



Alta pressão hidrostática (APH) aplicada ao pescado

High hydrostatic pressure (HHP) applied to fish

Elanne de Paiva Fonseca¹, Wilma Emanuela da Silva², Wallace Sóstene Tavares da Silva², Narciza Maria de Oliveira Arcanjo³

¹Zootecnista, Mestra em Ciência Animal, cursando especialização em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Currais Novos, RN, Brasil. E-mail: elannefonseca2@gmail.com;

²Zootecnistas, Doutora em Ciência Animal, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil/E-mails: wilma_manu1@hotmail.com, wstdsharm@gmail.com;

³Engenheira de Alimentos, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Currais Novos, RN, Brasil/E-mail: narciza81@gmail.com.

RESUMO- O uso da alta pressão hidrostática (APH) vem sendo aplicada como técnica de conservação e descontaminação não térmica em alimentos, ganhando destaque na indústria do pescado por proporcionar benefícios nutricionais e microbiológicos na produção. A técnica consiste em submeter o alimento a altas compressões em espaço confinado contendo água para transferência da pressão, fazendo com que a pressão se distribua uniformemente envolta do produto, preservando seu formato. A revisão descreve a importância da utilização da técnica de APH em pescado, compreendendo como a tecnologia está sendo abordada pela literatura, qual conteúdo, estrutura das pesquisas e perspectivas adotadas pelos pesquisadores e comerciantes. Espera-se que a tecnologia se torne presente na comercialização do pescado, aumentando a vida de prateleira e agregando valor ao produto final.

Palavras-chave: Alta Pressão Hidrostática. Inativação Microbiana. Proteína de Pescado. Vida de Prateleira.

ABSTRACT-The use of high hydrostatic pressure (HHP) has been applied as a non-thermal conservation and decontamination technique, gaining prominence in the fish industry for providing nutritional and microbiological benefits in production. The technique consists of subjecting the food to high compressions in a confined space containing water to transfer the pressure, causing the pressure to be distributed evenly around the product, preserving its shape. The review describes the importance of using the APH technique in fish, understanding how the technology is being addressed by the literature, what content, research structure and perspectives adopted by researchers and traders. It is expected that the technology will be present in the commercialization of fish, increasing the shelf life and adding value to the final product.

Keywords: High Hydrostatic Pressure. Microbial Inactivation. Fish Protein. Shelf Life.

INTRODUÇÃO

Os alimentos estão sujeitos a diversos tipos de alterações, causadas principalmente por microrganismos, enzimas e reações com o oxigênio do ar. Os processos de conservação dos alimentos, sejam isolados ou em associação, visam evitar essas alterações, possuindo como objetivos principais, o aumento da vida útil e a melhoria da qualidade microbiológica e sanitária dos alimentos (SOUZA et al., 2019).

Tratamento térmico é uma das tecnologias mais utilizada para conservação dos produtos e para reduzir ou matar os microrganismos. Mas, sua grande desvantagem é a possibilidade de causar danos à composição nutricional e muitas vezes nas características sensoriais, realizando um pré-cozimento do alimento. Atualmente, o consumidor está se tornando cada vez mais adepto aos produtos saudáveis, com a menor alteração possível, levando a exigências na comercialização de alimentos que sofram o mínimo de alteração durante o processamento (BINOTI, 2012).

Aceito para publicação em 22/12/2019.

Portanto, pesquisas têm avançado com relação às tecnologias não térmicas (alta pressão hidrostática, impregnação por vácuo, desidratação osmótica, luz ultravioleta, pulsos elétricos), que alteram o mínimo possível das características sensoriais (sabor, cor, aroma, composição nutricional), que resultam na obtenção de produtos com valor aumentado e despertando novas expectativas para a agricultura e para a indústria (TOLA; RAMASWAMY, 2018).

O uso da alta pressão hidrostática (APH) como tecnologia de conservação não térmica de alimentos está em ênfase na indústria alimentícia, pois propicia todos os benefícios do ponto de vista microbiológico e nutricional, na produção de alimentos seguros (SHINAGAWA et al., 2013).

Esta revisão de literatura tem por objetivo contribuir de forma conceitual sobre a importância da utilização de tecnologia não térmica, especificamente a alta pressão hidrostática em pescado, compreendendo como a técnica está sendo abordada pela literatura, qual conteúdo e estrutura das pesquisas e perspectivas que podem ser adotadas pelos próximos pesquisadores e comerciantes.

PROCESSO DE ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA (APH)

O processo por Alta Pressão Hidrostática – APH, também chamado de High Pressure Processing (HPP), High Hydrostatic Pressure (HHP) ou Ultra High Pressure (UHP), nomenclaturas internacionais comumente utilizadas, foi reconhecido como uma técnica de preservação em potencial há aproximadamente um século atrás, por meio de trabalhos conduzidos em 1890 pelo

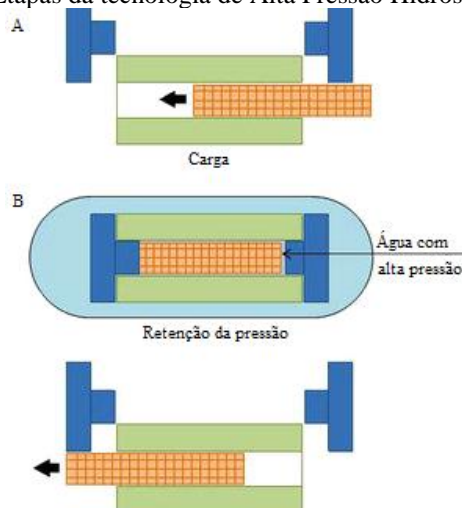
pesquisador Hite (PATTERSON, 2014) e atualmente está em fase de abrangência comercial.

