃO.....	19
MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
Coleta e secagem das macroalgas.....	21
Extração do alginato.....	20
Tratamentos de branqueamento do alginato.....	22
Tratamento com ozônio.....	22
Delineamento experimental.....	22
Análise dos dados.....	23
Determinação de parâmetros colorimétricos.....	23
Análise de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) por Hidrogênio (H^1)	24
Caracterização reológica.....	24
Determinação da Viscosidade Intrínseca (μ_{int}) e Massa Molar (M_w)	25
Capacidade antioxidante.....	26
Determinação da atividade antioxidante pelo método do radical ABTS ^{•+}	26
Atividade antioxidante pelo método do sequestro do radical DPPH [•]	26
Atividade antioxidante pelo sistema β -caroteno /ácido-linoleico.....	27
Análise estatística.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
Ajuste do modelo e análises estatísticas.....	28
Efeito da ozonização na cor do alginato.....	33

Porcentagem de transmitância.....	34
Índice de Luminosidade (L*).....	35
Efeito dos parâmetros da ozonização na proporção M/G do alginato de sódio.....	36
Efeito dos parâmetros da ozonização na viscosidade dinâmica (μ_{din}) do alginato de sódio.....	41
Efeito dos parâmetros da ozonização na massa molar (M_v) e viscosidade intrínseca (μ) do alginato.....	44
Otimização e validação do processo de clareamento de alginato de sódio extraído de alga parda.....	47
Avaliação da capacidade antioxidante do alginato de sódio clareado sob as condições otimizadas.....	48
ABTS.....	48
DPPH.....	49
β -caroteno /ácido-linoleico.....	50
CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

INTRODUÇÃO

A era industrial contemporânea se caracteriza pela necessidade de uma alta eficiência produtiva em curtos períodos, além de ser imprescindível a introdução de novas tecnologias que visam aumentar a lucratividade e, assim, obter uma diferença competitiva no mercado. Atualmente, nota-se uma tendência para inserção de um modelo mais sustentável nas três dimensões: social, econômica e ambiental, em que há uma responsabilidade pelos efeitos negativos gerados pela indústria. Nesse contexto, a biotecnologia (*bios-vida*; *technos-tecnologia*; *logos-conhecimento*) é considerada uma ferramenta essencial para evolução industrial no século XXI (KAFARSKI, 2012), proporcionando novas oportunidades para um sistema de produção mais sustentável de produtos e serviços (GAVRILESCU; CHISTI, 2005). Recursos biológicos presentes na fauna e flora de ecossistemas mundiais ainda são pouco investigados para descoberta de componentes com alto potencial de aplicabilidade em diversos segmentos industriais, como o farmacêutico e alimentício (GAVRILESCU; CHISTI, 2005). Por exemplo, a exploração de recursos de oceanos e mares para desenvolver produtos e aplicá-los industrialmente, com a utilização da biotecnologia azul (KAFARSKI, 2012).

As macroalgas ou algas marinhas representam um dos mais importantes organismos fotossintéticos em nosso planeta e estão se tornando fontes atrativas para utilização humana, uma vez que são abundantes no ambiente, apresentam altas taxas de crescimento e não necessitam de água potável e terras cultiváveis (LORBEER et al., 2015). Além disso, devido ao seu habitat com grande disponibilidade de luz e concentrações consideráveis de oxigênio e dióxido de carbono (RAYMUNDO et al., 2004), as algas desenvolveram mecanismos fisiológicos e biomoleculares de defesa contra os efeitos das espécies reativas do oxigênio, representando uma importante fonte de substâncias antioxidantes naturais para a indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica (ROCHA et al., 2007, FLEITA et al., 2015).

Um dos critérios de classificação das algas marinhas é de acordo com seu tipo de pigmento, sendo divididas em: Chlorophyceae (algas verdes), Rhodophyceae (algas vermelhas) e Phaeophyceae (algas pardas), que possuem como principais pigmentos as clorofilas a e b, fucoeritrina e fucoxantina, respectivamente. A cor das algas pardas também se deve à presença de polissacarídeos em sua estrutura, como as laminarinas,

fucanas e ácidos algínicos (HAUGAN, 1994; MCHUGH, 2003; ROBIC et al., 2009; O'SULLIVAN et al., 2010).

O alginato ou ácido algínico está presente na parede celular das algas marinhas pardas e também pode ser produzido por algumas bactérias (HAUGAN, 1994). Em 2016, o Brasil importou aproximadamente R\$ 35 milhões deste polissacarídeo principalmente do Chile, China e Noruega (Atlas of Economic Complexity, 2019), o que motiva estudos visando a sua produção nacional, tendo em vista a abundância de sua matéria-prima na costa marítima brasileira. A estrutura química, propriedades físico-químicas e atividades biológicas desse biopolímero têm sido amplamente estudadas (PENMAN; SANDERSON, 1972; GRASDALEN, 1983; MCHUGH et al., 2001; LARSEN et al., 2003; TORRES et al., 2007; FENORADOSOA et al., 2010; PEREZ et al., 2014; JENSEN, LARSEN; ENGELSEN, 2015; EL ATOUANI et al., 2016; FERTAH et al., 2017), com o intuito de obter novas fontes de compostos bioativos naturais.

