

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz'**

**Microencapsulação do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia  
sidoides*): atividade antifúngica *in vitro* e sua influência sobre a  
vida útil de fatias de pão sem glúten**

**Juliana Scabello Prando Zambianco**

Dissertação apresentada para a obtenção do título  
de Mestra em Ciências. Área de concentração:  
Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba  
2020**

**Juliana Scabello Prando Zambianco**  
**Bacharel em Ciências dos Alimentos**

**Microencapsulação do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides*):  
atividade antifúngica *in vitro* e sua influência sobre a vida útil de fatias de pão  
sem glúten**

Orientadora:  
Prof. Dra. **THAIS MARIA FERREIRA DE SOUZA VIEIRA**

Dissertação apresentada para a obtenção do título  
de Mestra em Ciências. Área de concentração:  
Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba**  
**2020**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Zambianco, Juliana Scabello Prando

Microencapsulação do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides*):  
atividade antifúngica *in vitro* e sua influência sobre a vida útil de fatias de pão  
sem glúten / Juliana Scabello Prando Zambianco. - - Piracicaba, 2020.

77 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de  
Queiroz”.

1. *Lippia sidoides* 2. *Aspergillus niger* 3. Conservantes naturais 4. Spray  
drying 5. Exposição aos voláteis I. Título

## RESUMO

### **Microencapsulação do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides*): atividade antifúngica *in vitro* e sua influência sobre a vida útil de fatias de pão sem glúten**

A demanda por alimentos naturais tem despertado o interesse por parte das indústrias em repensar formulações de alimentos já existentes no mercado. Na indústria de panificação, os maiores desafios são a deterioração por bolores e a busca por alternativas naturais ao uso de conservantes sintéticos. Estudos recentes têm demonstrado resultados positivos com a utilização de óleos essenciais na ação antifúngica de espécies deteriorantes em pães. Nota-se ainda que a utilização de óleos essenciais encapsulados e por difusão dos voláteis nas embalagens pode ser uma interessante saída para a conservação dos compostos bioativos presentes nos óleos, minimizando sua influência nas propriedades organolépticas de pães. O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial antifúngico do óleo essencial de alecrim pimenta (*Lippia sidoides*) microencapsulado e sua influência sobre a vida útil de pães, através da liberação de seus compostos voláteis dentro das embalagens. O processo de microencapsulação por *spray drying* ocorreu utilizando-se diferentes materiais de parede (goma arábica e maltodextrina:amido modificado) e posteriormente obteve-se a caracterização das micropartículas. Ainda, a composição química do óleo essencial livre e do recuperado das micropartículas foi obtida por cromatografia gasosa (CG/MS e CG/FID). Foram realizados testes *in vitro* por diluição em ágar e exposição aos voláteis do óleo essencial e encapsulado, de modo a determinar a concentração inibitória mínima (CIM) frente à espécie *A. niger*, previamente isolada e identificada. A ocorrência de crescimento fúngico em fatias de pão, expostas aos voláteis do óleo essencial e das micropartículas, também foi verificada. Ao final, uma análise sensorial dos pães foi realizada, a fim de verificar a influência dos compostos bioativos sobre as propriedades organolépticas dos pães avaliados. A atividade antifúngica *in vitro* avaliada por diluição em ágar mostrou que o óleo essencial apresentou resultados inferiores à exposição aos voláteis, o que é supostamente explicado pela baixa diluição do óleo no meio de cultura. Em contrapartida, no método de exposição aos voláteis as micropartículas do óleo essencial de *L. sidoides* apresentaram efeito inibitório *in vitro* superior ao encontrado no óleo essencial livre. Não houve efeito significativo do material de parede sobre a composição química do óleo essencial. Quando aplicadas nas embalagens de pão, as micropartículas apresentaram efeito inibitório inferior ao óleo essencial livre. No entanto, as micropartículas apresentaram menor impacto sensorial quando comparado ao óleo livre, indicando que a estratégia de encapsulação pode ser promissora. Com estudos futuros de otimização do material encapsulado quanto à formulação (quantidade de óleo, material de parede, estudo de liberação dos compostos na embalagem) pode-se obter um material eficiente na preservação do produto.

Palavras-chave: *Lippia sidoides*, *Aspergillus niger*, Conservantes naturais, Spray drying, Exposição aos voláteis

## ABSTRACT

### **Microencapsulation of rosemary pepper (*Lippia sidoides*) essential oil: *in vitro* antifungal activity and its influence on the shelf life of gluten-free bread slices**

The demand for natural and sustainable foods has sparked the interest on the part of the industries in rethinking food formulations already existing in the market. In the bakery industry, one of the current challenges is directly related to the mold deterioration. In view of these reports, the current challenge for the bakery industry is to find ways to replace synthetic preservatives with natural conservation alternatives. Recent studies have shown positive results with the use of essential oils in the antifungal activity against deteriorating species in breads. It is also noted that the use of encapsulated essential oils and by diffusion of volatile compounds in packaging can be an interesting way to preserve the bioactive compounds present in the oils and also to minimize their interference in the organoleptic properties of breads. The present study has as main objective to evaluate the antifungal potential of the microencapsulated *Lippia sidoides* essential oil and its influence on the shelf life of breads, through the release of its volatile compounds inside the packages. The microencapsulation process by spray drying took place using different wall materials (gum arabic and maltodextrin: modified starch), and subsequently the characterization of the microparticles was obtained. Also, the chemical composition of the free essential oil and the oil recovered from the microparticles was obtained by gas chromatography (CG / MS and CG / FID). *In vitro* tests were performed by agar dilution and exposure to volatiles of the essential oil and its microparticles, in order to determine the minimum inhibitory concentration (MIC) against the species *A. niger*, previously isolated and identified. The occurrence of fungal growth in slices of bread, exposed to the volatiles of essential oil and microparticles, was also verified. At the end, a sensory analysis of the bread was performed in order to verify the influence of bioactive compounds on the organoleptic properties of the breads evaluated. The *in vitro* antifungal activity evaluated by agar dilution showed that the essential oil presented lower results than those observed for volatile exposure, which is supposedly explained by the low dilution of the oil in the culture medium. On the other hand, in the method of exposure to volatiles, the microparticles had an inhibitory effect *in vitro* superior to that found in the free essential oil. There was no significant difference between the chemical composition of the evaluated wall materials, and both had a similar composition compared to the free essential oil. When applied to bread packaging, microparticles showed only a slight inhibitory effect, while treatment with free essential oil showed greater antifungal activity. Despite the lower performance of microencapsulated oil in growth inhibition, it had less sensory impact on bread when compared to free oil, indicating that the encapsulation strategy can be promising for bread preservation. With further studies of optimization of the encapsulated material in terms of formulation (quantity of oil, wall material, study of the release of the compounds in the packaging), an efficient material for the preservation of the product can be obtained.