Para compreender os efeitos da APH é necessário conhecer seus princípios básicos como o isostático, no qual a pressão é transmitida de maneira uniforme e instantânea, independente de forma ou tamanho (diferente dos processos térmicos); e o princípio de “Le Chatelier”, onde todo e qualquer fenômeno (transição de fase, mudança na configuração molecular, reação química) acompanhado de uma redução no volume é favorecido pelo aumento da pressão e vice-versa (BARBA et al., 2018).

Este processo não térmico consiste em submeter o alimento sólido ou líquido, embalado ou não, a altas pressões que podem variar de 100 a 1000 MPa nos processos experimentais e entre 400 e 700 MPa nos sistemas comerciais; os tempos de exposição do produto a uma pressão pré-estabelecida podem variar de um milissegundo a mais de 1.200 segundos (SOUSA; GONÇALVES, 2013).

A pressurização é realizada em espaço confinado contendo fluido (no caso da pressão hidrostática é a água – Figura 1) que atua como o meio de transferência da pressão. A pressão pode ser aplicada continuamente (estática) ou de maneira oscilatória, o que permite aos sólidos reterem o seu formato original. A compressão isostática independe do tamanho e geometria do produto, assim como do tamanho do equipamento (SOUSA; GONÇALVES, 2013). Os produtos são carregados em cilindros de aço e submetidos à alta pressão hidrostática. Como a pressão se distribui uniformemente em torno do produto, seu formato é preservado e obtendo um rendimento de aproximadamente 100% sem sofrer danos mecânicos, pois afeta apenas ligações químicas relativamente fracas.

Figura 1 - Etapas da tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH).



Fonte: Sousa e Gonçalves, 2013 (Adaptado de Avure Technologies – www.avure.com).

A APH é vista como uma tecnologia promissora para aumentar a vida de prateleira e melhorar a segurança microbiológica dos produtos alimentares, preservando suas características sensoriais e nutricionais, fornecendo um meio para manter a qualidade dos alimentos, evitando a necessidade de tratamentos térmicos excessivos ou conservantes químicos, proporcionando aos processadores

de alimentos o desenvolvimento de uma nova geração de produtos alimentícios com valor agregado tendo qualidade e validade superiores aos produzidos convencionalmente (ARGYRI et al., 2018). Além disso, um ajuste nas condições do processo leva a alterações positivas na textura, aumentando a capacidade de retenção de umidade

das proteínas, reduzindo a perda de água na armazenagem ou cozimento (SOUSA; GONÇALVES, 2013).

Alguns cuidados durante o processo devem ser levados em consideração, como o controle da temperatura (moderada) durante a alta pressão gerada, para evitar alteração da matéria-prima; usar líquidos de baixa compressibilidade para uma transferência de pressão eficiente, sendo mais indicado a água, que oferece menores riscos com relação a contaminação.

A técnica de APH é aplicada em alguns grupos de alimentos comercializados, como pescado, produtos cárneos cozidos ou curados, geleias e sucos. Outras aplicações potenciais da tecnologia para o pescado são a remoção da carne de carapaças de crustáceos como lagosta, caranguejo e camarão, também para a produção de surimi e para a preparação de pescado defumado a frio (GARCÍA-GIMENO; IZQUIERDO, 2020). Alguns produtos tratados por alta pressão já estão comercialmente disponíveis em países como o Japão, Estados Unidos, Alemanha e Espanha (CHÉRET et al., 2005).

FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO DE APH

A efetividade do tratamento pela alta pressão é influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos ao alimento, como o tempo de tratamento, taxa de compressão/descompressão, temperatura, número de pulsos, composição do alimento e o estado fisiológico dos microrganismos a serem inativados, por isso, um bom conhecimento das etapas e do alimento é essencial para a otimização do processo.

Independentemente do sistema utilizado para o processamento por APH, esse é composto por quatro componentes: recipiente de pressão, sistema gerador de pressão, dispositivo para controle da temperatura e sistema operacional (SOUSA; GONÇALVES, 2013). A parte mais importante é o recipiente, pois é ele que suporta toda a pressão aplicada no processo. O sistema gerador de pressão causa um leve aumento da temperatura do alimento, sendo

este um dos motivos pelo qual é necessário um dispositivo de controle da temperatura.

Outro fator importante e decisivo na efetividade do processo APH é o uso de diferentes faixas de temperaturas (0 – 100 °C), associado ao seu modo de operação que pode ser contínuo ou semi-contínuo que, dependendo da quantidade e tipo de microrganismo a ser reduzido associado as características físicas do alimento, o intervalo de tempo e temperatura assim como a pressão utilizada podem variar (GARCÍA-GIMENO; IZQUIERDO, 2020).

