
Métodos de inativação de fungos filamentosos termorresistentes em frutas e sucos de frutas: uma revisão integrativa

| **Luciana dos Santos Guimarães**
IF Goiano

| **Ana Paula Stort Fernandes**
IF Goiano

| **Dayana Silva Batista Soares**
IF Goiano

| **Natielle Maria Costa Menezes**
UFSC

| **Jean Carlos Correia Peres Costa**
UNIR

| **Maria do Socorro de Caldas Pinto**
UEPB

| **Rayane Nunes Gomes**
UEPB

| **Wiaslan Figueiredo Martins**
IF Goiano

RESUMO

Com base na literatura, os fungos filamentosos termorresistentes (FFT) são os principais deteriorantes de frutas e derivados. Os FFT mais comumente estudados e relacionados com esses casos, pertencem aos gêneros *Paecilomyces*, *Byssoschlamys*, *Aspergillus*, *Talaromyces* e *Eupenicillium*. **Objetivo:** apresentar estudos sobre os métodos de inativação de FFT contaminantes de frutas e/ou sucos de frutas, por meio de uma revisão integrativa com estudos nacionais e internacionais. **Metodologia:** para essa revisão, foram realizadas buscas sistematizadas na base de dados *ScienceDirect* para identificar os estudos sobre a inativação de FFT, entres os anos de 2016 a 2021, utilizando as Palavras-chave: *fruits juices* e *heat-resistant moulds inactivation*. **Resultados:** Dos 83 artigos encontrados, 73 foram descartados por não ter relação direta com a inativação de fungos, resultando em 10 artigos selecionados. Os artigos abordaram a inativação de fungos e/ou ascósporos de fungos por diferentes métodos. **Conclusão:** os resultados obtidos nas pesquisas demonstraram a relevância desses métodos para a indústria de alimentos, pois o uso de tecnologias emergentes, como as tecnologias não térmicas, está cada vez mais crescente, auxiliando no aumento da vida útil e na melhoria da segurança de alimentos, atendendo, assim, à demanda do consumidor por alimentos seguros e de rótulos limpos.

Palavras-chave: Suco de Frutas, Fungos Termorresistentes, Ascósporos, Inativação.

■ INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e o consumo cada vez maior de alimentos industrializados, a busca por um produto de melhor qualidade e maior segurança é um dos principais objetivos de uma grande empresa, cujos processos são capazes de preservar o produto contra micro-organismos deteriorantes, como bactérias e fungos filamentosos, principalmente os termorresistentes, garantindo a qualidade nutricional e demanda. A maioria dos fungos filamentosos apresenta uma resistência térmica limitada, sendo seus conídios destruídos facilmente pela aplicação de calor. Esses são capazes de sobreviver à temperatura de pasteurização, devido à produção de esporos denominados de ascósporos (HOCKING; PITT; 1984; TOURNAS; TRAXLER, 1994).

Várias são as frutas e seus produtos derivados acometidos por deteriorações por fungos filamentosos termorresistentes (FFT) como maçã, tomate, abacaxi, uva, morango, maracujá, manga, toranja (do inglês: *grapefruit*), groselhas e outros (KOTZEKIDOU, 1997; SURESH *et al.*, 1996; SPLITTSTOESSER *et al.*, 1993; TOURNAS, TRAXLER, 1994; UGWUANYI; OBETA, 1991).

Os micro-organismos termorresistentes produtores de ascósporos são difíceis de eliminar, pois são ativados pelos processos de pasteurização, normalmente aplicados aos produtos vegetais ácidos (TOURNAS; TRAXLER, 1994). Os FFT mais comumente estudados e relacionados com esses casos, pertencem aos gêneros *Paecilomyces*, *Byssochlamys*, *Aspergillus*, *Talaromyces* e *Eupenicillium* (SANT'ANA *et al.*, 2009). Neste trabalho será utilizado o nome científico dos FFT que surgiu na maioria das pesquisas realizadas, que são os nomes teleomorfos, que têm uma fase sexuada, produzindo ascósporos resistentes ao calor. *N. fischeri* e *Byssochlamys* spp. são, ainda, indicados como produtores de micotoxinas. O primeiro é capaz de produzir fumitremorginas A, B, C e verruculogena, já o segundo, é reportado como produtor de patulina, ácido byssoclâmico e byssotoxina A.

Diante desse contexto, destaca-se a importância e relevância desta pesquisa de revisão integrativa sobre os métodos de inativação de FFT contaminantes de frutas e/ou sucos de frutas, abordando os principais impactos desses micro-organismos na indústria de processamento de sucos. Assim, objetivou-se apresentar estudos sobre os métodos de inativação de fungos filamentosos termorresistentes contaminantes de frutas e/ou sucos de frutas, por meio de uma revisão de literatura integrativa.

■ DESENVOLVIMENTO

REFERENCIAL TEÓRICO

Microbiota contaminante de sucos de frutas

Um dos aspectos mais importantes no campo de tecnologia de alimentos é a identificação das causas de deterioração dos produtos alimentícios, visando sua compreensão e atuação para retardá-las ou evitá-las, quando possível.

Segundo Erkmen e Bozoglu (2016), as alterações alimentares podem ser de origem enzimática, como o escurecimento enzimático, de origem química, como a oxidação lipídica, de origem física (contaminação por pragas) ou biológica, como por exemplo o crescimento de micro-organismos e a produção de suas toxinas.

Os micro-organismos, como as bactérias ácido-tolerantes e os fungos (bolors e leveduras), podem usar as frutas in natura ou sucos de frutas como substrato, causando a sua deterioração, com a produção de micotoxinas e doenças vinculadas por alimentos (TOURNAS *et al.*, 2006; KEYSER *et al.*, 2008; SNYDER; WOROBO, 2018).