Sua estrutura é linear não-ramificada composta por duas espécies de resíduos de ácidos urônicos, o ácido β -D-manurônico (M) e o seu epímero no C5 o α -L-gulurônico (G) unidos por ligações do tipo (1 \rightarrow 4). Esses resíduos são agrupados na forma de bloco de ácido gulurônico (G) ou ácido manurônico (M) que podem ser compostos por blocos homopoliméricos (GG ou MM) junto com blocos alternados (MG) na mesma molécula, o que determina as propriedades do ácido algínico (DRAGET, SMIDSRØD; SKJÅK-BRÆK, 2005) (Figura 1).

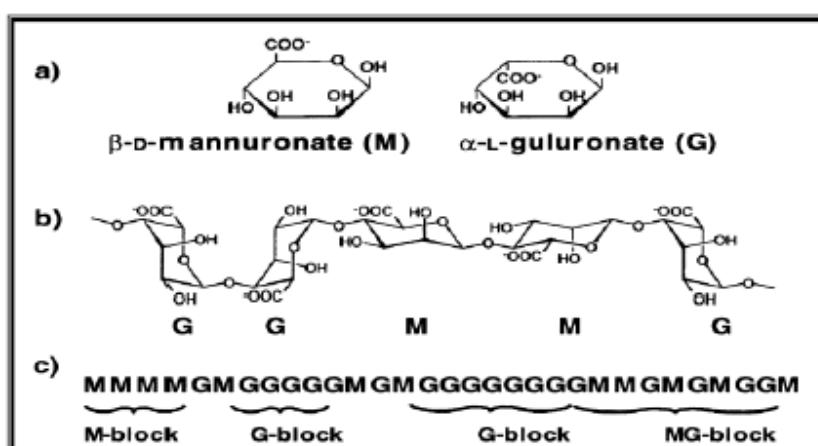


Figura 1. Características estruturais dos alginatos. a) monossacarídeos dos alginatos, b) conformação da cadeia e c) distribuição dos blocos (Draget, Smidsrød e Skjåk-bræk, 2005).

A coloração marrom original desse biopolímero extraído de algas pardas pode causar rejeição e insatisfação do mercado consumidor. Portanto, com o intuito de melhorar esta qualidade sensorial, é necessária a aplicação de agentes branqueadores, sendo o hipoclorito de sódio mais comumente utilizado nesta etapa. Entretanto, nos últimos anos, a utilização de hipoclorito e demais sais de cloro tem sido motivo de preocupação, pois esses compostos são considerados precursores na formação de cloraminas orgânicas, que são prejudiciais à saúde, devido ao alto potencial carcinogênico (MCNEAL et al., 1995; OLMEZ; KRETZSCHMAR, 2009). Assim, na busca por um agente clarificante mais sustentável, o gás ozônio (O₃) tem mostrado grande potencial de aplicabilidade, já que tem sido utilizado para descolorir corantes (KHADHRAOUI et al., 2009; SANTANA et al., 2009; TREVIZANI, 2015; TORO, 2016) e no branqueamento do caldo de cana na indústria sucroalcooleira (FONSECA, 2017). Segundo os estudos de Lazarova et al. (1999), os custos operacionais e de investimento para aplicação de ozonização superam os de cloração, em contrapartida, a ozonização oferece maior segurança e menor produção de resíduos tóxicos e subprodutos. Desta forma, a utilização do ozônio vai ao encontro dos propósitos da biotecnologia branca na busca de um processo que concorra com tecnologias clássicas, apresentando processos mais ecologicamente corretos (KAFARSKI, 2011). Além disso, esse composto é considerado como GRAS (*General Recognized As Safe*), pela *Food and Drug Administration* (FDA) desde a década de 90 (BOTELHO et al., 2011), possibilitando a aplicação direta em produtos alimentícios.

O ozônio é uma molécula formada por três átomos de oxigênio cuja estrutura e configuração eletrônica conferem uma alta reatividade (KHANDEGAR; SAROHA, 2013). A aplicação de ozônio oferece vantagens como degradação rápida a oxigênio e, após reagir com compostos orgânicos, seus subprodutos não são prejudiciais à saúde humana (PASCUAL et al., 2007).