**Keywords:** *Lippia sidoides*, *Aspergillus niger*, Natural preservatives, Spray drying, Volatile exposure

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Têm-se observado evidências de que a população, cada vez mais, vem buscado consumir alimentos de qualidade, procurando por aqueles com apelo saudável e natural. Esses consumidores esperam ainda que a qualidade do alimento seja mantida no intervalo de tempo entre a compra e o consumo do produto adquirido. Tais exigências não remetem somente ao conceito de alimento seguro, mas também à necessidade de minimizar alterações indesejáveis em quesitos sensoriais (KILCAST & SUBRAMANIAM, 2000).

Essas observações revelam que há um nicho de mercado com potencial a ser explorado, considerando algumas das características apontadas como tendências do segmento de alimentos e bebidas. De acordo com dados divulgados pela Mintel (2017), empresa privada de pesquisa de mercado responsável pela divulgação de informações referentes ao mercado, destacam-se os seis seguintes tópicos como tendências globais em alimentos e bebidas nos últimos anos: (i) a valorização das receitas tradicionais em formulações, (ii) a valorização do tempo através da praticidade, (iii) a procura por alimentos funcionais no período noturno com apelo calmante, (iv) alimentos saudáveis com preços acessíveis a todas as classes econômicas, (v) produtos sustentáveis que evitem o desperdício de alimentos e por fim (vi) a valorização de ingredientes e alimentos naturais (à base de plantas).

Pesquisas têm relatado a valorização e o aumento do consumo de produtos “*clean label*” (*trad.* etiqueta limpa), cujo termo, de acordo com revisão realizada por Asioli et al. (2017), pode ser entendido a partir de três conceitos: (i) em relação ao cultivo e ao manejo do alimento e à importância dos orgânicos, (ii) em como o alimento foi produzido, tendo nessa categoria como pontos negativos o uso de conservantes, aromas e corantes artificiais e pontos positivos o uso de ingredientes naturais e por fim (iii) em relação aos benefícios que o produto final carrega consigo, em termos de sabor, saudabilidade e consciência ambiental.

Frente a tais desafios, nota-se a preocupação da indústria de alimentos em se manter atualizada e se situar dentro desse terreno de tendências de mercado, buscando alternativas através de pesquisas – tanto em desenvolvimento de novos produtos quanto em adaptação de produtos existentes –, que ao mesmo tempo não comprometam seu padrão de identidade e qualidade e ainda, seu *shelf life*.

Na indústria de panificação, as principais inovações desenvolvidas nos últimos anos se deram no âmbito da melhora do aporte nutricional de produtos a base de cereais, através da adição de ingredientes funcionais que possam reduzir o risco de desenvolvimento de doenças crônicas (ESWARAN, MUIR & CHEY, 2013). Em paralelo, a deterioração por agentes microbianos sempre foi um grande desafio nesse setor, sendo a principal causa das

limitações de extensão do *shelf life* desses produtos (MARÍN et al., 2002). Tal fator limitante de qualidade é também a principal causa de desperdício e perdas econômicas na indústria de panificação (SOSNA, BRUNCLIKOVA & GALETA, 2019).

A fim de contornar problemas de contaminação e deterioração por agentes microbianos em pães, a indústria tem feito uso constante e demasiado de conservantes sintéticos como o ácido sórbico e propiônico (YAO & XU, 2014). Contudo, sabe-se que há uma maior conscientização por parte dos consumidores sobre os riscos e benefícios provenientes do uso de aditivos químicos e ainda, uma maior demanda por ingredientes naturais (BEARTH, COUSIN & SIEGRIST, 2014; CAROCHO, MORALES & FERREIRA, 2015). Derivados de plantas, como os extratos vegetais e óleos essenciais, assim como a quitosana, lactoferrina, bactérias do ácido láctico e leveduras antagonicas, têm cada vez mais se tornado relevantes alternativas para prevenção e controle da deterioração fúngica em alimentos. Tal afirmação é pautada no fato de que as substâncias bioativas possuem numerosos mecanismos de ação já elucidados e se destacam como possíveis substitutos dos conservantes sintéticos (RIBES, FUENTES, TALENS & BARAT, 2017).

Frente a esse cenário, os óleos essenciais demonstram ser uma interessante alternativa ao uso de conservantes sintéticos em alimentos. Estudos já realizados com óleos essenciais demonstram resultados positivos em relação às inibições de micro-organismos patogênicos e deteriorantes em alimentos. Dentre essa categoria, encontra-se o óleo essencial (OE) de alecrim pimenta (*L. siddoides*), rico em timol e carvacrol, importantes compostos antimicrobianos e, por esse motivo, já são utilizados tradicionalmente em soluções orais antissépticas, em produtos para aplicação em cortes cutâneos, picadas de insetos e outros tratamentos convencionais antimicrobianos (LEMOS et al., 1990; GUIMARÃES et al., 2015).

Apesar de serem potentes antimicrobianos naturais, deve-se ressaltar que o uso de óleos essenciais como conservantes ainda é limitado devido às suas características de aroma e sabor e também pelo desconhecimento de sua estabilidade durante a vida de prateleira de produtos alimentícios diversos (LAMBERT, SKANDAMIS, COOTE & NYCHAS, 2001).