Bolors

Os bolors são células cilíndricas e algumas espécies possuem valor considerável, como por exemplo, para a produção de antibióticos, como a penicilina (*Penicillium notatum*), produtos alimentícios, como o queijo roqueforti (*Penicillium roqueforti*), produção de enzimas de interesse para a indústria de alimentos, como a α -amilase, produzida por *Aspergillus niger* e *Aspergillus oryzae*, dentre muitos outros exemplos. Contudo, eles também são responsáveis pela deterioração de diferentes materiais, tais como a matéria têxtil e a madeira, que causam algumas doenças em humanos, animais e plantas (PELCZAR *et al.*, 1996; MEYER, 2008). Os bolors são formados por filamentos denominados hifas, que crescem rapidamente à temperatura ambiente e ramificam-se. Cada hifa é formada pela reunião de muitas células. As paredes rígidas das hifas são formadas de quitina, celulose e glicose (TANIWAK, 2001). O conjunto de hifas ramificadas é denominado micélio (LAZZARI, 1997).

Fungos filamentosos termoresistentes (FFT)

Os alimentos mais susceptíveis à deterioração por FFT são as frutas e os produtos de frutas, como os sucos, os purês, os néctares, as polpas, os concentrados, as frutas enlatadas e os alimentos infantis à base de frutas.

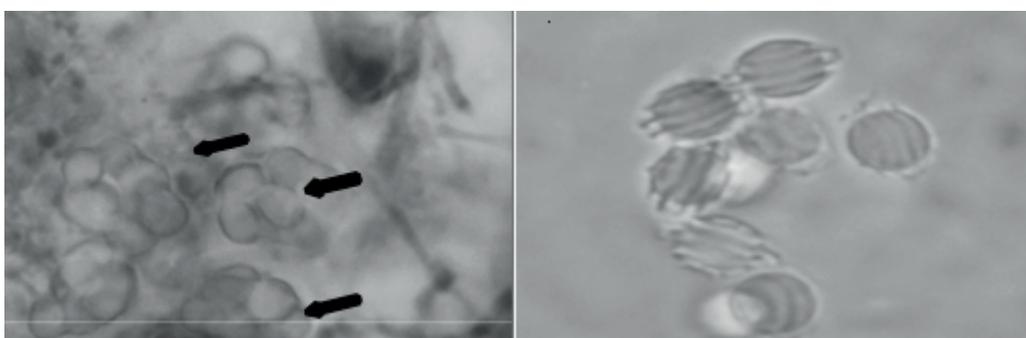
Diversos trabalhos têm sido publicados na literatura nos últimos cinco anos relacionados a aplicação de métodos não térmicos para a inativação de micro-organismos (*Salmonella* spp., *Escherichia coli* spp., *Saccharomyces cerevisiae*, *Alicyclobacillus acidoterrestis*) em alimentos (MONYETHABENG; KRÜGEL, 2016, FERRARIO; GUERRERO, 2017; TREMARIN *et al.*, 2017, ESTILO; GABRIEL, 2018).

O primeiro relato extensivo sobre deterioração por FFT foi feito por Olliver e Rendle (1934), que reconheceram ser *B. fulva* o agente causador da deterioração em frutas processadas na Inglaterra. Dentre os vários tipos de frutas, aquelas que são colhidas diretamente do solo ou que estão próximas dele, como morango, ameixa, maracujá, uva, abacaxi, pêssigo e maçã, são as mais afetadas pela deterioração por FFT (HOCKING; PITT, 2001; HOUBRAKEN *et al.*, 2006).

As espécies de fungos termorresistentes identificadas como deteriorantes de produtos à base de frutas são: *Byssochlamys* spp., *Aspergillus* spp., *Eupenicillium* spp., *Neosartorya* spp. e *Talaromyces* spp. (VALIK; PIECKOVA, 2001; SURESH *et al.*, 1996; TOURNAS, 1994). Devido a essa resistência, os FFT podem crescer e contaminar produtos durante a estocagem à temperatura ambiente, o que decorre em grandes perdas econômicas.

Uma característica dos FFT é a formação de ascósporos muito resistentes. O tamanho, a forma e a ornamentação destes ascósporos variam com o tipo, a espécie e a linhagem de micro-organismo, bem como as condições dos meios sob os quais os esporos são formados. A principal característica destes fungos é a formação do asco (Figura 1A), que é uma estrutura em forma de saco ou bolsa, no interior da qual são produzidos oito ascósporos (Figura 1B) de forma e cor variados para cada espécie. Quando amadurecem, os ascos sofrem uma ruptura por onde são liberados os ascósporos. Esses últimos possuem parede, e são geralmente ornamentados e refrateis. Os ascos de alguns desses fungos são recobertos por um grande corpo de frutificação que leva o nome geral de ascocarpo.

Figura 1. (A) Ascos do *Byssochlamys fulva* (setas). (B) Ascósporos equatoriais do *N. fischeri* Aumento de 1200X.



Fonte: adaptado de Magalhães *et al.* (2009).

A pasteurização normalmente aplicada aos produtos de frutas ativa os ascósporos dormentes, que germinam e permitem o crescimento dos FFT (BEUCHAT, 1986; ENGEL;

TEUBER, 2001; SLONGO; ARAGÃO, 2006). As espécies do gênero, da estrutura da fruta, além de serem potencialmente produtoras da toxina patulina (HOCKING; PITT, 2001).

Métodos de inativação de fungos

A deterioração de alimentos por micro-organismos causa grandes perdas para indústrias, determinando na maioria dos casos, o final da vida útil dos alimentos (MARTINS, 2015). Para diminuir estes prejuízos, é necessário conhecer o principal deteriorante do alimento, bem como encontrar processos para inativar ou dificultar seu crescimento. Os tratamentos térmicos e o uso de aditivos químicos estão entre as técnicas mais utilizadas para conservação de alimentos (GUERREROBELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004; ALLENDE *et al.*, 2009; ÖLMEZ; KRETZSCHMAR, 2009). O uso de calor pode alterar as características sensoriais e nutritivas dos alimentos como alteração da cor, perda de aromas e perda de compostos benéficos à saúde do consumidor (BAHÇECI; ACAR, 2007(UHPH); GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSACÁNOVAS, 2004).