Trabalhos avaliando a influência da aplicação de ozônio como agente clareador sobre o alginato são inexistentes, assim como são escassos estudos envolvendo macroalgas coletadas na costa marítima brasileira. Deste modo, o objetivo geral do presente estudo foi verificar o efeito da utilização do ozônio no clareamento do alginato de sódio extraído de algas pardas coletadas no litoral brasileiro. O trabalho foi dividido em dois capítulos, onde o Capítulo 1 visou a otimização, utilizando a análise de superfície de resposta, dos parâmetros de clareamento, utilizando ozônio como agente branqueador, de alginato de sódio proveniente da alga *Sargassum* spp., Enquanto que no Capítulo 2 foi

estudada a influência da ozonização sob a atividade antioxidante do alginato, obtido a partir das condições otimizadas de clareamento (Capítulo 1), visto que há uma vasta e potencial aplicação deste polissacarídeo em diferentes segmentos industriais, onde a cor tem grande impacto na qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATLAS OF ECONOMIC COMPLEXITY. “Where did Brazil import alginic acid from in 2016?” 2019. Disponível em: <http://atlas.cid.harvard.edu/explore/?country=32&partner=undefined&product=6680&productClass=HS&startYear=undefined&target=Product&tradeDirection=import&year=2016>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- BOTELHO, S. S., DE MELLO LUVIELMO, M., CURTINOVI GEYER, M.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, 2011.
- DRAGET, K. I.; SMIDSRØD, O.; SKJÅK-BRÆK, G. Alginates from algae. **Biopolymers Online: Biology• Chemistry• Biotechnology• Applications**, v. 6, 2005.
- EL ATOUANI, S., BENTISS, F., REANI, A., ZRID, R., BELATTMANIA, Z., PEREIRA, L., MORTADI, A., CHERKAOUI, O. & SABOUR, B. The invasive brown seaweed *Sargassum muticum* as new resource for alginate in Morocco: Spectroscopic and rheological characterization. **Phycological Research**, v. 64, n. 3, p. 185-193, 2016.
- FENORADOSOA, T. A., ALI, G., DELATTRE, C., LAROCHE, C., PETIT, E., WADOUACHI, A.; MICHAUD, P. Extraction and characterization of an alginate from the brown seaweed *Sargassum turbinarioides* Grunow. **Journal of applied phycology**, v. 22, n. 2, p. 131-137, 2010.
- FERTAH, M., BELFKIRA, A., TAOURIRTE, M.; BROUILLETTE, F. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S3707-S3714, 2017.
- FLEITA, D.; EL-SAYED, M.; RIFAAT, D. Evaluation of the antioxidant activity of enzymatically-hydrolyzed sulfated polysaccharides extracted from red algae; *Pterocladia capillacea*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 1236-1244, 2015.
- FONSECA, C. R. **Ozonização: uma alternativa para clarificação do caldo de cana-de-açúcar**. Dissertação (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- GAVRILESCU, M.; CHISTI, Y. Biotechnology—a sustainable alternative for chemical industry. **Biotechnology advances**, v. 23, n. 7-8, p. 471-499, 2005.
- GRASDALEN, H. High-field, ¹H-nmr spectroscopy of alginate: sequential structure and linkage conformations. **Carbohydrate Research**, v. 118, p. 255-260, 1983.
- HAUGAN, J. A. Algal carotenoids 54. Carotenoids of brown algae (Phaeophyceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 22, n. 1, p. 31-41, 1994.

JENSEN, H. M.; LARSEN, F. H.; ENGELSEN, S. B. Characterization of alginates by nuclear magnetic resonance (NMR) and vibrational spectroscopy (IR, NIR, Raman) in combination with chemometrics. **Natural Products From Marine Algae**. Humana Press, New York, NY, p. 347-363, 2015.

KAFARSKI P.: Biała biotechnologia. W książce **Misja nauk chemicznych**. Ed. B. Marciniak, Wydawnictwo Nauka i Innowacje, Poznań 2011.

KAFARSKI, P. Rainbow code of biotechnology. **Chemik**, v. 66, n. 8, p. 811-6, 2012.

KHADHRAOUI, M., TRABELSI, H., KSIBI, M., BOUGUERRA, S.; ELLEUCH, B. Discoloration and detoxification of a Congo red dye solution by means of ozone treatment for a possible water reuse. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, n. 2-3, p. 974-981, 2009.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent—A review. **Journal of environmental management**, v. 128, p. 949-963, 2013.

LARSEN, B., SALEM, D. M. S. A., SALLAM, M. A. E., MISHRIKEY, M. M., BELTAGY, A. I. Characterization of the alginates from algae harvested at the Egyptian Red Seacoast. **Carbohydrate Research**, v. 338, p. 2325–2336, 2003.

LAZAROVA, V.; SAVOYE, P.; JANEX, M. Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. **Water Science Technology**, London, v. 40, n. 4-5, p. 201-213, 1999

LORBEER, A. J., LAHNSTEIN, J., BULONE, V., NGUYEN, T.; ZHANG, W. Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoidan and alginate. **Bioresource technology**, v. 197, p. 302-309, 2015.