Para os desafios citados referentes a alterações sensoriais e estabilidade, a encapsulação de óleos essenciais surge como alternativa promissora, pois auxilia na proteção de compostos bioativos presentes, torna menos influente o aroma e sabor dos óleos essenciais incorporados em alimentos, além de possivelmente reduzir a dose mínima necessária para sua aplicação como antimicrobiano no alimento de interesse (RÉ, 1998). Alguns estudos foram realizados a fim de verificar a atividade antimicrobiana de óleos essenciais encapsulados na indústria de panificação (OTONI et al., 2014; TEODORO et al.,

2014), contudo se faz necessária uma maior investigação desses antifúngicos naturais em pães e outros produtos do setor por diferentes aplicações.

Dessa forma, nota-se que ainda há uma grande necessidade e espaço para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à produção e conservação de produtos de panificação que mantenham suas características físico-químicas, sensoriais e nutricionais, proporcionando o máximo período de vida de prateleira, reduzindo o desperdício no mercado de panificação, perdas econômicas e atendendo ainda à demanda dos consumidores por ingredientes e formulações mais saudáveis e naturais.



## 2. CONCLUSÃO

O OE de *L. siddoides* apresentou atividade antifúngica *in vitro* frente à espécie *A. niger*, pelo método de diluição em ágar assim como pelo método de exposição aos compostos voláteis. A microencapsulação por *spray drying* do OE não alterou seu perfil químico e não comprometeu a atividade antifúngica *in vitro*, considerando ainda que as micropartículas apresentaram CIM inferior à encontrada com o OE livre. A associação de maltodextrina e amido modificado, assim como a goma arábica, apresentaram taxas semelhantes de eficiência de encapsulação e características das micropartículas, contudo o custo e a disponibilidade limitada da goma arábica foi um fator decisivo na escolha das micropartículas de maltodextrina/amido modificado para os experimentos *in vivo*. Contrariamente aos resultados encontrados nos experimentos *in vitro*, os compostos voláteis das micropartículas liberados nos recipientes com fatias de pão não foram capazes de aumentar sua vida útil, contudo uma inibição significativa do crescimento foi observada nas fatias expostas ao vapor do OE livre. As micropartículas, e principalmente o OE livre, apresentaram uma influência sensorial sobre o pão na dosagem avaliada, conferindo características de aroma relacionadas ao OE, diferenciando-se assim do aroma original de pão. Para futuros trabalhos, sugere-se uma investigação mais detalhada a respeito da liberação dos compostos voláteis do OE livre e das micropartículas nas embalagens durante o período de armazenamento dos pães. Sugere-se ainda a avaliação de outros métodos de aplicação das micropartículas do OE de *L. siddoides* em matrizes alimentares assim como a verificação de outras técnicas de encapsulação de óleos essenciais para utilização como conservantes em embalagens de pães.

## REFERÊNCIAS

- ABIMAP. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <https://abimapi.com.br/estatistica-paes-bolos.php>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2020.
- ABREU, F. O., OLIVEIRA, E. F., PAULA, H. C., & DE PAULA, R. C. Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 4, p. 1277-1282, 2012.
- ALIGIANNIS, N., KALPOUTZAKIS, E., MITAKU, S., CHINO, I. B. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two Origanum species. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.
- ALOUI, H., KHWALDIA, K., LICCIARDELLO, F., MAZZAGLIA, A., MURATORE, G., HAMDI, M. Efficacy of the combined application of chitosan and locust bean gum with different citrus essential oils to control postharvest spoilage caused by *Aspergillus flavus* in dates. **International Journal of Food Microbiology**, v. 170, p. 21–28. 2014.
- ALVIM, I. D., STEIN, M. A., KOURY, I. P., DANTAS, F. B. H., & CRUZ, C. L. D. C. V. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. **LWT-food science and technology**, v. 65, p. 689-694, 2016.
- ARANA-SÁNCHEZ, A., ESTARRÓN-ESPINOSA, M., OBLEDO-VÁZQUEZ, E. N., PADILLA-CAMBEROS, E., SILVA-VÁZQUEZ, R., & LUGO-CERVANTES, E. Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* HBK) with different composition when microencapsulated in  $\beta$ -cyclodextrin. **Letters in Applied Microbiology**, v. 50, n. 6, p. 585-590, 2010.
- ASBAHANI, A.; MILADI, K.; BADRI, W.; SALA, M.; ADDI, E.H.; CASABIANCA, H.; MOUSADIK, A.; HARTMANN, D.; JILALE, A.; RENAUD, F.N.R.; ELAISSARI, A. Essential oils: From extraction to encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 483, ed. 1–2, 2015.
- ASIOLI, D.; WITZEL-ASCHEMANN, J.; CAPUTO, V.; VECCHIO, R.; ANNUNZIATA, A.; NAES, T.; VARELA, P. Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. **Food Research International**, v. 99, Parte 1, p. 58-71, 2017.
- AXEL, C.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K. Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57:16, p. 3528-3542, 2017.

- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review, **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, ed. 2, 2008.
- BAKRY, A. M., ABBAS, S., ALI, B., MAJEED, H., ABOUELWAFI, M. Y., MOUSA, A., & LIANG, L. Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143-182, 2016.
- BATTOCHIO, J. R. et al. Sensorial Profile of Wholewheat Bread. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2006.
- BEARTH, A.; COUSIN, M.; SIEGRIST, M. The consumer's perception of artificial food additives: Influences on acceptance, risk and benefit perceptions. **Food Quality and Preference**, v. 38, p. 14-23, 2014.
- BEDOYA-SERNA, C. M.; DACANAL, G.C.; FERNANDES, A.M.; PINHO, S.C. Antifungal activity of nanoemulsions encapsulating oregano (*Origanum vulgare*) essential oil: in vitro study and application in Minas Padrão cheese. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 4, p. 929-935, 2018.
- BERTOLINI, A.C., SIANI, A.C. AND GROSSO, C.R.F. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n.2, p.780-785, 2001.
- BHANDARI, B. R., DUMOULIN, E. D., RICHARD, H. M. J., NOLEAU, I., & LEBERT, A. M. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 217-221, 1992.
- BHANDARI, B.R.; D'ARCY, B.R.; BICH, L.L.T. Lemon oil to  $\beta$ -Cyclodextrin ratio effect on the inclusion efficiency of  $\beta$ -Cyclodextrin and the retention of oil volatiles in the complex. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.1494–1499, 1998.
- BORAH, A.; PAW, M.; GOGOI, R.; LOYING, R.; SARMA, N.; MUNDA, S.; PANDEY, S. K.; LAL, M. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, anti-microbial and in-vitro cytotoxic efficacy of essential oil of *Curcuma caesia* Roxb. leaves: An endangered medicinal plant of North East India, **Industrial Crops and Products**, v. 129, 2019.
- BOTELHO, M.A. et al . Antimicrobial activity of the essential oil from *L. sidoides*, carvacrol and thymol against oral pathogens. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 40, n. 3, p. 349-356, 2007.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução - RDC nº 383, de 05 de agosto de 1999. "Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de Alimentos 7- Produtos de Panificação e Biscoitos. Diário Oficial da União, Brasília, 09 de agosto de 1999. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em: 11 de janeiro de 2020.