A pressurização indireta é a mais utilizada nos alimentos previamente embalados, geralmente indicados para produtos cárneos (peixes, bovinos e aves) e alimentos processados da mesma origem. Tem como finalidade otimizar a técnica de APH, pois reduz os custos de processamento por utilizar o sistema para vários alimentos sem o risco de contaminação cruzada ou a necessidade de limpeza entre um processamento e outro, uma vez que os alimentos foram previamente embalados (BOVER-CID et al., 2019).

O processo contínuo, citado acima, não é recomendado para produtos derivados de peixes, carnes e embutidos no geral, podendo apenas ser utilizado para alimentos líquidos, já que o equipamento é composto por tubos ou recipientes de retenção que promovem um tempo de tratamento específico para o processo.

PRINCIPAIS ESPÉCIES DE PESCADO UTILIZADAS NO PROCESSO DE APH

As principais espécies utilizadas na tecnologia de APH são de moluscos (bivalves e univalves) e crustáceos (camarão, siri, caranguejos e lagostas), uma vez que a tecnologia de conservação e preservação possui custos elevados, recomenda-se o uso de produtos ou espécies que possuam alto valor agregado no mercado, como uma forma de compensar os custos aplicados. Abaixo segue uma tabela com os principais produtos e espécies utilizadas neste processo.

Tabela 1 - Principais produtos e pescado utilizados na tecnologia de alta pressão hidrostática (APH).

ESPÉCIE OU PRODUTO	CONDIÇÕES DE ALTA PRESSÃO (MPa)	REFERÊNCIAS
Bluefish” (<i>P. saltatrix</i>) e “sheephead” (<i>S. pulcher</i>) (extrato sarcoplasmático)	100-300	Ashie e Simpson (1996)
Bacalhau (músculo)	150 a 800	Angsupanich e Ledward (1998)
Atum (músculo)	150 a 220	Zare (2004)
Salmão defumado (extrato sarcoplasmático)	300	Lakshmanan, Patterson e Piggott (2005)
Robalo (músculo e extrato sarcoplasmático)	100	Chéret et al. (2005)
Robalo (músculo e extrato sarcoplasmático)	500	Chéret et al. (2007)
Lulas (<i>Todarodes pacificus</i>)	300	Gou et al. (2010)
Salmonete (<i>Mullus surmelutus</i>)	220 e 330	Erkan et al. (2010)
Camarão tigre preto (<i>Penaeus monodon</i>)	100, 270 e 435	Kaur et al. (2013)
Salmão defumado	250	Erkan et al. (2011)

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE APH NOS ALIMENTOS

EFEITO DA APH NOS LIPÍDEOS

Desde os anos 90, a APH tem sido utilizada como alternativa para pasteurizar e esterilizar produtos alimentares, como carnes e frutos do mar. Muitas dessas matérias-primas possuem alto teor de lipídios suscetíveis à oxidação, sendo os componentes biológicos mais sensíveis

à pressão causada pela técnica (PATEIRO et al., 2019). A temperatura de fusão dos lipídios (triglicerídeos) aumenta de forma reversível, em temperaturas superiores à 10 °C e a pressões de 100 MPa. Assim, os lipídios presentes no estado líquido à temperatura ambiente cristalizam sob pressão. A pressão favorece a formação de cristais mais densos e mais estáveis (aqueles com menor nível de energia e maior temperatura de fusão) (CHEFTEL; CULIOLI, 1997). Pressões abaixo dos 400 MPa têm um pequeno efeito na oxidação lipídica do músculo do bacalhau, por exemplo, mas pressões superiores afetam a oxidação. Estes resultados sugerem que a oxidação acelerada pode ser devida a desnaturação de proteínas hêmicas pela pressão, liberando íons que promovem a autooxidação dos lipídios (ANGSUPANICH; LEDWARD, 1998).

EFEITO DA APH NOS MICRORGANISMOS

A capacidade de inativação dos microrganismos por APH depende do seu tipo, fase de crescimento, da pressão exercida aplicada, tempo de processamento, composição dos alimentos, temperatura, pH e atividade da água (CAMPUS, 2010).

Os estudos em sua maioria têm demonstrado que as pressões na gama de 300-600 Mpa podem inativar muitos fungos e bactérias vegetativas. No entanto, os

microrganismos podem diferir na sua suscetibilidade intrínseca. As bactérias, em particular, demonstram uma gama de resistências ao processo de APH (MURCHIE et al., 2005). As bactérias gram-negativas são menos resistentes ao APH do que as bactérias gram-positivas, o que pode ser explicado pela complexidade das membranas celulares gram-negativas (KAUR et al., 2013). Contudo, há algumas exceções a essa generalização, como por exemplo, certas estirpes de *E. coli* O157 que são extremamente resistentes à pressão (MURCHIE et al., 2005).

Os riscos de contaminação por esporos podem ser minimizados através do uso do tratamento de APH oscilatório, em que um pré-tratamento com pressão permite facilitar a sua inativação (MURCHIE et al., 2005). Os vírus, independentemente do seu tipo, mostram uma ampla variedade de sensibilidade em resposta ao processo de APH (HEINY; BUCKNOW, 2009). Sugere-se que a resistência do poliovírus pode estar relacionada com o tamanho e forma ou com a sua elevada estabilidade termodinâmica (MURCHIE et al., 2005).