MCHUGH, D. J., HERNÁNDEZ-CARMONA, G., ARVIZU-HIGUERA, D. L., & RODRÍGUEZ-MONTESINOS, Y. E. Pilot plant scale extraction of alginates from *Macrocystis pyrifera* 3. Precipitation, bleaching and conversion of calcium alginate to alginic acid. **Journal of applied phycology**, v. 13, n. 6, p. 471-479, 2001.

MCHUGH, D. J. A guide to the seaweed industry. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2003.

MCNEAL, T. P.; HOLLIFIELD, H. C.; DIACHENKO, G. W. Survey of trihalomethanes and other volatile chemical contaminants in processed foods by purge-and-trap capillary gas chromatography with mass selective detection. **Journal of the Association of Official Analytical Chemistry International**, v. 78, n. 2, p. 391-397, 1995.

ÖLMEZ, H.; KRETZSCHMAR, U. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 686-693, 2009.

O'SULLIVAN, L., MURPHY, B., MCLOUGHLIN, P., DUGGAN, P., LAWLOR, P. G., HUGHES, H.; GARDINER, G. E. Prebiotics from marine macroalgae for human and animal health applications. **Marine drugs**, v. 8, n. 7, p. 2038-2064, 2010.

PASCUAL, A.; LLORCA, L; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p. S29-S35, 2007.

PENMAN, A.; SANDERSON, G. R. A method for the determination of uronic acid sequence in alginates. **Carbohydrate Research**, v. 25, n. 2, p. 273-282, 1972.

PEREZ, R. A.; KIM, M.; KIM, T. H.; KIM, J. H.; LEE, J. H.; PARK, J. H.; KNOWLES, J. C.; KIM, H. W. Utilizing core-shell fibrous collagen-alginate hydrogel cell delivery system for bone tissue engineering. **Tissue engineering: Part A**, v. 20, n.1-2, p. 103-114, 2014.

RAYMUNDO, M. S.; HORTA, P.; FETT, R. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, n. 4, p. 495-503, 2004.

ROBIC, A., GAILLARD, C., SASSI, J. F., LERAT, Y.; LAHAYE, M. Ultrastructure of ulvan: a polysaccharide from green seaweeds. **Biopolymers: Original Research on Biomolecules**, v. 91, n. 8, p. 652-664, 2009.

ROCHA, F. D., PEREIRA, R. C., KAPLAN, M. A. C.; TEIXEIRA, V. L. Produtos naturais de algas marinhas e seu potencial antioxidante. **Revista Brasileira Farmacognosia**, v. 17, p. 631-639, 2007.

SANTANA, M. H., DA SILVA, L. M., FREITAS, A. C., BOODTS, J. F., FERNANDES, K. C.; DE FARIA, L. A. Application of electrochemically generated ozone to the discoloration and degradation of solutions containing the dye Reactive Orange 122. **Journal of Hazardous materials**, v. 164, n. 1, p. 10-17, 2009.

TORO, C. A. T. **Estudo da descoloração do corante alimentício amarelo crepúsculo por meio da ozonização (Catalítica)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

TORRES, M. R.; SOUSA, A. P. A.; SILVA FILHO, E. A. T.; MELO, D. F., FEITOSA, J. P. A.; DE PAULA, R. C. M.; LIMA, M. G. S. Extraction and physicochemical characterization of Sargassum vulgare alginate from Brazil. **Carbohydrate Research**, v.342, p.2067-2074, 2007.

TREVIZANI, J. L. B. **Descoloração e degradação do azo corante vermelho BR por ozonização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

4. Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que o ozônio é um agente clarificante promissor para ser utilizado no clareamento de alginato de sódio. Apesar de sua aplicação ter diminuído a massa molar e as viscosidades intrínseca e dinâmica em relação a amostra controle, os resultados de cor (porcentagem de transmitância e índice de luminosidade) mostraram sua eficiência quanto agente clarificante, originando pós claros. Por ser um estudo pioneiro no uso de ozônio no clareamento de solução de alginato de sódio, esses dados podem embasar mais estudos na área, além de serem importantes para o direcionamento da aplicabilidade dos alginatos tratados. A partir da metodologia de superfície de resposta (RSM), pode-se concluir que o tempo foi a variável dependente que exerceu a maior influência nas respostas, seguido da temperatura. A variação do fluxo de oxigênio demonstrou pouca influência nas respostas. Os resultados da RSM, obtidas a partir do delineamento Box-Behnken (BBD) foram adequados para obter as condições otimizadas do processo de clareamento do alginato de sódio extraído da macroalga do gênero *Sargassum*. O alginato de sódio clareado nas condições otimizadas apresentou capacidade antioxidante maior que a amostra comercial, indicando que o processo de clareamento por ozonização foi menos prejudicial aos compostos bioativos. Além disso, os antioxidantes naturais presentes no alginato de sódio aqui estudado podem agregar valor aos produtos que utilizam esse composto em preparações alimentícias.