- BRASIL. Portaria RDC nº 263, de 23 de setembro de 2005. Aprova Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263\\_2\\_09\\_2005.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_2_09_2005.html). Acesso em: 11 de janeiro de 2020.
- BRASIL. RDC Nº 2, DE 15 DE JANEIRO DE 2007. Aprova o Regulamento Técnico sobre Aditivos Aromatizantes. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC\\_02\\_2007\\_COMP.pdf/c966caff-1c19-4a2f-87a6-05f7a09e940b](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_02_2007_COMP.pdf/c966caff-1c19-4a2f-87a6-05f7a09e940b). Acesso em: 11 de janeiro de 2020.
- BRASIL. **Monografia da espécie *L. sidoides* (Alecrim pimenta)**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. 2014.
- BRIDGES, A. N. N. E. AACC International Approved Methods of Analysis--Highlights of the 2009 Meetings of the Codex Committee for Methods of Analysis and Sampling. **Cereal Foods World (CFW)**, v. 54, n. 3, p. 136, 2009.
- BRUTTEL, Peter; SCHLINK, Regina. Water determination by Karl Fischer titration. **Metrohm monograph**, v. 8, n. 026, p. 50003, 2003.
- BURGAIN, J.; GAIANI, C.; LINDER, M.; SCHER, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications, **Journal of Food Engineering**, v. 104, ed. 4, p. 467-483, 2011.
- BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International journal of food microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.
- CAUVAIN, S.P., YOUNG, L.S. Bread Spoilage and Staling. In: Technology of Breadmaking, 2ed. Springer International Publishing, NY. 272-292. 2007.
- CABRAL, L.; PINTO, V.; PATRIARCA, A. Application of plant derived compounds to control fungal spoilage and mycotoxin production in foods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 166, ed. 1, p. 1-14, 2013.
- CARNEIRO, H. C., TONON, R. V., GROSSO, C. R., & HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 443-451, 2013.
- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I.C.F.R. Natural food additives: *Quo vadis?*. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 2, p. 284-295, 2015.
- CÍSAŘOVÁ, M.; HLEBA, L.; MEDO, J.; TANČINOVÁ, D.; MAŠKOVÁ, Z.; ČUBOŇ, J. KOVÁČIK, A.; FOLTINOVÁ, D. The in vitro and in situ effect of selected essential oils in vapour phase against bread spoilage toxicogenic aspergilli. **Food Control**, p. 107007, 2020.

- CLEMENTE, I.; AZNAR, M.; NERÍN, C.. Synergistic properties of mustard and cinnamon essential oils for the inactivation of foodborne moulds in vitro and on Spanish bread. **International journal of food microbiology**, v. 298, p. 44-50, 2019.
- CORNEA, C.P.; CIUCA, M.; VOAIDES, C.; GAGIU, V.; POP, A. Incidence of fungal contamination in a Romanian bakery: A molecular approach. **Romanian Biotechnological Letters**. v. 16, p. 5863–5871, 2011.
- COSTA, J. M. G.; BORGES, S. V.; HIJO, A. A. C. T.; SILVA, E. K.; MARQUES, G. R.; CIRILLO, M. A.; AZEVEDO, V. M. D. Matrix structure selection in the microparticles of essential oil oregano produced by spray dryer. **Journal of microencapsulation**, v. 30, n. 8, p. 717-727, 2013.
- COSTA, R.A.; CAVALCANTE, T.T.A.; MELO, C.T.V; BARROSO, D.L.A.; MELO, H.M.; CARVALHO, M.G.; JÚNIOR, F.E.A.C. Antioxidant and antibacterial activities of essential oil of *L. sidoides* against drug-resistant *Staphylococcus aureus* from food. **African Journal of Biotechnology**, v.17, p.232-238, 2018.
- DAGNAS, S.; ONNO, B.; MEMBRÉ, J. Modeling growth of three bakery product spoilage molds as a function of water activity, temperature and pH, **International Journal of Food Microbiology**, v. 186, p. 95-104, 2014.
- DE BILLERBECK, Virginia G. et al. Effects of *Cymbopogon nardus* (L.) W. Watson essential oil on the growth and morphogenesis of *Aspergillus niger*. **Canadian journal of microbiology**, v. 47, n. 1, p. 9-17, 2001.
- DEBONNE, E.; VAN BOCKSTAELE, F.; DE LEYN, I.; DEVLIEGHERE, F.; EECKHOUT, M.. Validation of in-vitro antifungal activity of thyme essential oil on *Aspergillus niger* and *Penicillium paneum* through application in par-baked wheat and sourdough bread. **LWT-Food Science and Technology**, v. 87, p. 368-378, 2018.
- DEBONNE, E.; BOCKSTAELE, F. V.; SAMAPUNDO, S.; EECKHOUT, M.; DEVLIEGHERE, F. The use of essential oils as natural antifungal preservatives in bread products, **Journal of Essential Oil Research**, v.30, Ed. 5, p. 309-318, 2018.
- DEL TORO-SÁNCHEZ, C.L., AYALA-ZAVALA, J.F., MACHI, L., SANTACRUZ, H.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Controlled release of antifungal volatiles of thyme essential oil from  $\beta$ -cyclodextrin capsules. **Journal of Inclusion Phenomena Macrocyclic Chemistry**, v. 67, p. 431–441, 2010.
- DIMA, C. & DIMA, S. Essential oils in foods: extraction, stabilization, and toxicity, **Current Opinion in Food Science**, v. 5, 2015.