A eficácia da técnica APH para reduzir ou inativar o crescimento microbiano em produtos do mar tem sido relatada em camarão tigre preto, salmão defumado, salmonete, lulas e bacalhau, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado da microbiologia de diferentes pescados com e sem o processo de alta pressão hidrostática (APH).

Produto	Embalamento	Microrganismo	Tempo de Armazenamento	Condições de APH	Resultados (log ufc/g)	Referência
Salmão fumado	Filme de plástico flexível	Contagens totais	8 semanas	Sem APH 250MPa/ 3°C/ 5min 250MPa/ 25°C/ 10min	5,89 <3 <3	Erkan et al. (2011)
Camarão tigre preto (<i>Penaeus monodon</i>)	Vácuo	Contagens totais	20 dias	Sem APH 100 MPa/ 25±2°C/ 5min 270 MPa/ 25±2°C/ 5min 435 MPa/ 25±2°C/ 5min	12,8 ± 0,74 7,65 ± 0,42 7,24 ± 0,09 6,17 ± 0,06	Kaur et al. (2013)
Salmonete (<i>Mullus surmelutus</i>)	Filme de plástico flexível	Psicotrópicos	17 dias	Sem APH 220MPa/ 25°C/ 5min 330MPa/ 3°C/ 5min	7,35 ± 0,07 6,55 ± 0,21 635 ± 0,07	Erkan et al. (2010)
Lulas (<i>Todarodes pacificus</i>)	Vácuo	Contagens totais	12 dias	Sem APH 300MPa/ 20°C/ 5 min 300MPa/ 20°C/ 10 min 300MPa/ 20°C/ 20 min	7,28 ± 0,12 3,69 ± 0,20 3,56 ± 0,11 2,70 ± 0,09	Gou et al. (2010)

EFEITO DA APH NOS PARASITAS

Ao longo dos últimos anos, vêm se observando um crescimento no consumo de pescado cru de água doce e marinha, aumentando a preocupação com relação aos

alimentos com grande potencial para veicular doenças. Parasitas como os trematódos e nematódos são mais comuns, sendo as larvas dos nematódos infectantes da família *Anisakidose* mais frequentes no pescado (SOUZA et al., 2016).

A atual decisão da União Europeia sobre a higiene alimentar (as chamadas 'Higiene Package') leva em consideração o risco da presença de parasitas nos produtos da pesca e permite o consumo de produtos frescos somente quando eles forem comprovados seguros, através do congelamento (-20 °C no centro do produto) ou com outros métodos de eficácia comprovada, como exemplo, marinar de forma suficiente para desvitalizar quaisquer parasitas presentes (Reg. 853/2004, Seção VIII, Cap. III, ponto D). Nos Estados Unidos, as temperaturas necessárias para desvitalizar as larvas são diferentes: 35 °C por 15 h ou 20 °

C por 7 dias (BRUTTI et al., 2010; FDA - Food and Drug Administration, 2001).

Nos últimos tempos, a disponibilidade de novas tecnologias para o setor alimentar, como alta pressão hidrostática (APH), abriu a possibilidade de experimentar sistemas que são menos destrutivos e que estão provando serem eficazes na desvitalização de larvas de nematoides (DONG et al., 2003; MOLINA-GARCIA; SANZ, 2002).

Na Tabela 3 é apresentado alguns trabalhos em que observaram a presença de parasitas no pescado e sua inativação por meio da tecnologia de alta pressão assim como sua eficácia frente a esses organismos.

Tabela 3 - Ação da alta pressão hidrostática (APH) sobre parasitas *Anisakis simplex* em diferentes pescados sobre diferentes condições de pressão.

Pescado	Microorganismo	Condições de APH	Conclusão	Referência
Peixe (não especificou a espécie)	<i>Anisakis simplex</i>	200 MPa 10 min 0-15 °C	Observou inativação parcial dos parasitas	Molina-Garcia e Sanz (2002)
		140 MPa 10 min 0-15 °C	Inativação total dos parasitas	
Sashimi (Salmão cru)	<i>Anisakis simplex</i>	414 MPa 30 s 20 °C	Para todos os tratamentos foram observados a inativação de 100% das larvas	Dong et al. (2003)
		276 MPa 90-180 s 20 °C		
Filé de Sarda (<i>Scomber scombrus</i>)	<i>Anisakis simplex</i>	207 MPa 180 s 20 °C	Observou-se que a partir de 200 MPa houve inativação da larva e com 300 MPa houve 100% de larvas mortas	Brutti et al. (2010)
		100 MPa 5 min 20 °C		
		200 MPa 5 min 20 °C		
		300 MPa 5 min 20 °C		

EFEITO DA APH NAS PROTEÍNAS E ENZIMAS

A alta pressão desnatura as proteínas, podendo variar de acordo com o tipo das proteínas, das condições de processamento e da pressão aplicada. As alterações provocadas são geralmente reversíveis no intervalo de pressões entre 100-300 MPa e irreversíveis para pressões superiores a 300 MPa (MUNIR et al., 2019). A desnaturação pode ocorrer devido à quebra de ligações hidrofóbicas e de pares iônicos. Em pressões altas, as proteínas oligoméricas tendem a dissociarem-se em subunidades tornando-se mais vulneráveis à proteólise. As proteínas monoméricas não apresentam mudanças na sua vulnerabilidade à proteólise com o aumento da pressão (RASTOGI et al., 2007).