Referências

- Alothman, M., Kaur, B., Fazilah, A., Bhat, R., & Karim, A. A. (2010). Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(4), 666-671. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.08.008>
- Andriamanantoanina, H., & Rinaudo, M. (2010). Characterization of the alginates from five madagascan brown algae. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 555-560. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.002>
- Arvizu, D. L., Rodríguez, Y. E., Hernández, G., & Murillo, J. I. (2007). Constituyentes químicos de *Eisenia arborea* Areschoug de Baja California Sur, México. *Investigaciones marinas*, 35(2), 63-69. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782007000200007>
- ASTM International. 2010. ASTM F2259-10. Standard test method for determining the chemical composition and sequence in alginate by proton nuclear magnetic resonance (¹H NMR) spectroscopy. ASTM International, West Conshohocken, Penn., USA. Available from <http://www.astm.org/Standards/F2259.htm>.
- ATLAS OF ECONOMIC COMPLEXITY. "Where did Brazil import alginic acid from in 2016?" 2019. Disponível em: <http://atlas.cid.harvard.edu/explore/?country=32&partner=undefined&product=6680&productClass=HS&startYear=undefined&target=Product&tradeDirection=import&year=2016>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- Balboa, E. M., Conde, E., Moure, A., Falqué, E., & Domínguez, H. (2013). In vitro antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. *Food chemistry*, 138(2-3), 1764-1785. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.026>
- Batista, G., Charles, M. B., Mancini Filho, J., & Vidal, N. (2009). Seaweeds as sources of antioxidant phytochemicals. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 14(2), 1-18.
- Beltrán, D., Selma, M. V., Marín, A., & Gil, M. I. (2005). Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(14), 5654-5663. DOI: 10.1021/jf050359c
- Bertagnolli, C., Espindola, A. P. D., Kleinübing, S. J., Tasic, L., & da Silva, M. G. C. (2014). *Sargassum filipendula* alginate from Brazil: Seasonal influence and characteristics. *Carbohydrate polymers*, 111, 619-623. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.024>
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escalera, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
- Bidin, H., Basri, M., Radzi, S. M., Ariff, A., Rahman, R. N. Z. R. A., & Salleh, A. B. (2009). Optimization of lipase-catalyzed synthesis of palm amino acid surfactant using response surface methodology (RSM). *Industrial crops and products*, 30(2), 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.006>
- Bongiovani, R. A. M. (2008). Características reológicas do exopolissacarídeo botiosferana produzido pelo *Botryosphaeria rhodina* MAMB-05 em três fontes de carbono: glucose, frutose e sacarose.
- Borazjani, N. J., Tabarsa, M., You, S., & Rezaei, M. (2017). Effects of extraction methods on molecular characteristics, antioxidant properties and immunomodulation of alginates from *Sargassum angustifolium*. *International journal of biological macromolecules*, 101, 703-711. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.128>
- Canevarolo Jr, S. V. (2002). Ciência dos polímeros. *Artiber editora, São Paulo*, 110-115.
- Clementi, F., Mancini, M., & Moresi, M. (1998). Rheology of alginate from *Azotobacter vinelandii* in aqueous dispersions. *Journal of food engineering*, 36(1), 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00042-9)
- Cong, Q., Xiao, F., Liao, W., Dong, Q., & Ding, K. (2014). Structure and biological activities of an alginate from *Sargassum fusiforme*, and its sulfated derivative. *International journal of biological macromolecules*, 69, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.056>
- Craigie, J. S., Wen, Z. C., & Van der Meer, J. P. (1984). Interspecific, Intraspecific and Nutritionally-Determined Variations in the Composition of Agars from *Gracilaria* spp. *Botanica Marina*, 27(2), 55-62. <https://doi.org/10.1515/botm.1984.27.2.55>