- DONSÌ, F.; ANNUNZIATA, M.; SESSA, M.; FERRARI, G. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods, **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, ed. 9, p. 1908-1914, 2011.
- DOS SANTOS, C.P., DE OLIVEIRA, T.C., PINTO, J.A.O., FONTES, S.S., CRUZ, E.M.O., DE FÁTIMA, ARRIGONI-BLANK, M., INNECCO, R. Chemical diversity and influence of plant age on the essential oil from *L. sidoides* Cham. germplasm. **Industrial Crops and Products**. v. 76, p. 416–421, 2015.
- ESFANJANI, A. F.; JAFARI, S. M.. Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nano-encapsulation of phenolic compounds. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 146, p. 532-543, 2016.
- ESPINA, L.; GARCÍA-GONZALO, D.; PAGÁN, R. Impact of essential oils on the taste acceptance of tomato juice, vegetable soup, or poultry burgers. **Journal of food science**, v. 79, n. 8, p. S1575-S1583, 2014.
- ESWARAN, S., MUIR, J., & CHEY, W. D. Fiber and functional gastrointestinal disorders. **The American Journal of Gastroenterology**, v. 108, p. 718 - 727. 2013.
- Euromonitor International. 2017. Ingredients in Bread: Fresh Recipes for a Stale Industry. Disponível em: <https://blog.euromonitor.com/ingredients-bread-industry/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2020.
- FDA. Estados Unidos. Food and Drug Administration. **Code of Federal Regulations. Bakery Products**. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=136.110>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.
- FDA. **Substances Generally Recognized as Safe**. Sec. 182.20 Essential oils, oleoresins (solvent-free), and natural extractives (including distillates). Code of Federal Regulations, 21CFR182.20, Title 21, Volume 3. 2020.
- FERNANDES, L. P., TURATTI, I. C., LOPES, N. P., FERREIRA, J. C., CANDIDO, R. C., & OLIVEIRA, W. P. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of *L. sidoides* essential oil. **Drying Technology**, v. 26, n. 12, p. 1534-1542, 2008.
- FERNANDES, L. P.; CANDIDO, R. C.; OLIVEIRA, W. P. Spray drying microencapsulation of *L. sidoides* extracts in carbohydrate blends. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 3, p. 425-432, 2012.
- FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil, **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524-532, 2014.
- FERREIRA, T.P.S.; MOURÃO, D.S.C.; SANTOS, G.R.; GUIMARÃES, L.G.L.; PIRES, E.C.F.; SANTOS, W.F.; AGUIAR, R.W.S. Fungistatic activity of essential oil of *L. sidoides*

- Cham. against *Curvularia lunata*. **African Journal of Agricultural Research**. v.13, p. 704-713, 2018.
- FONTENELLE, R. O. S.; MORAIS, S. M.; BRITO, E. H. S.; KERNTOPF, M. R.; BRILHANTE, R. S. N.; CORDEIRO, R. A.; TOMÉ, A. R.; QUEIROZ, M. G. R.; NASCIMENTO, N. R. F.; SIDRIM, J. J. C.; ROCHA, M. F. G. Chemical composition, toxicological aspects and antifungal activity of essential oil from *L. sidoides* Cham., **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 59, ed. 5, p. 934–940, 2007.
- FONTES, M.G.; COSTA-CARVALHO, R.R.; COELHO, I.L.; ARAÚJO, E.R.; CARVALHO FILHO, J.L.S.; LARANJEIRA, D.; BLANK, A.F.; MELO, J.O.; ALVES, P.B. Effect of essential oils from plants of the genus *Lippia* on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. In: **III International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants and III Conference of National Institute of Science and 1198**. p. 35-40. 2012.
- FRANZ C, NOVAK J. Sources of essential oils. **Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications**, p.39-73, 2010.
- GAGNETEN, M., CORFIELD, R., MATTSON, M. G., SOZZI, A., LEIVA, G., SALVATORI, D., & SCHEBOR, C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. **Powder technology**, v. 342, p. 1008-1015, 2019.
- GHADERI-GHAHFAROKHI, M.; BARZEGAR, M.; SAHARI, M.A.; AZIZI, M.H. Nanoencapsulation approach to improve antimicrobial and antioxidant activity of thyme essential oil in beef burgers during refrigerated storage. **Food Bioprocess Technology**, ed. 9(7), p.1187-1201, 2016.
- GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., VOILLEY, A., SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food research international**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.
- GONÇALVES, N. D., DE LIMA PENA, F., SARTORATTO, A., DERLAMELINA, C., DUARTE, M. C. T., ANTUNES, A. E. C., & PRATA, A. S. Encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil used as a natural preservative in bakery product. **Food research international**, v. 96, p. 154-160, 2017.
- GUARDA, A., RUBILAR, J. F., MILTZ, J., & GALOTTO, M. J. The antimicrobial activity of microencapsulated thymol and carvacrol. **International journal of food microbiology**, v. 146, n. 2, p. 144-150, 2011.
- GUIMARAES, L.C. **Métodos de preservação de fungos potencialmente toxigênicos**. 2011. Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras. 2011.
- GUIMARÃES, L. G. L.; CARDOSO, M. G.; SOUZA, R. M.; ZACARONI, A. B.; DOS SANTOS, G. R. Óleo essencial de *L. sidoides* nativas de Minas Gerais: Composição, estruturas