Normalmente, sob condições de pressões baixas (100 MPa), a atividade enzimática pode ser aumentada e a maiores pressões a atividade pode ser inativada. A

aplicação de pressões baixas em alimentos pode danificar a membrana das células e libertar enzimas, proporcionando o contato com o substrato (ZARE, 2004). A Tabela 4 apresenta alguns estudos sobre o efeito do tratamento pela APH em algumas enzimas presentes em peixes.

Algumas enzimas encontram-se nos lisossomos, como é o caso da fosfatase ácida (40-60% encontra-se nas membranas dos lisossomos) e das catepsinas B, H, L e D. A alta pressão pode provocar o rompimento da membrana lisossomial e libertar enzimas (OHMORI et al., 1992).

A fosfatase ácida pode ser usada como indicadora de ruptura dos lisossomos. Quando o músculo é pressurizado, observa-se um aumento da atividade da fosfatase ácida indicando libertação de enzimas dos lisossomos, pois quando o extrato sarcoplasmático é pressurizado (lisossomos não intactos) a atividade da enzima diminui, indicando inativação por alta pressão. O mesmo acontece com a catepsina B, H e L. No caso da

catepsina D, ocorre um aumento da atividade aos 300 MPa, diminuindo acima desta pressão e ocorrendo inativação aos 500 MPa no caso do extrato sarcoplasmático pressurizado. Entretanto, no músculo pressurizado, o valor da atividade é igualado ao valor inicial, sugerindo proteção pelo citoplasma (CHÉRET et al., 2005).

Tabela 4 - Efeito da alta pressão sobre algumas enzimas importantes no processo de decomposição do peixe.

Amostra	Condições	Enzimas	Resultados	Referência
Atum (músculo)	150-220 MPa 15 e 30 min. 20°C	Atividade proteolítica geral	- Ostras tratadas a 220 MPa/30 minutos ocorre aumento da atividade ao fim de 22 dias de conservação; - Ostras não tratadas, ocorre aumento da atividade ao 14º dia de conservação.	Zare (2004)
Bacalhau (músculo)	100-800 MPa 20 min. 20°C	Atividade proteolítica geral	- pH 6,6: a atividade diminui acima dos 200 MPa; - pH 3,3 e 9,0: a atividade aumenta até os 200 MPa e diminui em pressões superiores; - 800 MPa não inativa completamente a enzima.	Angsupanith e Ledward (1998)
Salmão defumado (extrato sarcoplasmático)	300 MPa 20 min. 9°C	- Atividade proteolítica geral - Catepsina B e B+L - Calpainas	- Catepsina B e B+L: atividade diminui até os 300 MPa; - Calpainas: diminui atividade até os 100 MPa e depois mantém-se constante até os 300 MPa; diminuição da atividade de todas as enzimas com armazenamento até os 18 dias	Lakshmanan Patterson e Piggott, (2005)
Robalo (músculo e extrato sarcoplasmático)	50-500 MPa 5 min. -10°C	- Calpainas - Catepsina D, B, L e H - Fosfatase ácida	- Calpainas: diminui atividade a partir dos 100 MPa; - Catepsina D: aumenta atividade aos 300 MPa e diminui em pressões superiores; - Catepsina B, L e H: aumenta atividade (mais no extrato sarcoplasmático que no músculo); - Fosfatase ácida: aumenta atividade no músculo e diminui no extrato sarcoplasmático.	Chéret et al. (2005)
Robalo (músculo e extrato sarcoplasmático)	500 MPa 5 min. 10°C	- Calpainas	- Músculo: diminui atividade acima dos 100 MPa e perda total acima dos 350 MPa - Músculo: diminui atividade acima dos 100 MPa e perda total acima dos 350 MPa	Chéret et al. (2007)
Bluefish [®] (<i>P. saltatrix</i>) e "sheephead" (<i>S. pulcher</i>) (extrato sarcoplasmático)	100-300 MPa, 30 min. Temp. ambiente	- Catepsina C - Colagenase - Quimiotripsina - Tripsina	- Diminuição da atividade em todas as enzimas.	Ashie e Simpson (1996)

PRODUTO APH vs VIDA DE PRATELEIRA

As alterações provocadas nos microrganismos e a inativação enzimática proporcionam uma maior instabilidade do produto, ocorrendo alterações indesejáveis nos mesmos. Uma das maiores vantagens do processamento por APH é o aumento da vida útil do produto, ou seja, aumento do tempo de prateleira e maior

segurança do ponto de vista de saúde. Gonçalves e Alves (2013) relatam que ostras processadas a 293 MPa por 120 segundos tiveram uma vida útil de 6 a 8 dias à 5 °C ou 16 a 18 dias quando armazenadas em gelo. Isso mostra que as duas formas de armazenamento aumentaram a vida útil do produto, sendo a vida útil do produto congelado maior que a do produto refrigerado. O processamento por alta pressão também pode potencializar as propriedades funcionais dos

constituintes dos alimentos (por exemplo, proteínas) e até mesmo aumentar o rendimento de certos produtos alimentares (HEMKER et al., 2020; WU et al., 2018; BEMILLER; HUBER, 2015).