Vários métodos são utilizados na indústria alimentícia que são utilizados para a inativação de fungos, a fim de melhorar a qualidade dos produtos, como processamento térmico, a pasteurização, a radiação ultravioleta do tipo C (UV-C), processamento de alta pressão (HPP), processamento térmico de alta pressão (HPTP), homogeneização de ultra alta pressão e ultrassom de alta potência (HPU).

■ METODOLOGIA

Identificação dos artigos

Para identificar os estudos que abordavam o tema e realizados em diferentes países, foram realizadas buscas sistematizadas na base de dados *ScienceDirect* (<https://www.sciencedirect.com>). Os termos de busca utilizados nas bases foram: *fruits juices* e *heat-resistant moulds inactivation*. As buscas foram limitadas por tipo de artigo. A última busca foi realizada em 23 de fevereiro de 2021. Para a seleção dos estudos, utilizou-se como critério de inclusão de estudos de diferentes países, completos, que abordassem o tema “métodos de inativação de fungos termorresistentes em sucos de frutas” e/ou “inativação dos esporos de fungos termorresistentes em sucos de frutas”, no idioma inglês e nos últimos cinco anos. Foram excluídas as revisões de literatura e as revisões sistemáticas.

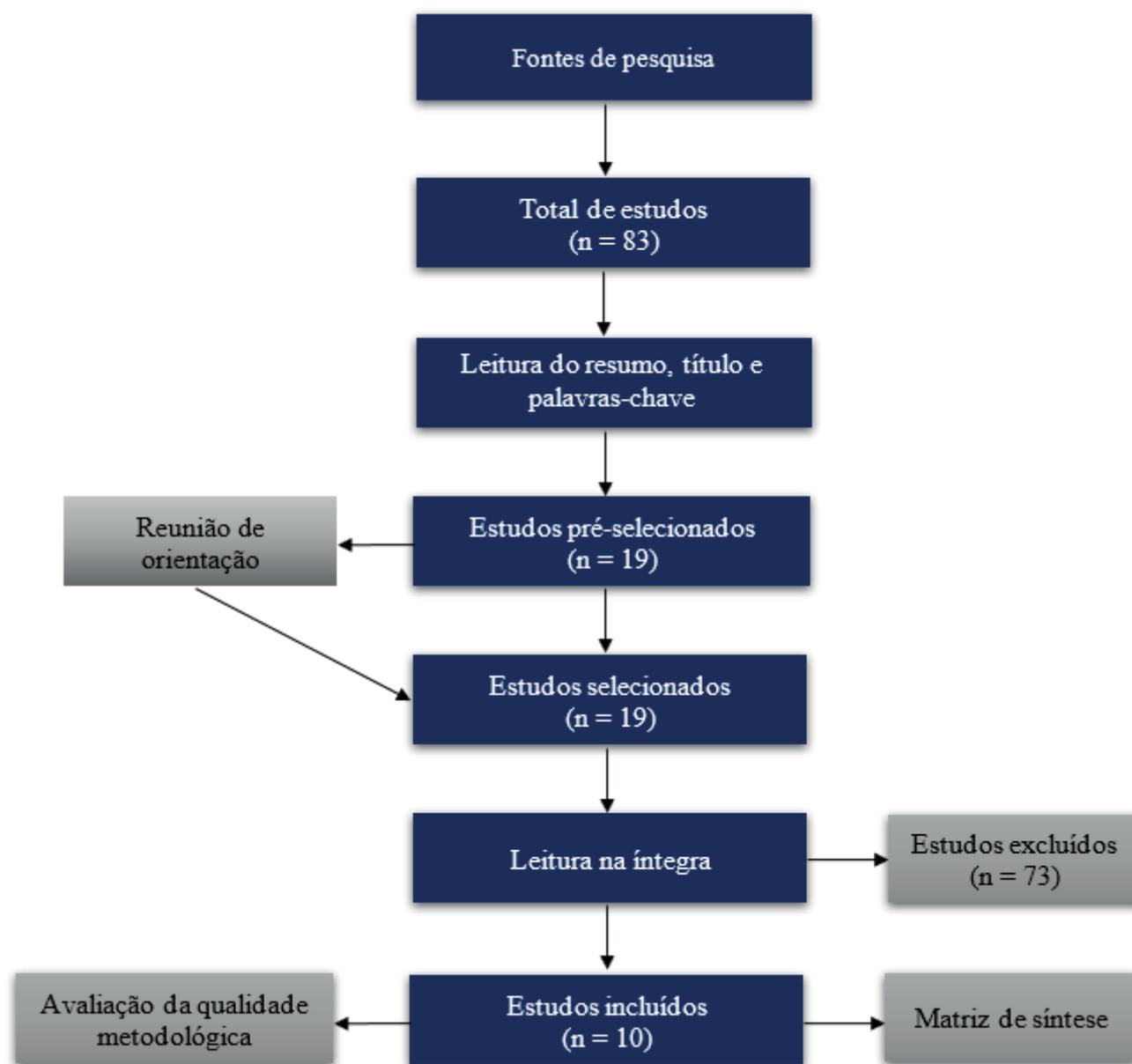
Pré-seleção

Para chegar a pré-seleção, buscou-se os títulos e/ou palavras chaves que poderiam ter relação com a temática da revisão deste trabalho. Foram usadas as seguintes palavras para

localizar os títulos dos artigos: *juices*, *fruits juices*, *heat-resistant moulds* e *inactivation*, as palavras foram buscadas em inglês, idioma de origem dos artigos. Em seguida, foi realizada uma leitura para melhor entendimento do conteúdo dos mesmos.