- secretoras e atividade antibacteriana. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 267-275, 2014.
- GUIMARÃES, L. G. D. L., DA SILVA, M. L. M., REIS, P. C. J., COSTA, M. T. R., ALVES, L. L.. General characteristics, phytochemistry and pharmacognosy of *Lippia sidoides*. **Natural product communications**, v. 10, n. 11, p. 1934578X1501001116, 2015.
- GUTIERREZ, J., RODRIGUEZ, G., BARRY-RYAN, C., & BOURKE, P. Efficacy of plant essential oils against foodborne pathogens and spoilage bacteria associated with ready-to-eat vegetables: antimicrobial and sensory screening. **Journal of food protection**, v. 71, n. 9, p. 1846-1854, 2008.
- GUTIERREZ, J.; BARRY-RYAN, C.; BOURKE, P. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients. **International journal of food microbiology**, v. 124, n. 1, p. 91-97, 2008.
- GUTIÉRREZ, L., BATLLE, R., ANDÚJAR, S., SÁNCHEZ, C., & NERÍN, C. Evaluation of antimicrobial active packaging to increase shelf life of gluten-free sliced bread. **Packaging Technology and Science**, v. 24, n. 8, p. 485-494, 2011.
- HASHEMINEJAD, N.; KHODAIYAN, F.; SAFARI, M. Improving the antifungal activity of clove essential oil encapsulated by chitosan nanoparticles. **Food chemistry**, v. 275, p. 113-122, 2019.
- VERAS, H.N.H.; RODRIGUES, F.F.G.; COLARES, A.V.; MENEZES, I.R.A.; COUTINHO, H.D.M. BOTELHO, M.A.; COSTA, J.G.M. Synergistic antibiotic activity of volatile compounds from the essential oil of *L. sidoides* and thymol. **Fitoterapia**, v. 83, ed. 3, p. 508-512, 2012.
- HERAS-MOZOS, R.; MURIEL-GALET, V.; LÓPEZ-CARBALLO, G.; CATALÁ, R.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; GAVARA, R. Development and optimization of antifungal packaging for sliced pan loaf based on garlic as active agent and bread aroma as aroma corrector, **International Journal of Food Microbiology**, v. 290, 2019.
- JAFARI, S. M., ASSADPOOR, E., BHANDARI, B., HE, Y. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. **Food Research International**, ed. 41(2),p. 172–183. 2008.
- JAFARI, S. M., ASSADPOOR, E., HE, Y., BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, n. 7, p. 816-835, 2008.
- JANATOVA, Anezka et al. Long-term antifungal activity of volatile essential oil components released from mesoporous silica materials. **Industrial Crops and Products**, v. 67, p. 216-220, 2015.
- JU, J., XU, X., XIE, Y., GUO, Y., CHENG, Y., QIAN, H., & YAO, W. Inhibitory effects of cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods. **Food chemistry**, v. 240, p. 850-855, 2018.



- JYOTHI, N. V. N., PRASANNA, P. M., SAKARKAR, S. N., PRABHA, K. S., RAMAIAH, P. S., & SRAWAN, G. Y. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of microencapsulation**, v. 27, n. 3, p. 187-197, 2010.
- KERRY, J. P., O'GRADY, M. N.; HOGAN, S. A. Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle- based products. A review. **Meat Science**. v. 74, p.113–130. 2006.
- KILCAST, D.; SUBRAMANIAM, P. (Ed.). The stability and shelf-life of food. 2000.
- KRISCH, J., RENTSKENHAND, T., HORVÁTH, G., & VÁGVÖLGYI, C. Activity of essential oils in vapor phase against bread spoilage fungi. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 57, n. 1, p. 9-12, 2013.
- KRISHNAN, S.; BHOSALE, R.; SINGHAL, R. S. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. **Carbohydrate polymers**, v. 61, n. 1, p. 95-102, 2005.
- KURIOKASE, A.B.; SATHIREDDY, P.; PRIYA, S.P. A Review on Microcapsules. **Global Journal of Pharmacology**, v. 9, p. 28-39, 2015.
- LAMBERT, R.J.W.; SKANDAMIS, P.N.; COOTE, P.J.; NYCHAS, G.-J.E. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **Journal of Applied Microbiology**, v. 91, p. 453-462, 2001.
- LÊ, S., HUSSON, F. SensoMineR: A package for sensory data analysis. **Journal of Sensory Studies**, v. 23, n. 1, p. 14-25, 2008.
- LEE, G.; KIM, Y.; KIM, H.; BEUCHAT, L. R.; RYU, J. Antimicrobial activities of gaseous essential oils against *Listeria monocytogenes* on a laboratory medium and radish sprouts. **International journal of food microbiology**, v. 265, p. 49-54, 2018.
- LEGAN, J.D. Mould spoilage of bread: the problem and some solutions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 32, p. 33-53, 1993.
- LEMOS, T. L. G., MATOS, F. D. A., ALENCAR, J. W., CRAVEIRO, A. A., CLARK, A. M., MCCHESENEY, J. D. Antimicrobial activity of essential oils of Brazilian plants. **Phytotherapy Research**, v. 4, n. 2, p. 82-84, 1990.
- LOPEZ-MALO, A., BARRETO-VALDIVIESO, J., PALOU, E.; SAN, F. *Aspergillus flavus* growth response to cinnamon extract and sodium benzoate mixtures. **Food Control**. v.18, p.1358–1362. 2007.
- LV, F., LIANG, H., YUAN, Q., & LI, C. In vitro antimicrobial effects and mechanism of action of selected plant essential oil combinations against four food-related microorganisms. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 3057-3064, 2011.
- MAJOLO, C.; PILARSKI, F.; CHAVES, F. C. M.; BIZZO, H. R.; CHAGAS, E. C. Antimicrobial activity of some essential oils against *Streptococcus agalactiae*, an important pathogen