EMBALAGEM E ARMAZENAMENTO

As embalagens dos produtos têm como função proteger contra os efeitos de deterioração, que podem incluir descoloração, perda de sabor, cheiro e de nutrientes, mudanças de textura, patogenicidade e outros fatores mensuráveis (MUSA, 2019). O tipo de embalagem utilizada também desempenha um papel importante no processo por APH. Atualmente, vários tipos diferentes de embalagens estão em uso para a técnica, recomendando-se o processamento em embalagens com materiais flexíveis e resistentes, como bolsas de plástico, tubos estéreis, tubos de poliéster, bolsas de polietileno, bolsas de polipropileno fundido em nylon e vários outros sistemas de bolsas flexíveis (MARANGONI JÚNIOR et al., 2019). As propriedades físicas e mecânicas do material também influenciam na eficácia do processo de APH no material alimentar.

Os pacotes devem ter a capacidade de evitar qualquer deterioração na qualidade do produto durante o APH e uma excelente logística deve ser aplicada para distribuir os produtos tratados com pressão. Os alimentos a serem tratados pelo APH podem ser em massa ou individualmente embalados antes ou depois do processamento. Deve-se prestar atenção nas embalagens dos produtos para suportar um volume alterado de até 15%, seguido por um retorno à sua forma original, sem perder a integridade da vedação ou as propriedades de barreira, uma vez que a redução de volume dos alimentos durante o procedimento (devido às pressões muito elevadas) pode fazer com que embalagens não flexíveis sofram estresse e distorção, comprometendo o produto final (KADAM et al., 2012).

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA APH

DESVANTAGENS

Indiscutivelmente, a maior desvantagem no processamento da alta pressão hidrostática é o alto custo da tecnologia. A bibliografia utilizada para realizar a presente revisão afirma que a implementação de todo o equipamento necessário para a realização dos procedimentos sob altas pressões é de valor elevado.

Vanin (2010) aponta outros fatores que limitam a aplicação da APH. Dentre eles, o fato de alguns tipos de alimentos, como verduras e frutas, não tolerarem as altas pressões, uma vez que sofrem alterações de sua forma e aspectos originais. A autora também relata a resistência em se comprar produtos processados sob novas tecnologias por parte dos consumidores e menciona, que produtos que apresentam prejuízos quando submetidos a processamentos térmicos tradicionais e que possuem um alto valor agregado, como o presunto fatiado possui uma aplicabilidade mais praticável da APH.

Apesar dos benefícios já comprovados advindos do emprego de altas pressões, Ferreira et al. (2008) lembram que os resultados desse tipo de tratamento não térmico dependerão do produto, o que exige, portanto, uma cautela quando se estabelecer as circunstâncias do processo.

Dentre as desvantagens, inclui-se também a transferência da escala piloto para escala industrial. Para isso, há a necessidade de expansão de todos os instrumentais necessários para a aplicação da APH (englobando uma maior sanitização, materiais mais resistentes e de baixo valor, um controle de temperatura mais eficiente e maquinários mais automatizados). As embalagens são outro ponto crítico quando se utiliza o processamento sob altas pressões, uma vez que as mesmas necessitam ser resistentes ao tratamento e, igualmente, serem apropriadas a alimentos tanto sólidos quanto líquidos (COELHO, 2002).

Conforme a tecnologia da APH se expande, para cada tipo de alimento há a necessidade de se estabelecer parâmetros de tempo, temperatura e pressão. As escassas informações sobre normas de uso, noções científicas e tecnológicas específicas para cada produto são, até então, deficiências enfrentadas pela tecnologia de alta pressão (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998).

VANTAGENS

Uma das principais vantagens oferecidas pela alta pressão hidrostática nos alimentos, como foi citado por toda a literatura pesquisada, é a permanência de atributos nutritivos, funcionais e sensoriais, quando comparado a tratamentos térmicos tradicionais. Essa vantagem vai de encontro à demanda de mercado que exige produtos com qualidade cada vez mais elevadas tanto no ponto de vista tecnológico quanto no de segurança do alimento.

No que diz respeito à microbiologia do processo, apesar da tecnologia ainda necessitar de muitas pesquisas quanto à forma de inativação dos microrganismos, o processo causa uma inativação microbiana aceitável, sendo eficiente em bactérias, vírus e bolores, mantendo as características sensoriais e nutricionais com boa qualidade (KADAM et al., 2012).

Como a pressão é distribuída uniformemente e instantaneamente por todo o alimento, o processo evita que o produto sofra deformação. Além disso, a APH, diferentemente dos processos térmicos, independe do volume do produto, conferindo um tempo de processamento mais reduzido comparado aos outros métodos (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). O tempo de processamento também é citado por Fellows (2006), no qual o autor enfatiza que a diminuição no tempo de processamento ocorre devido à tecnologia não necessitar do tempo decorrido das etapas de aquecimento e resfriamento e em razão, também, do próprio ciclo de pressurização e despressurização serem rápidos. Quanto à uniformidade do processo, para Fellows (2006), essa característica soluciona a falta da mesma em outros tratamentos como falta de uniformidade encontrada em processamentos como, por exemplo, o aquecimento por condução ou por convecção ou aquecimento radiante. Outra vantagem extremamente importante nos dias de hoje é o fato da alta pressão ser um método de processamento considerado limpo, por não produzir resíduos e, devido ao próprio princípio da tecnologia, consegue reduzir o consumo de energia (VANIN, 2010). Ademais, as alterações provocadas nos microrganismos e a inativação enzimática proporcionam uma maior vida de prateleira ao produto.