Na pré-seleção, foram descartados artigos que não tinham qualquer relação direta com inativação de fungos termorresistentes em frutas e/ou sucos de frutas, exemplos: artigos que não falavam de frutas e/ou suco de frutas, sobre a inativação de fungos termorresistentes, tratamentos térmicos e/ou não térmicos e tecnologias emergentes para a inativação de fungos termorresistentes. Com isso, foram descartados 73 artigos. Depois de uma reunião com os orientadores deste trabalho para discutir as abordagens dos artigos, foram selecionados 10 artigos (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma da revisão integrativa do trabalho.



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Análise dos artigos pré-selecionados

A avaliação para a seleção dos artigos foi realizada pela autora deste trabalho e, em seguida, apresentada aos orientadores para verificar se havia divergência de opiniões, e estas foram sanadas por meio de um consenso. A seleção inicialmente foi realizada através de títulos, seguida por resumos, e quando selecionados, por leitura completa dos artigos.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 10 artigos selecionados foram todos aprovados para a revisão integrativa. Os artigos foram lidos na íntegra e analisados suas principais informações.

Na abordagem proposta, a busca eletrônica retornou 83 artigos a partir das palavras-chave referenciadas. Após seleção manual, por meio de leitura dos títulos, foram descartados aqueles que não contemplavam os critérios de inclusão (Figura 2 acima). O resultado foi um total de 10 artigos incluídos, com diferentes abordagens: inativação de fungos e/ou ascósporos de fungos por diferentes métodos. Os resultados das pesquisas selecionadas para esta revisão integrativa estão descritos nas seções abaixo.

■ MÉTODOS TÉRMICOS DE INATIVAÇÃO DE FUNGOS TERMORRESISTENTES

Tratamento térmico convencional e/ou ôhmico (resistência térmica)

As aplicações de métodos térmicos para a inativação de FFT foram relatadas em quatro das pesquisas selecionadas, desde 2017 a 2021. Dentre essas, dois artigos avaliaram a resistência térmica de FFT em frutas e/ou produtos de frutas. Na pesquisa de Berni *et al.* (2017), estudaram a resistência térmica de quatro cepas de *Aspergillus* termorresistentes, sendo duas cepas da espécie *Aspergillus hiratsukae* (*Neosartorya hiratsukae*), uma cepa de *Aspergillus neoglaber* (*Neosartorya glabra*) e uma cepa de *Aspergillus thermomutatus* (*Neosartorya pseudofischeri*), em solução de glicose e em formulação a base de morango. Enquanto Tranquillini; Scaramuzza e Berni (2017), isolaram, por meio da detecção de esporos, duas espécies de *Talaromyces* spp. (*T. trachyspermus* e *T. bacillisporus*) e testaram a sua resistência térmica em suco de uva com mirtilo.

Diante dos resultados das pesquisas citadas anteriormente, a espécie *N. glabra* apresentou maior resistência térmica ($D = 15,4$ min a 87 °C) em formulação a base morango, enquanto a espécie *N. hiratsukae* apresentou menor resistência térmica em formulação a base morango quando comparada a solução de glicose ($D = 3,3$ min vs $7,7$ min a 87 °C, respectivamente). Os autores destacaram que a adição de sacarose pode causar aumento na

resistência térmica dos FFT, devido ao aumento do conteúdo de sólidos solúveis, expressos em °Brix. Ao relacionar esses resultados com os obtidos por Tranquillini; Scaramuzza e Berni (2017), buscaram-se comparar a temperatura mais próxima utilizadas por ambos os trabalhos, que foi de 88 °C. Dentre as espécies de FFT relatadas, a espécie *T. bacillisporus* apresentou um valor D de 2,71 min a 88 °C, em suco de uva com mirtilo e uma maior resistência térmica quando utilizada uma solução de glicose ($D = 4,07$ min a 88 °C), corroborando com a teoria de que os valores de graus Brix influenciam no aumento da resistência térmica dos FFT, ou seja, quanto maior o conteúdo de sólidos solúveis, maiores os valores de D . No entanto, os autores não comentaram sobre o efeito do sólidos solúveis, apenas afirmaram que um processo de pasteurização tradicional seria insuficiente para evitar qualquer problema de deterioração com *T. bacillisporus*, mesmo que a contaminação por FFT das matérias-primas processadas pelas indústrias de alimentos seja geralmente baixa (< 100 UFC/kg), uma vez que a indústria de alimentos geralmente tenta atingir cinco ou mais reduções logarítmicas em seus produtos.

Ao prosseguir com a abordagem do conteúdo de sólidos solúveis e a inativação de FFT, os pesquisadores Souza *et al.* (2017) avaliaram a inativação de *B. nivea* e *N. fischeri* em sucos de abacaxi e mamão, influenciada pela temperatura, entre 78 °C e 92 °C e de conteúdo de sólidos solúveis, variando de 10 °Brix a 30 °Brix, utilizando o modelo primário e secundário de Weibull. Os resultados dessa pesquisa mostraram que o modelo de Weibull apresentou um bom ajuste os dados da cinética de inativação de *B. nivea* e *N. fischeri*. Os valores de δ , que é a redução de um ciclo logarítmico, foram muito próximos em ambos os sucos, exceto para aqueles experimentos realizados a 80 °C com suco de abacaxi contendo 13 e 27 °Brix, respectivamente. No entanto, os autores comprovaram que, independentemente do suco, foi possível observar que a concentração de sólidos solúveis afetou os valores δ , com aumento desses valores de acordo com o aumento dos °Brix dos sucos. Assim, os estudos destacaram a contribuição para a indústria de alimentos, trazendo novos modelos preditivos que descrevem a influência e interações de condições de temperaturas e conteúdo de sólidos solúveis de sucos de frutas na cinética de inativação de FFT.