- Davis, T. A., Volesky, B., & Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water research*, 37(18), 4311-4330. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00293-8)
- Davis, T. A., Ramirez, M., Mucci, A., & Larsen, B. (2004). Extraction, isolation and cadmium binding of alginate from *Sargassum* spp. *Journal of applied phycology*, 16(4), 275-284.
- Day, D. F. (1998). Alginates. In *Biopolymers from renewable resources* (pp. 119-143). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03680-8_5
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12(4), 214-219. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Draget, K. I., Smidsrød, O., & Skjåk-Bræk, G. (2005). Alginates from algae. *Biopolymers Online: Biology • Chemistry • Biotechnology • Applications*, 6.
- El Atouani, S., Bentiss, F., Reani, A., Zrid, R., Belattmania, Z., Pereira, L., Mortadi, A., Cherkaoui, O. & Sabour, B. (2016). The invasive brown seaweed *Sargassum muticum* as new resource for alginate in Morocco: Spectroscopic and rheological characterization. *Phycological Research*, 64(3), 185-193. <https://doi.org/10.1111/pre.12135>
- Fenoradosoa, T. A., Ali, G., Delattre, C., Laroche, C., Petit, E., Wadouachi, A., & Michaud, P. (2010). Extraction and characterization of an alginate from the brown seaweed *Sargassum turbinarioides* Grunow. *Journal of applied phycology*, 22(2), 131-137. <https://doi.org/10.1007/s10811-009-9432-y>
- Ferreira, S. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandao, G. C., Silva, E.G.P.; Reis, P.S; Souza, A.S.& Dos Santos, W. N. L. (2007). Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica chimica acta*, 597(2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.011>
- Filho, S. S. F., & Sakaguti, M. (2008). Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 13(2), 198-206.
- Fleita, D., El-Sayed, M., & Rifaat, D. (2015). Evaluation of the antioxidant activity of enzymatically-hydrolyzed sulfated polysaccharides extracted from red algae; *Pterocladia capillacea*. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 1236-1244. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.024>
- Fonseca, C. R. (2017). *Ozonização: uma alternativa para clarificação do caldo de cana-de-açúcar* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Gates, K. W. (2012). *Marine Polysaccharides—Food Applications*. Vazhiyil Venugopal: Boca Raton, FL, USA. CRC Press Taylor and Francis Group, 396 p. <https://doi.org/10.1080/10498850.2012.651703>
- Gomez, C. G., Lambrecht, M. V. P., Lozano, J. E., Rinaudo, M., & Villar, M. A. (2009). Influence of the extraction–purification conditions on final properties of alginates obtained from brown algae (*Macrocystis pyrifera*). *International journal of biological macromolecules*, 44(4), 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.02.005>
- Grasdalen, H., Larsen, B., & Smidsrød, O. (1979). A pmr study of the composition and sequence of uronate residues in alginates. *Carbohydrate Research*, 68(1), 23-31. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)84051-3](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)84051-3)
- Grasdalen, H. (1983). High-field, 1H-nmr spectroscopy of alginate: sequential structure and linkage conformations. *Carbohydrate Research*, 118, 255-260. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(83\)88053-7](https://doi.org/10.1016/0008-6215(83)88053-7)
- Guzel-Seydim, Z. B., Greene, A. K., & Seydim, A. C. (2004). Use of ozone in the food industry. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>
- Heo, S.-J., Park, E.-J., Lee, K.-W., & Jeon, Y.-J. (2005). Antioxidant activities of enzymatic extracts from brown seaweeds. *Bioresource Technology*, 96(14), 1613–1623. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.07.013>
- Indergaard, M., & Skjåk-Bræk, G. (1987). Characteristics of alginate from *Laminaria digitata* cultivated in a high-phosphate environment. *Hydrobiologia*, 151(1), 541-549.
- Jeong, J. Y., Jo, Y. H., Lee, K. Y., Do, S. G., Hwang, B. Y., & Lee, M. K. (2014). Optimization of pancreatic lipase inhibition by *Cudrania tricuspidata* fruits using response surface