- for fish farming in Brazil. **Journal of Essential Oil Research**, v.30, ed.5, p.388-397, 2018.
- MANI LÓPEZ, E., VALLE VARGAS, G. P., PALOU, E., LÓPEZ MALO, A. Penicillium expansum inhibition on bread by lemongrass essential oil in vapor phase. **Journal of food protection**, v. 81, n. 3, p. 467-471, 2018.
- MANNURAMATH, M.; YENAGI, N.; ORSAT, V. Quality evaluation of little millet (*Panicum miliare*) incorporated functional bread. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 12, p. 8357-8363, 2015.
- MARCHESE, A.; ORHAN, I.E.; DAGLIA, M.; BARBIERI, R.; DI LORENZO, A.; NABAVI, S.F.; GORTZI, O.; IZADI, M.; NABAVI, S.M. Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature, **Food Chemistry**, v. 210, 2016.
- MARÍN, S., GUYNOT, M. E., NEIRA, P., BERNADO, M., SANCHIS, V., RAMOS, A. J. Risk assessment of the use of sub-optimal levels of weak-acid preservatives in the control of mould growth on bakery products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 79, n. 3, p. 203-211, 2002.
- MATOS, F.J.A.; OLIVEIRA, F. *Lippia sidoides* Cham. – Farmacognosia, química e farmacologia. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v.79, p 84-87, 1998.
- MCNAMEE, B. F.; O'RIORDA, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 11, p. 4551-4555, 1998.
- MEJÍA-GARIBAY, B.; PALOU, E.; LOPEZ-MALO, A. Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (*Brassica nigra*) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact. **Journal of food protection**, v. 78, n. 4, p. 843-848, 2015.
- MEMBRE, J. M., KUBACZKA, M., CHENE, C. Growth rate and growth-nogrowth interface of *Penicillium brevicompactum* as functions of pH and preservative acids. **Food Microbiology**, v.18, p.531-538. 2001.
- MINTEL. **Global Food & Drink Trends 2017**. Londres. 2017.
- NADJIB, B. M., AMINE, F. M., ABDELKRIM, K., FAIROUZ, S., & MAAMAR, M. Liquid and vapour phase antibacterial activity of *Eucalyptus globulus* essential oil: susceptibility of selected respiratory tract pathogens. **American Journal of Infectious Diseases**, v. 10(3), p. 105. 2014.
- NIELSEN, V.; RIOS, R. Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 60, ed. 2, p. 219-229. 2000.

- O'CONNOR-SHAW, R. E.; REYES, V. G. *In: Encyclopedia of Food Microbiology.* p. 410–416. Robinson, R. J., Batt, C. A., Patel, P. D., Eds., Academic Press, London, Reino Unido. 2000.
- OLIVEIRA, J., GLORIA, E. M., PARISI, M. C. M., BAGGIO, J. S., SILVA, P. P. M., AMBROSIO, C. M. S., SPOTO, M. H. F. Antifungal activity of essential oils associated with carboxymethylcellulose against *Colletotrichum acutatum* in strawberries. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 261-267, 2019.
- OLIVEIRA, J.; PARISI, M.C.M.; BAGGIO, J.S.; SILVA, P.P.M.; PAVIANI, B.; SPOTO, M.H.F.; GLORIA, E.M. Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose, **International Journal of Food Microbiology**, v. 292, 2019.
- OTONI, C. G.; PONTES, S. F. O.; MEDEIROS, E. A. A.; SOARES, N. F. F. Edible Films from Methylcellulose and Nanoemulsions of Clove Bud (*Syzygium aromaticum*) and Oregano (*Origanum vulgare*) Essential Oils as Shelf Life Extenders for Sliced Bread. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 62 (22), p. 5214-5219, 2014.
- OZKAN, G. FRANCO, P. MARCO, I. XIAO, J. CAPANOGLU, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications, **Food Chemistry**, v. 272, p. 494-506, 2019.
- PAGLIONE, I.S.; GALINDO, M. V.; MEDEIROS, J. A. S.; YAMASHITA, F.; ALVIM, I. D.; GROSSO, C. R. F.; SAKANAKA, L. S.; SHIRAI, M. A. Comparative study of the properties of soy protein concentrate films containing free and encapsulated oregano essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, p. 100419, 2019.
- PASSARINHO, A. T. P., DIAS, N. F., CAMILLOTO, G. P., CRUZ, R. S., OTONI, C. G., MORAES, A. R. F., & SOARES, N. D. F. F. Sliced Bread Preservation through Oregano Essential Oil-Containing Sachet. **Journal of Food Process Engineering**, v. 37, n. 1, p. 53-62, 2014.
- PEREIRA, M. C.; SOUZA, S. M. C.; CUNHA, R. L.; ANGÉLICO, C. L. Conservação de produtos de panificação pela adição de condimentos em pó. **Ciências agrotécnicas**, Lavras. Edição Especial, p.1514-1520, 2002.
- PINTO, N. D. O. F., RODRIGUES, T. H. S., PEREIRA, R. D. C. A., E SILVA, L. M. A., CÁCERES, C. A., DE AZEREDO, H. M. C., MUNIZ, C.R., BRITO, E.S. & CANUTO, K. M. Production and physico-chemical characterization of nanocapsules of the essential oil from *L. sidoides* Cham. **Industrial Crops and Products**, v. 86, p. 279-288, 2016.
- R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- RAIMUNDO, K. F.; BORTOLUCCI, W. C.; GLAMOČLIJA, J.; SOKOVIĆ, M.; GONÇALVES, J. E.; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B.; GAZIM, Z. C. Antifungal activity of *Gallesia*