Em estudo mais recente, Müller *et al.* (2021), uma comparação do tratamento térmico convencional foi realizada com o aquecimento ôhmico para inativar *Aspergillus fumigatus* em suco de maçã a 75, 80, 85, 90 e 94 °C. Os resultados da pesquisa mostraram diferenças entre os dois processos térmicos, encontrados nas menores temperaturas analisadas (75, 80 e 85 °C). Quando o aquecimento ôhmico foi aplicado, o tempo de processamento foi até 23% menor. Os autores validaram um modelo com sucesso em duas temperaturas distintas (83 e 92 °C) e, segundo os pesquisadores, esse modelo pode ser aplicado para obter o tempo de processamento adequado para a pasteurização do suco de maçã. Ao comparar os dados

dessa pesquisa com as apresentadas anteriormente (BERNI *et al.*, 2017; TRANQUILLINI; SCARAMUZZA; BERNI, 2017; SOUZA *et al.*, 2017), o aquecimento ôhmico mostrou ser uma boa alternativa para a inativação de FFT em sucos, e pode ser considerado um processo alternativo à pasteurização convencional, pois pode promover maiores velocidades de aquecimento.

Método de Radiação Ultravioleta do tipo C (UV-C) e/ou combinação com o método de Homogeneização de Ultra Alta Pressão (UHPH)

Com relação as tecnologias consideradas emergentes, a aplicação de radiação UV-C e/ou a combinação com o método de UHPH foram abordadas em dois artigos selecionados para esta revisão. No primeiro, Menezes *et al.* (2020) avaliaram a influência do tratamento de luz UV-C em suco de maçã, demonstrando eficácia na inativação de *A. fischeri* e *P. niveus*. A UV-C testada, no trabalho, mostrou que as reduções decimais de ambas as cepas aumentaram significativamente, afirmando que é uma aplicação promissora para a prevenção da deterioração de sucos por *A. fischeri* e *P. niveus*, em que a luz UV-C permitiu a redução de $5,7 \log_{10}$ e $4,2 \log_{10}$ de ascósporos de *A. fischeri* e *P. niveus*, respectivamente, com uma dose máxima de 36 W/m^2 em 10 min de exposição. Os autores concluíram que a espécie *A. fischeri* é mais sensível à luz UV-C do que a espécie *P. niveus* e as todos os resultados do estudo são importantes para projetar processos de inativação de FFT em sucos.

Na segunda pesquisa sobre esse tema (realizada no ano anterior ao trabalho de Menezes *et al.* (2020)), Saceda-Galvez *et al.* (2019) utilizaram a luz UV-C, a UHPH e a combinação desses dois métodos para a inativação e/ou germinação de ascósporos de *Talaromyces macrosporus* e *Neosartorya spinosa* em suco de maçã clarificado. Os autores concluíram que os tratamentos com UHPH a 100 e 200 MPa foram ineficazes na inativação de ascósporos de ambos os micro-organismos. No entanto, em qualquer uma dessas condições de UHPH, os ascósporos ficaram mais vulneráveis a UV-C e, foi alcançada uma redução máxima de $3,6 \log_{10}$ e $>5 \log_{10}$ de *T. macrosporus* e *N. spinosa*, respectivamente, após um tratamento combinado com uma dose UV-C de $21,5 \text{ J/mL}$. Os autores afirmaram que a aplicação da UHPH causou pequenas mudanças na estrutura da parede celular dos ascósporos, visualizados por microscopia eletrônica de varredura, o que pode ter deixado as células mais expostas à luz UV-C. Além disso, as características de pigmentação dos ascósporos influenciaram na sensibilidade à luz UV-C, já que a espécie *N. spinosa* foi mais sensível por apresentar uma cor branca clara em contraste com *T. macrosporus*, em que os ascósporos são laranja escuro, concluíram os autores.

Processamento de alta pressão (HPP), processamento térmico de alta pressão (HPTP) e/ou ultrassom de alta potência (HPU)

O método de HPP foi utilizado em dois artigos selecionados para esta revisão. O primeiro, dos autores Buerman; Worobo e Padilla-Zakour (2020), objetivou avaliar a utilização do HPP na inativação de fungos deteriorantes comumente encontrados em suco de maçã e determinar o efeito da *aw* e do pH. Nesse trabalho, os autores estudaram diferentes espécies de bolores e leveduras, no entanto, será apresentado apenas os resultados obtidos para o FFT *Paecilomyces variotii*, que é a forma assexuada e de menor resistência térmica de *Byssochlamys spectabilis*. Já a segunda pesquisa refere-se ao trabalho dos mesmos autores já citados, mas do ano de 2021 (BUERMAN; WOROBO; PADILLA-ZAKOUR, 2021). Nesse último trabalho, os autores avaliaram a pressão e o tempo necessário para causar uma redução dos fungos deteriorantes resistentes ao calor e à pressão, comuns em sucos, e determinaram o efeito da *aw* (0,94-1,0) e do pH (3,5-7,0) na cinética de inativação por HPP.

Diante dos resultados das pesquisas, o fungo *P. variotii* foi relativamente sensível ao HPP nas condições testadas: (450 MPa/1,5 min/pH 4,6); (450 MPa/1,5 min/pH 7,0) e (600 MPa/1,5 min/pH 4,6). Segundo os autores, a inativação completa pareceu ocorrer quando *P. variotii* foi processado a 600 MPa por 1,5 min em suco de maçã concentrado de pH 7,0 em todas as *aw* e esse efeito também foi observado na condição de 450 MPa por 1,5 min a uma *aw* de 0,98 e 1,0, com pH 4,6 em suco de maçã concentrado e com *aw* de 1,0 com pH 7,0. No entanto, essa pesquisa demonstrou que, as amostras inoculadas com *P. variotii* e mantidas em temperatura ambiente apresentaram recuperação, ou seja, as células injuriadas permaneceram presentes após o processamento. Por outro lado, *P. variotii* mantido sob refrigeração não mostrou capacidade de crescimento.