PERSPECTIVAS DE MERCADO

O uso da alta pressão hidrostática é uma técnica de processamento não térmico eficiente para a conservação do pescado, com um aumento da vida de prateleira devido à boa inativação microbiana, como também de esporos microbianos quando utilizados processos de pressurização. A implantação do processamento por alta pressão na indústria de pescado é de grande interesse, mas ainda possui um alto custo inicial de investimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as desvantagens (principalmente o custo de implantação) ainda sejam um grande empecilho, a APH é uma tecnologia promissora. Contudo, é importante enfatizar que estudos ainda são necessários para que sejam estabelecidos valores padronizados de tempo, pressão e temperatura para cada tipo de produto para a eficiência tanto tecnológica quanto microbiológica do processo.

E espera-se que à medida em que a tecnologia amadureça e os produtores ganhem experiência, custos mais baixos de equipamento e operação possam ser antecipados, tornando esta tecnologia acessível para mais empresas de alimentos.

REFERÊNCIAS

ANGSUPANICH, K.; LEDWARD, D. A. High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. **Food Chemistry**, v. 63, n. 1, p. 39-50, 1998.

ARGYRI, A. A.; PAPADOPOULOU, O. S.; NISIOTOU, A.; TASSOU, C. C.; CHORIANOPOULOS, N. Effect of high pressure processing on the survival of *Salmonella* Enteritidis and shelf-life of chicken fillets. **Food Microbiology**, v. 70, p. 55-64, 2018.

ASHIE, I. N. A.; SIMPSON, B. K. Application of high hydrostatic pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration. **Food Research International**, v. 29, p. 569- 575, 1996.

BARBA, F. J.; AHRNÉ, L.; XANTHAKIS, E.; LANDERSLEV, M. G.; ORLIEN, V. Innovative Technologies for Food Preservation. **Innovative Technologies for Food Preservation**, p. 25-51, 2018.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de Tecnologia de Alimentos**. Ed. Atheneu, p. 51- 52, 1998.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical modification of food starch functionalities. **Annual Review of Food Science & Technology**, v. 6, p. 1-19, 2015.

BINOTI, M. L., et al. Pulsed electric field / Campo elétrico pulsado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 934-941, 2012.

BOVER-CID, S.; SERRA-CASTELLÓ, C.; DALGAARD, P.; GARRIGA, M.; JOFRÉ, A. New insights on *Listeria monocytogenes* growth in pressurised cooked ham: A piezo-stimulation effect enhanced by organic acids during storage. **International Journal of Food Microbiology**, v. 290, p. 150-158, 2019.

BRUTTI, A.; ROVERE, P.; CAVALLERO, S.; D'AMELIO, S.; DANESI, P.; ARCANGELI, G. Inactivation of *Anisakis simplex* larvae in raw fish using high hydrostatic pressure treatments. **Food Control**, v. 21, p. 331-333, 2010.

CAMPUS, M. High Pressure Processing of Meat, Meat Products and Seafood. **Food Engineering Reviews**, v. 2, p. 256-273, 2010.

COELHO, G. L. V. Efeitos da alta pressão hidrostática em alimentos: aspectos físico-químicos. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, v. 21, n. 1, p. 105-110, 2002.

CHEFTEL, J. C.; CULIOLI, J. Effects of high pressure on meat: A review. **Meat Science**, v. 46, n. 3, p. 211-236, 1997.

CHÉRET, R.; DELBARRE-LADRAT, C.; DE LAMBALLERIE-ANTON, M.; VERREZ-BAGNIS, V. High-Pressure Effects on the Proteolytic Enzymes of Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.) Fillets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 3969-3973, 2005.

CHÉRET, R.; DELBARRE-LADRAT, C.; VERREZ-BAGNIS, V.; DE LAMBALLERIE-ANTON, M. Effect of High Pressure on the Calpain-Calpastatin System in Fish Muscle. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 6, p. 313-316, 2007.

DONG, F. M.; COOK, A. R.; HERWIG, R. P. High hydrostatic pressure treatment of finfish to inactivate *Anisakis simplex*. **Journal of Food Protection**, v. 66, p. 1924-1926, 2003.

ERKAN, N.; ÜRETENER, G.; ALPAS, H. Effect of high pressure (HP) on the quality and shelf life of red mullet (*Mullus surmelutus*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 259-264, 2010.

ERKAN, N.; ÜRETENER, G.; ALPAS, H.; SELÇUK, A.; ÖZDEN, O.; BUZRUL, S. The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, p. 104-110, 2011.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, p. 227 - 233, 2006.

FERREIRA, E. H. R.; MASSON, L. M. P.; ROSENTHAL, A. Efeito da alta pressão hidrostática nos microrganismos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos - B.CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 135- 150, 2008.

FDA – Food and Drug Administration. Food code, Section 3-402.11 (A1 and A2). In 2001 Recommendations of the United States Public Health Service Food and Drug Administration, Washington, DC, 2001.