- integrifolia fruit essential oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, Supplement 1, p. 229-235, 2018.
- RATTANACHAIKUNSOPON, P.; PHUMKHACHORN, P. Assessment of factors influencing antimicrobial activity of carvacrol and cymene against *Vibrio cholerae* in food. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 110, n. 5, p. 614-619, 2010.
- RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v.16, n.6, p. 1195-1236, 1998.
- RIBEIRO-SANTOS, R.; ANDRADE, M.; SANCHES-SILVA, A.. Application of encapsulated essential oils as antimicrobial agents in food packaging. **Current Opinion in Food Science**, v. 14, p. 78-84, 2017.
- RIBES, S.; FUENTES, A.; TALENS, P.; BARAT, J. M.; FERRARI, G.; DONSI, F. Influence of emulsifier type on the antifungal activity of cinnamon leaf, lemon and bergamot oil nanoemulsions against *Aspergillus niger*. **Food Control**, v. 73, Part B, p. 784-795, 2017.
- ROBLEDO, N.; VERA, P.; LÓPEZ, L.; YAZDANI-PEDRAM, M.; TAPIA, C.; ABUGOCH, L. Thymol nanoemulsions incorporated in quinoa protein/chitosan edible films; antifungal effect in cherry tomatoes. **Food chemistry**, v. 246, p. 211-219, 2018.
- ROCHA, G. A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GROSSO, C. R. F. Microencapsulation of lycopene by spray drying: characterization, stability and application of microcapsules. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 1, p. 37-42, 2012.
- ROSENKVIST, H.; HANSEN, A. The antimicrobial effect of organic acid sourdough and nisin against *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* isolated from wheat bread. **Journal of Applied Microbiology**, v. 85, p. 621-631, 1998.
- RUSSELL, J. B. Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH: Anion accumulation versus uncoupling. **Journal of Applied Bacteriology**. v. 73, p. 363–370, 1992.
- SALADINO, F., QUILES, J. M., LUCIANO, F. B., MAÑES, J., FERNÁNDEZ-FRANZÓN, M., & MECA, G. Shelf life improvement of the loaf bread using allyl, phenyl and benzyl isothiocyanates against *Aspergillus parasiticus*. **LWT-Food Science and Technology**, v. 78, p. 208-214, 2017.
- SANCHEZ-GARCIA, M. D., OCIO, M. J., GIMENEZ, E., & LAGARON, J. M. Novel polycaprolactone nanocomposites containing thymol of interest in antimicrobial film and coating applications. **Journal of Plastic Film & Sheeting**, v. 24, n. 3-4, p. 239-251, 2008.
- SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P. R. Farmacognosia: da planta ao medicamento. 5. ed. Porto Alegre, RS: Ed. da UFSC, 2004.

- SIMPSON, B. K. Modified atmosphere packaging of bakery and pasta products. **Principles of Modified-atmosphere and sous vide Product Packaging**, p. 207, 1995.
- SMITH, J. P., DAIFAS, D. P., EL-KHOURY, W., KOUKOUTSIS, J., & EL-KHOURY, A. Shelf life and safety concerns of bakery products—a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 44, n. 1, p. 19-55, 2004.
- SOARES, N. F. F., RUTISHAUSER, D. M., MELO, N., CRUZ, R. S.; ANDRADE, N. J.. Inhibition of microbial growth in bread through active packaging. **Packaging Technology and Science**. v.15. p. 129–132, 2002.
- SOLIMAN, E. A., EL-MOGHAZY, A. Y., EL-DIN, M. M., & MASSOUD, M. A. Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity. **Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences**, v. 3, n. 01, p. 48, 2013.
- SOSNA, D.; BRUNCLÍKOVÁ, L.; GALETA, P. Rescuing things: Food waste in the rural environment in the Czech Republic, **Journal of Cleaner Production**, v. 214, 2019.
- STENSGAARD, A.; HANSEN, O.J. Food waste in Norway 2010–2015. Final Report from the ForMat-Project; OR 17.16; Ostfold Research: Kråkerøy, Noruega, 2016.
- SUHR, K. & NIELSEN, V. Inhibition of Fungal Growth on Wheat and Rye Bread by Modified Atmosphere Packaging and Active Packaging Using Volatile Mustard Essential Oil. **Journal of Food Science**.V. 70, Nr. 1, 2005.
- SVANES, E.; OSTERGAARD, S.; HANSEN, O.J. Effects of Packaging and Food Waste Prevention by Consumers on the Environmental Impact of Production and Consumption of Bread in Norway. **Sustainability**. 11(1): 43, 2019.
- TACO (2019). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. Ed. 4, NEPA-UNICAMP, Campinas. Disponível em: [http://www.nepa.unicamp.br/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf?arquivo=taco\\_4\\_versao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](http://www.nepa.unicamp.br/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf) Acesso em: 11 de janeiro de 2020.
- TEODORO, R. A. R.; FERNANDES, R.V.B.; BOTREL, D.A.; BORGES, S.V.; SOUZA, A.U. Characterization of Microencapsulated Rosemary Essential Oil and Its Antimicrobial Effect on Fresh Dough. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 9, p. 2560–2569, 2014.
- TAJKARIMI, M., IBRAHIM, S., CLIVER, D. Antimicrobial herb and spice compounds in food. **Food Control**, Ed. 21, p.1199-1218. 2010.
- TYAGI, V.V.; KAUSHIK, S.C. ; TYAGI, S.K.; AKIYAMA, T. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 15, Ed. 2, P. 1373-1391, 2011.
- TOLEDO, N. M. V.; NUNES, L. P.; SILVA, P. P. M.; SPOTO, M. H. F; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Influence of pineapple, apple and melon by-products on

- cookies: physicochemical and sensory aspects. **International journal of food science & technology**, v. 52, n. 5, p. 1185-1192, 2017.
- ULTEE, A.; BENNIK, M.H.; MOEZELAAR, R. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus* **Applied Environmental Microbiology Journal**, ed.68, p. 1561-1568, 2002.
- VEIGA, R. D. S. D., APARECIDA DA SILVA-BUZANELLO, R., CORSO, M. P., & CANAN, C. Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. **Journal of Essential Oil Research**, p. 1-17, 2019.
- WEISS, J., GAYSINKSY, S., DAVIDSON, M., MCCLEMENTS, J. Nanostructured encapsulation systems: food antimicrobials. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. Mortimer, D. Lineback, W. Spiess, & K. Buckle (Eds.), **IUFoST world congress book: Global issues in food science and technology** (p. 425-479). Amsterdam: Elsevier Inc. 2009.
- YAO, W. R.; XU, X. M. Separation, identification and inhibition of spoilage moulds in bakery products. **Science and Technology of Food Industry**, v.11, p. 148–150. 2014.
- ZHANG, D.; GAN, R.; GE, Y.; YANG, Q.; GE, J.; LI, H.; CORKE, H. Research progress on the antibacterial mechanisms of carvacrol:a mini review. **Bioactive Compounds in Health and Disease**, v.1, p. 71-81, 2018.
- ZILLO, R. R., SILVA, P. P. M., OLIVEIRA, J., GLÓRIA, E. M., SPOTO, M. H. F. Carboxymethylcellulose coating associated with essential oil can increase papaya shelf life. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 70-77, 2018.