- methodology. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 24(10), 2329-2333. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2014.03.067>
- Khadhraoui, M., Trabelsi, H., Ksibi, M., Bouguerra, S., & Elleuch, B. (2009). Discoloration and detoxification of a Congo red dye solution by means of ozone treatment for a possible water reuse. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 974-981. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.060>
- Khaled, N., Hiba, M., & Asma, C. (2012). Antioxidant and antifungal activities of *Padina pavonica* and *Sargassum vulgare* from the Lebanese Mediterranean Coast. *Advances in Environmental Biology*, 6(1), 42-48.
- Kirby, A. J., & Schmidt, R. J. (1997). The antioxidant activity of Chinese herbs for eczema and of placebo herbs—I. *Journal of ethnopharmacology*, 56(2), 103-108. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(97\)01510-9](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(97)01510-9)
- Koleva, I. I., Van Beek, T. A., Linssen, J. P., Groot, A. D., & Evstatieva, L. N. (2002). Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 13(1), 8-17. <https://doi.org/10.1002/pca.611>
- Kokini, J. L., & Surmay, K. (1994). Steady shear viscosity first normal stress difference and recoverable strain in carboxymethyl cellulose, sodium alginate and guar gum. *Carbohydrate polymers*, 23(1), 27-33. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(94\)90087-6](https://doi.org/10.1016/0144-8617(94)90087-6)
- Kuliscic, T., Radonic, A., Katalinic, V., & Milos, M. (2004). Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. *Food chemistry*, 85(4), 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.024>
- Larsen, B., Salem, D. M., Sallam, M. A., Mishrikey, M. M., & Beltagy, A. I. (2003). Characterization of the alginates from algae harvested at the Egyptian Red Sea coast. *Carbohydrate research*, 338(22), 2325-2336. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(03\)00378-1](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(03)00378-1)
- Lee, J. W., Mo, E. J., Choi, J. E., Jo, Y. H., Jang, H., Jeong, J. Y., Jin, Q., Chung, H. N., Hwang, B. Y. & Lee, M. K. (2016). Effect of Korean Red Ginseng extraction conditions on antioxidant activity, extraction yield, and ginsenoside Rg1 and phenolic content: optimization using response surface methodology. *Journal of ginseng research*, 40(3), 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2015.08.001>
- Lima, A. M. F. (2006). Estudo de propriedades físico-químicas de alginato de sódio, pectina e blendas em solução e no estado sólido com aplicação em sistema de liberação de fármacos.
- Liu, Y., Wang, J., Zheng, Y., & Wang, A. (2012). Adsorption of methylene blue by kapok fiber treated by sodium chlorite optimized with response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 184, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.049>
- Lorbeer, A. J., Lahnstein, J., Bulone, V., Nguyen, T., & Zhang, W. (2015). Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoxanthin and alginate. *Bioresource technology*, 197, 302-309. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.103>
- Luo, H. Y., Wang, B., Yu, C. G., & Su, C. L. (2010). Evaluation of antioxidant activities of five selected brown seaweeds from China. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(23), 2557-2565. <https://doi.org/10.5897/JMPR10.609>
- Mairh, O. P. (1982). Seasonal variation in alginic acid and viscosity of sodium alginate from a brown alga, *Cystoseira indica* (Thivy et. Doshi) Mairh, from Port Okha. *Seaweed Research and Utilisation*, 5, 43-46.
- Mancini, M., Moresi, M., & Sappino, F. (1996). Rheological behaviour of aqueous dispersions of algal sodium alginates. *Journal of Food Engineering*, 28(3-4), 283-295. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00068-2](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00068-2)
- McHugh, D. J., Hernández-Carmona, G., Arvizu-Higuera, D. L., & Rodríguez-Montesinos, Y. E. (2001). Pilot plant scale extraction of alginates from *Macrocystis pyrifera* 3. Precipitation, bleaching and conversion of calcium alginate to alginic acid. *Journal of applied phycology*, 13(6), 471-479.
- McNeal, T. P., Hollifield, H. C., & Diachenko, G. W. (1995). Survey of trihalomethanes and other volatile chemical contaminants in processed foods by purge-and-trap capillary gas

- chromatography with mass selective detection. *Journal of AOAC International*, 78(2), 391-397.
- Molyneux P (2004) The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *J Sci Technol* 26:211–219.
- Moore, D. S. (2010). *The basic practice of statistics*. Palgrave Macmillan.
- Murillo-Álvarez, J. I., & Hernández-Carmona, G. (2007). Monomer composition and sequence of sodium alginate extracted at pilot plant scale from three commercially important seaweeds from Mexico. *Journal of applied phycology*, 19(5), 545-548. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9168-5>
- Nishide, E., Anzai, H., & Uchida, N. (1987). A comparative investigation on the water-soluble and the alkali-soluble alginates from various Japanese brown algae [Phaeophyceae]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan)*.
- Nogueira, M. T. (2017). Extração e caracterização de alginato de sódio da macroalga *Sargassum cymosum* C. Agardh.
- O'Donnell, C., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., & Rice, R. G. (Eds.). (2012). *Ozone in food processing*. John Wiley & Sons.
- Ölmez, H., & Kretzschmar, U. (2009). Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT-Food Science and Technology*, 42(3), 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.001>
- Pascual, A., Llorca, I., & Canut, A. (2007). Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in food science & technology*, 18, S29-S35. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.tifs.2006.10.006>
- Patra, J. K., Rath, S. K., Jena, K., Rathod, V. K., & Thatoi, H. (2008). Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of seaweed (*Sargassum* sp.) extract: A study on inhibition of Glutathione-S-transferase activity. *Turkish Journal of Biology*, 32(2), 119–125.
- Penman, A., & Sanderson, G. R. (1972). A method for the determination of uronic acid sequence in alginates. *Carbohydrate Research*, 25(2), 273-282. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)81637-7](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)81637-7)
- Perez, R. A., Kim, M., Kim, T. H., Kim, J. H., Lee, J. H., Park, J. H., Knowles, J.C. & Kim, H. W. (2013). Utilizing core-shell fibrous collagen-alginate hydrogel cell delivery system for bone tissue engineering. *Tissue Engineering Part A*, 20(1-2), 103-114. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2013.0198>
- Prabhakar, K. R., Veeresh, V. P., Vipani, K., Sudheer, M., Priyadarsini, K. I., Satish, R. B. S. S., & Unnikrishnan, M. K. (2006). Bioactivity-guided fractionation of *Coronopus didymus*: A free radical scavenging perspective. *Phytomedicine*, 13(8), 591-595. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2005.07.003>
- Rahelivao, M. P., Andriamanantoanina, H., Heyraud, A., & Rinaudo, M. (2013). Structure and properties of three alginates from Madagascar seacoast algae. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 143-146. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.005>
- Raymundo, M.S., Horta, P., & Fett, R. (2004). Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (Chlorophyta) do litoral catarinense (Brasil). *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 40(4), 495-503.
- Rhein-Knudsen, N., Ale, M. T., Ajalloueiian, F., & Meyer, A. S. (2017). Characterization of alginates from Ghanaian brown seaweeds: *Sargassum* spp. and *Padina* spp. *Food Hydrocolloids*, 71, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.016>
- Rocha, F. D., Pereira, R. C., Kaplan, M. A. C., & Teixeira, V. L. (2007). Produtos naturais de algas marinhas e seu potencial antioxidante. *Rev Bras Farmacogn*, 17, 631-639. DOI: 10.1590/S0102-695X2007000400024
- Rodoni, L., Casadei, N., Concellón, A., Chaves Alicia, A. R., & Vicente, A. R. (2009). Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(1), 594-599. DOI: 10.1021/jf9029145
- Santana, M. H., Da Silva, L. M., Freitas, A. C., Boodts, J. F., Fernandes, K. C., & De Faria, L. A. (2009). Application of electrochemically generated ozone to the discoloration and degradation