- GARCÍA-GIMENO, R. M.; IZQUIERDO, G. D. P. **High Hydrostatic Pressure Treatment of Meat Products**, IntechOpen, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.90858.
- GONÇALVES, A.; ALVES, J. P. High pressure technology improves the quality and yield in the seafood industry. **INFOFISH International**, v. 6, 2013.
- GOU, J.; LEE, H.; AHN, J. Effect of high pressure processing on the quality of squid (*Todarodes pacificus*) during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 471-476, 2010.
- HEMKER, A. K.; NGUYEN, L. T.; KARWE, M.; SALVI, D. Effects of pressure assisted enzymatic hydrolysis on functional and bioactive properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) by product protein hydrolysates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 122, 2020.
- KADAM, P. S.; JADHAV, B. A.; SALVE, R. V.; MACHEWAD, G. M. Review on the High Pressure Technology (HPT) for Food Preservation. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 3, n. 135, 2012.
- KAUR, B. P.; KAUSHIK, N.; RAO, P. S.; CHAUHAN, O. P. Effect of High-Pressure Processing on Physical, Biochemical, and Microbiological Characteristics of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 6, p. 1390-1400, 2013.
- LAKSHMANAN, R.; PATTERSON, M. F.; PIGGOTT, J. R. Effects of high-pressure processing on proteolytic enzymes and proteins in cold-smoked salmon during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 541-548, 2005.
- MARANGONI JÚNIOR, L.; CRISTIANINI, M.; PADULA, M.; ANJOS, C. A. R. Effect of high-pressure processing on characteristics of flexible packaging for foods and beverages. **Food Research International**, v. 119, p. 920-930, 2019.
- MOLINA-GARCIA, A. D.; SANZ, P. D. Anisakis simplex larva killed by high-hydrostatic-pressure processing. **Journal of Food Protection**, v. 65, p. 383-388, 2002.
- MUNIR, M.; NADEEM, M.; QURESHI, T. M.; LEONG, T. S. H.; GAMLATH, C. J.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 57, 2019.
- MURCHIE, L. W.; CRUZ-ROMERO, M.; KERRY, J. P.; LINTON, M.; PATTERSON, M. F.; SMIDDY, M.; KELLY, A. L. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, p. 257 – 270, 2005.
- MUSA, A. A. Effect of different packaging methods on consumers eating quality of beef. **Food and Environment Safety**, v. 18, n. 3, p. 235-245, 2019.
- PATEIRO, M.; DOMÍNGUEZ, R.; MUNEKATA, P. E. S.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M. Lipids and fatty acids. Innovative Thermal and Non-Thermal Processing. **Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds**, p. 107-137, 2019.
- PATTERSON, M. F. Food Technologies: High Pressure Processing, In: **Encyclopedia of Food Safety**, edited by Yasmine Motarjemi, Academic Press, Waltham, v. 3 p. 196-201, 2014.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; BALASUBRAMANIAM, V. M.; NIRAJAN, K.; KNORR, D. Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, p. 69-112, 2007.
- Regulamento (CE) nº 853/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho** de 29 de Abril de 2004.
- SHINAGAWA, F. B.; ROSENTHAL, R. D.; ZARUR, A. M. A. Hydrostatic high pressure in sensory attributes of papaya nectar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 10, p. 1898-1904, 2013.
- SOUSA, E. S.; GONÇALVES, A. A. tecnologia de alta pressão aplicada ao pescado. **Higiene Alimentar**, Mossoró, v. 27, p. 140-141, 2013.
- SOUZA, M. A.; COMIN, T.; FEIDEN, T.; FRITZEN, A. A.; POLINA, C. C.; GALVAGNI, E.; FISHER, B.; FERNANDES, I. A.; SOUZA, R. C.; BACKES, G. T.; CANSIAN, R. L. Métodos alternativos de controle microbiano. **Perspectiva**, Erechim. v. 43, n. 163, p. 17-25, 2019.
- SOUZA, M. E.; CARDOSO, E. O.; LEAL, L. A.; LIMA, T. M. P.; TOLEDO, R. C. C. Anisakidose humana: zoonose com risco potencial para consumidores de pescado cru. **Veterinária e Zootecnia**, v. 23, n. 1, p. 25-37, 2016.
- OHMORI, T.; SHIGEHISA, T.; TAJI, S.; HAYASHI, R. Biochemical Effects of High Hydrostatic Pressure on the Lysosome and Proteases Involved in It. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 56, n. 8, p. 1285-1288, 1992.
- TOLA, Y. B.; RAMASWAMY, H. S. Novel processing methods: updates on acidified vegetables thermal processing. **Current Opinion in Food Science**, v. 23, p. 64-69, 2018.
- VANIN, N. G. Aplicação de alta pressão hidrostática em presuntos fatiados embalados a vácuo: uma revisão. 64f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)**, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- WU, D.; TU, M.; WANG, Z.; WU, C.; YU, C.; BATTINO, M.; EL-SEEDI, H. R.; DU, M. Biological and conventional food processing modifications on food proteins: Structure,

functionality, and bioactivity. **Biotechnology Advances**, 2018.

ZARE, Z. High pressure processing of fresh tuna fish and its effects on shelf life. 108f. Department of Food Science and Agricultural Chemistry, **Master of Science**. Montreal, Quebec, Canada: Macdonald Campus of McGill University, 2004.