Ao discutir a pesquisa desenvolvida por Buerman; Worobo e Padilla-Zakour (2021), os autores estudaram a combinação de vários fatores na inativação de três diferentes espécies de FFT. Assim, apenas os resultados obtidos para a espécie *P. niveus* serão apresentados, por ser o mesmo gênero (*Paecilomyces*) descrito na pesquisa anterior. De acordo com os autores, a espécie *P. niveus* foi a mais resistente à pressão e a única redução dessa espécie ocorreu em *aw* de 0,94, pH de 4,6 e 450 MPa por 1,5 min. Além disso, os autores discutiram o uso de sulfito para uma *aw* de 0,94, verificando um aumento da vida útil durante o armazenamento à temperatura ambiente por várias semanas, porém, com uma *aw* 1,0 não ajudou na extensão da vida útil no armazenamento.

Com relação ao método de processamento térmico de alta pressão (HPTP), os autores Timmermans *et al.* (2020) investigaram se a combinação de alta pressão e calor moderado poderia ser usada como alternativa ao tratamento térmico para inativar ascósporos resistentes ao calor de *T. macrosporus* e *A. fischeri* em um produto de fruta altamente ácido, purê

de morango, armazenado subsequentemente em condições ambientais. Os pesquisadores demonstraram que a combinação de calor moderado (máximo 85-90 °C) e alta pressão (500-700 MPa) para tempos de espera de até 13 min inativou os esporos altamente resistentes muito mais rápido do que um tratamento térmico isolado. No entanto, em condições que combinaram alta pressão ≥ 600 MPa com $T_{\text{máx}} \geq 85$ °C por 13 min, os FFT foram inativados com sucesso. Os autores concluíram que uma combinação de calor moderado e pressão pode melhorar drasticamente a eficácia de inativar ascósporos resistentes ao calor em um produto de fruta com alto teor de ácido em comparação com um tratamento térmico, resultando potencialmente em uma melhor qualidade do produto.

Uma outra abordagem é o uso do ultrassom de alta potência (HPU) (frequência de 20 a 100 kHz) que é uma promissora tecnologia não térmica para preservação de alimentos. Esse tema foi abordado por Jambrak *et al.* (2018), que investigaram o efeito dessa tecnologia na inativação de cinco micro-organismos termorresistentes, em sucos clarificados e néctares de suco concentrado de maçã, mirtilo e *cranberry*. Dentre as espécies estudadas, apenas uma é FFT, que é *Aspergillus ochraceus*, que será discutida nesta revisão. Os autores verificaram que em todas as amostras de sucos de frutas e néctares em termos de tratamento ultrassônico a 60 °C e tempos de 3, 6 e 9 min (independentemente do valor da amplitude), a inativação completa do crescimento de *A. ochraceus* foi alcançada, enquanto a 20 °C e 40 °C não foi observada. O valor de redução de células dos FFT selecionados para tratamentos de ultrassom a 60 °C e a duração dos tempos de 3, 6 e 9 min variou de 3,556 a 5,934 \log_{10} UFC/mL. Assim, o número de células vegetativas de *A. ochraceus* foi significativamente reduzido por HPU, tendo a maior redução acima de 5 \log_{10} UFC/mL, concluem os autores.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de inativação de fungos filamentos termorresistentes, apresentados nesta revisão integrativa, são de grande importância para a indústria de alimentos, especialmente para a indústria de produtos de frutas, devido a presença desses micro-organismos em alimentos como sucos, polpas, néctares, entre outros.

As principais espécies reportadas pelas as pesquisas selecionadas pertenciam aos gêneros *Penicillium*, *Talaromyces*, *Aspergillus* (anteriormente *Neosartorya* para algumas espécies), *Neosartorya*, *Paecilomyces* (anteriormente *Byssochlamys* para algumas espécies) e *Byssochlamys*.

As buscas pelos métodos de inativação de FFT revelaram diferentes tecnologia e/ou a combinação dessas em produtos de frutas, como o tratamento térmico convencional, o tratamento térmico ôhmico, o processamento de alta pressão, o processamento térmico

de alta pressão, a homogeneização de ultra alta pressão, o ultrassom de alta potência e a radiação ultravioleta do tipo C.

Em algumas pesquisas o uso da microbiologia preditiva foi abordado como uma importante ferramenta para a predição da inativação dos FFT em sucos de frutas, independente do método empregado e das condições intrínsecas dos produtos.

Conclui-se, com esta revisão integrativa, que os resultados obtidos nas pesquisas são de extrema importância para a indústria de alimentos e o uso de tecnologias emergentes, como as tecnologias não térmicas, está cada vez mais crescente, auxiliando no aumento da vida útil e na melhoria da segurança de alimentos, atendendo, assim, à demanda do consumidor por alimentos seguros e de rótulos limpos.

■ REFERÊNCIAS

1. ALLENDE, A.; MCEVOY, J.; TAO, Y.; LUO, Y. Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. **Food Control**, v. 20, p. 230–234, 2009.
2. ANEJA, K. R.; DHIMAN, R.; AGGARWAL, N. K.; ANEJA, A. Emerging preservation techniques for controlling spoilage and pathogenic microorganisms in fruit juices. **International Journal of Microbiology**, p. 1-14, 2014.
3. ANON. Unusual heat resistance mould in apple juice. **Food Ind.**, v. 19, p. 55-56, 1967.
4. APUD HOCKING, A. D.; PITT, J. I. Food spoilage fungi. II. Heat Resistant Fungi. **CSIRO Division of Food Research**, v. 44, n. 4, p. 73-82, 1984.
5. ARAGÃO G. M. F. **Identificação e determinação de resistência térmica de fungos filamentosos termo-resistentes isolados de polpa de morango**. 1989. 139p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA. Campinas: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1989.
6. BAHÇEÇI, K. S.; ACAR, J. Modeling the combined effects of pH, temperature, and ascorbic acid concentration on the heat resistance of *Alicyclobacillus acidoterrestris*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 120, n. 3, p. 266-273, 2007.
7. BARBOSA-CANOVAS, G. V.; POTHAKAMURY, U. R.; PALOU, E.; SWANSON, B. G. **Non-thermal preservation of foods**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1998.
8. BERNI, E.; TRANQUILLINI, R.; SCARAMUZZA, N.; BRUTTIA, A.; BERNINI, V. *Aspergilli* with *Neosartorya*-type ascospores: heat resistance and effect of sugar concentration on growth and spoilage incidence in berry products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 258, p. 81-88, 2017.
9. BEUCHAT, L. R. Extraordinary heat resistance of *Talaromyces flavus* and *Aspergillus fischeri* ascospores in fruit products. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 6, p. 1506-1510, 1986.