- of solutions containing the dye Reactive Orange 122. *Journal of Hazardous materials*, 164(1), 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.108>
- Sartori, J. A. S., Angolini, C. F. F., Eberlin, M. N., & de Aguiar, C. L. (2017). Criegee mechanism as a safe pathway of color reduction in sugarcane juice by ozonation. *Food chemistry*, 225, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.028>
- Schramm, G. (2006). *Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos*. Artliber Ed.
- Schweiger, R. G. (1962). Acetylation of alginic acid. II. Reaction of algin acetates with calcium and other divalent ions. *The Journal of Organic Chemistry*, 27(5), 1789-1791. 10.1021/jo01052a073
- Sellimi, S., Younes, I., Ayed, H. B., Maalej, H., Montero, V., Rinaudo, M., ... & Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International journal of biological macromolecules*, 72, 1358-1367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016>
- Silva, W. S., Sartori, J. A., & Aguiar, C. L. (2015). Combination effect of ozone and heat treatment for the color reduction in sugarcane juice. *Chem Process Eng Res*, 35, 75.
- Sousa, A. M., Alves, V. D., Morais, S., Delerue-Matos, C., & Gonçalves, M. P. (2010). Agar extraction from integrated multitrophic aquacultured *Gracilaria vermiculophylla*: evaluation of a microwave-assisted process using response surface methodology. *Bioresour technol*, 101(9), 3258-3267. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.061>
- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C. P., & Cullen, P. J. (2008). Modelling colour degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 553-560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.021>
- Tiwari, B. K., O'donnell, C. P., Muthukumarappan, K., & Cullen, P. J. (2009). Anthocyanin and colour degradation in ozone treated blackberry juice. *Innovative food science & emerging technologies*, 10(1), 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.08.002>
- Torres, M. R., Sousa, A. P., Silva Filho, E. A., Melo, D. F., Feitosa, J. P., de Paula, R. C., & Lima, M. G. (2007). Extraction and physicochemical characterization of *Sargassum vulgare* alginate from Brazil. *Carbohydrate research*, 342(14), 2067-2074. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2007.05.022>
- Toro, C. A. T. (2016). Estudo da descoloração do corante alimentício amarelo crepúsculo por meio da ozonização (Catalítica).
- Tosik, R., & Wiktorowski, S. (2001). Color removal and improvement of biodegradability of wastewater from dyes production using ozone and hydrogen peroxide. *Ozone Science and Engineering*, 23(4), 295-302. <https://doi.org/10.1080/01919510108962012>
- Turhan, K., Durukan, I., Ozturkcan, S. A., & Turgut, Z. (2012). Decolorization of textile basic dye in aqueous solution by ozone. *Dyes and Pigments*, 92(3), 897-901. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.07.012>
- Wangenstein, H., Samuelsen, A. B., & Malterud, K. E. (2004). Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food chemistry*, 88(2), 293-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.047>
- Yanaki, T., & Yamaguchi, T. (1990). Temporary network formation of hyaluronate under a physiological condition. 1. Molecular-weight dependence. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 30(3-4), 415-425. <https://doi.org/10.1002/bip.360300319>
- Yeoh, W. K., Ali, A., & Forney, C. F. (2014). Effects of ozone on major antioxidants and microbial populations of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 56-58. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.006>