10. ELIZABETH, C.; BUERMAN, E. C.; WOROBO, R. W.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. High-pressure processing of heat and pressure resistant fungi as affected by pH, water activity, sulfites, and dimethyl dicarbonate in a diluted apple juice concentrate. **Food Control**, v. 120, p. 107-551, 2021.
11. ELIZABETH, C.; BUERMAN, E. C.; WOROBO, R. W. High pressure processing of spoilage fungi as affected by water activity in a diluted apple juice concentrate. **Food Control**, v. 107, p. 106-779, 2020.
12. ENGEL, G.; TEUBER, M. Heat resistance of *Byssochlamys nivea* in milk and cream. **International Journal of Food Microbiology**, Oxford, v. 12, n. 2-3, p. 225-234, 1991.
13. ERKMEN, O.; BOZOGLU, T.F. Principals of food spoilage. In: JOHN WILEY; SONS, Ltd (Org.). **Food Microbiol. Princ. into Prat**, p. 458, 2016.
14. ESTILO, E.E.C.; GABRIEL, A. A. A model for the influences of soluble and insoluble solids, and treated volume on the ultraviolet-C resistance of heat-stressed *Salmonella enterica* in simulated fruit juices. **Food Microbiol.** v. 69, p. 72–81, 2018.
15. FERRARIO, M.; GUERRERO, S. Impact of a combined processing technology involving ultrasound and pulsed light on structural and physiological changes of *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 in apple juice. **Food Microbiology**, v. 65, p. 83–94, 2017.
16. GIANPIERO, P.; SINIK, M.; CAPITOLI, M. M.; DONSI, G.; FERRARI, G. The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 30, p. 103-111, 2015.
17. GUERRERO-BELTRAN, J. A.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. Review: advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food Science and Technology International**, v. 10, n. 3, p. 137–147, 2004.
18. HOCKING, A. D.; PITT, J. Spoilage of Processed Foods: Causes and Diagnosis. Australia: **AIFST**, p. 361-381, 2001.
19. HOUBRAKEN, J.; SAMSON, R. A.; FRISVAD, J. C. *Byssochlamys*: significance of heat resistance and mycotoxin production. **Advances in Food Mycology**, New York, v. 571, n. 3, p. 211-224, 2006.
20. JAMBRAK, A.R.; ŠIMUNEK, M.; MARKOV, K.; SMOLJNIĆ, G.; FRECE, J. Influence of high power ultrasound on selected moulds, yeasts and *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple, cranberry and blueberry juice and nectar. **International Journal of Food Microbiology**, v. 83, p. 3-17, 2018.
21. KEYSER, M.; MULLER, I. A.; CILLIERS, F. P.; NEL, W.; PIETER A.; GOUWS, P. A. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, n. 3, p. 348–354, 2008.
22. KIKOKU, Y. Heat activation characteristics of *Talaromyces* Ascospores. **Journal of Food Science and Technology**, v. 68, p. 2331–2335, 2003.
23. KOTZEKIDOU, P. Heat resistance of *Byssochlamys nivea*, *Byssochlamys fulva* and *Aspergillus fischeri* isolated from canned tomato paste. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 2, p. 410-412/437, 1997.

24. LAROUS, L.; HANDEL, N.; ABOOD, J.K.; GHOUL, M. The growth and production of patulin mycotoxin by *Penicillium expansum* on apple fruits and its control by the use of propionic acid and sodium benzoate. **Department of Biology, College of Science, University of Setiff. Setiff, Algeria, 2007.**
25. LAZZARI, F.A. Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações. 2a ed. Curitiba: **Ed. Do Autor**, p.148, 1997.
26. LINK, J. H. F. **Observationes in ordines plantarum naturales.** Dissertatio I^{ra}. Magazin der Gesellschaft Naturforschenden Freunde Berlin (in Latin), v. 3, p. 42, 1809.
27. MAGALHÃES D.B; SILVA J. P. C.; SILVA D. L. D. Influência da Composição do Suco de Laranja na Sobrevivência de Ascosporos de *Aspergillus fischeri* e *Byssochlamys Fulva*, Campinas: **8º SLACA. Anais.** 2009.
28. MARTINS, W. F. Predição do crescimento de *Weissella viridescens* sob condições não isotérmicas. 2015, 82 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
29. MENEZES, N. M. C.; LONGHI, D. A.; ORTIZ, B. O.; JUNIOR, A. F.; ARAGÃO, G. M. F. DE. Modeling the inactivation of *Aspergillus fischeri* and *Paecilomyces niveus* ascospores in apple juice by different ultraviolet light irradiances. **International Journal of Food Microbiology**, v. 333, n. November 2019, p. 108773, 2020.
30. MEYER, V. Genetic engineering of filamentous fungi – progress, obstacles and future trends. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 177–185, 2008.
31. MONYETHABENG, M. M.; KRÜGEL, M. The effect of UV-C treatment on various spoilage microorganisms inoculated into Rooibos iced tea. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 419–424, 2016
32. MÜLLER, W. A; PASIN, M. V. A.; SARKIS J. R.; DAMASCENO, L.; MARCZAK, F. Effect of pasteurization on *Aspergillus fumigatus* in apple juice: Analysis of the thermal and electric effects. **Journal of Food Microbiology**, v. 338, p. 108-993, 2021.
33. NIELSEN, P. V. Preservative and temperature effect on growth of three varieties of the heat resistant mold, *Aspergillus fischeri*, as measured by an impedimetric method. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 6, p. 1735, 1991.
34. OLLIVER; M.; RENDLE, T.; et al. A new problem in fruit preservation. Studies on *Byssochlamys fulva* and its effect on the tissues of processed fruit. **Journal of Society Chem. Ind.**, v. 53, p. 166, 1934.
35. 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.
36. PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN, E. C. S. Microbiologia: conceitos e aplicações. São Paulo: **Me Graw-Hill**, v. 1, p. 524, 1996.
37. PELCZAR, M.J.; REID, R; CHAN, E.C.S. Microbiologia conceitos e aplicações. São Paulo: **Mc Graw-Hill**, v. 2, p. 1072, 1981.

38. ROIG-SAGUÉS; A. X.; ASTO, E.; ENGERS, I.; HERNÁNDEZ-HERRERO, M. M. Improving the efficiency of ultra-high pressure homogenization treatments to inactivate spores of *Alicyclobacillus* spp. in orange juice controlling the inlet temperature. **LWT – Food Science and Technology**, v. 63, p. 866–871, 2015.
39. SANT'ANA, A. S.; ROSENTHAL, A.; MASSAGUER, P. R. Heat resistance and the effects of continuous pasteurization on the inactivation of *Byssoschlamys fulva* ascospores in clarified apple juice. **Journal of Applied Microbiology**, v. 107, p. 197–209, 2009.
40. SAUCEDA-GÁLVEZ, J. N.; ROCA-COUSO, R.; MARTINEZ-GARCIA, M.; HERNÁNDEZ-HERRERO, M. M. Inactivation of ascospores of *Talaromyces macrosporus* and *Neosartorya spinosa* by UV-C, UHPH and their combination in clarified apple juice., **International Journal of Food Microbiology** v. 98, p. 120–125, 2019.
41. SLONGO, A. P.; ARAGÃO, G. M. F. Factors affecting the thermal activation of *Neosartorya fischeri* in pineapple and papaya nectars. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 312-316, 2006.
42. SNYDER, A. B.; WOROBO, R. W. The incidence and impact of microbial spoilage in the production of fruit and vegetable juices as reported by juice manufacturers. **Food Control**, v. 85, p. 144–150, 2018.
43. SNYDER, A. B.; WOROBO, R. W. Fungal spoilage in food processing. **Journal of Food Protection**, v. 81, n. 6, p. 1035-1040, 2018.
44. SOUSA P. H. M.; MAIA G. A.; AZEREDO, H. M. C.; RAMOS, A. M.; FIGUEREDO, R. W. Storage stability of a tropical fruit (cashew apple, acerola, papaya, guava and passion fruit) mixed nectar added caffeine. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 10, p. 2162–2166, 2010.
45. SOUZA, P. B. A.; POLTRONIERI, K.F.; ALVARENGA, V. O.; GRANATO, D.; RODRIGUEZ, A. D.; SANT'ANA, A. S.; PENÃ, W. E. Modeling of *Byssoschlamys nivea* and *Neosartorya fischeri* inactivation in papaya and pineapple juices as a function of temperature and soluble solids contents. **Food Science and Technology**, v. 82, p. 82-85, 2017.
46. SPLITTSTOESSER, D. F.; NIELSEN, P. V.; CHUREY, J. J. Detection of viable ascospores of *Aspergillus fischeri*. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 56, p. 599-603, 1993.
47. SURESH, E.R.; ETHIRAJ, S.; JAYARAM, H Heat resistance of *Aspergillus fischeri* isolated from grapes. **Journal of Food Science Technology**, v. 33, n. 1, p. 76-77, 1996.
48. TIMMERMANS, R.; HAYRAPETYANA, H.; VOLLEBREGT, M.; DIJKSTERHUIS. Comparing thermal inactivation to a combined process of moderate heat and high pressure: Effect on ascospores in strawberry puree. **International Journal of Food Microbiology**, v. 325, p. 108-629, 2020.
49. TOURNAS, V. H.; HEERES, J.; BURGESS, L. Moulds and yeasts in fruit salads and fruit juices. **Food Microbiology**, v. 23, n. 7, p. 684–688, 2006.
50. TOURNAS, V. Heat-resistant fungi of importance to the food and beverage industry. **Critical Reviews in Microbiology**, London, v. 20, n. 4, p. 243-263, 1994.

51. TOURNAS, V.; TRAXLER, R. W. Heat resistance of *Aspergillus fischeri* strain isolated from pineapple juice frozen concentrate. **Journal of Food Protection.**, Des Moines, v. 57, n. 9, p. 814-816, 1994.
52. TRABULSI, L. R **Microbiologia. São Paulo**: Ed. Atheneu, 1991.
53. TRANQUILLINI, R. et al. Occurrence and ecological distribution of Heat Resistant Moulds Spores (HRMS) in raw materials used by food industry and thermal characterization of two *Talaromyces* isolates. **International Journal of Food Microbiology**, v. 242, p. 116-123, 2017.
54. TRAXLER, R. W. Heat resistance of an *Aspergillus fischeri* strain isolated from pineapple juice frozen concentrate. **Journal of Food Protection**, v. 57, n. 9, p. 814-816, 1994.
55. TREMARIN, A.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Inactivation kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice submitted to ultraviolet radiation. **Food Control**, v. 73, p. 18–23, 2017.
56. UGWUANYI, J. O.; OBETA, J. A. N. Incidence of heat resistant fungi in Nsukka, Southern Nigeria. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 13, p. 157-164, 1991.