

# **SISTEMAS INTELIGENTES PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE PESCADO**

---

Débora Craveiro Vieira  
Evellin Balbinot-Alfaro  
Vilásia Guimarães Martins

**SISTEMAS INTELIGENTES  
PARA O MONITORAMENTO  
DA QUALIDADE DE PESCADO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE FURG

Reitor

DANILO GIROLDO

Vice-Reitor

RENATO DURO DIAS

Chefe de Gabinete do Reitor

JACIRA CRISTIANE PRADO DA SILVA

Pró-Reitor de Extensão e Cultura

DANIEL PORCIUNCULA PRADO

Pró-Reitor de Planejamento e Administração

DIEGO D'ÁVILA DA ROSA

Pró-Reitor de Infraestrutura

RAFAEL GONZALES ROCHA

Pró-Reitora de Graduação

SIBELE DA ROCHA MARTINS

Pró-Reitora de Assuntos Estudantis

DAIANE TEIXEIRA GAUTÉRIO

Pró-Reitora de Gestão e Desenvolvimento de Pessoas

LÚCIA DE FÁTIMA SOCOOWSKI DE ANELLO

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

EDUARDO RESENDE SECCHI

Pró-Reitora de Inovação e Tecnologia da Informação

DANÚBIA BUENO ESPÍNDOLA

#### EDITORA DA FURG

Coordenadora

CLEUSA MARIA LUCAS DE OLIVEIRA

#### COMITÊ EDITORIAL

Presidente

DANIEL PORCIUNCULA PRADO

Titulares

ANDERSON ORESTES CAVALCANTE LOBATO

ANGELICA CONCEIÇÃO DIAS MIRANDA

CARLA AMORIM NEVES GONÇALVES

CLEUSA MARIA LUCAS DE OLIVEIRA

EDUARDO RESENDE SECCHI

ELIANA BADIÁLE FURLONG

LEANDRO BUGONI

LUIZ EDUARDO MAIA NERY

MARCIA CARVALHO RODRIGUES

Editora da FURG

Câmpus Carreiros

CEP 96203 900 – Rio Grande – RS – Brasil

[editora@furg.br](mailto:editora@furg.br)

Integrante do PIDL

Editora Associada à



Débora Craveiro Vieira  
Evellin Balbinot-Alfaro  
Vilásia Guimarães Martins

# **SISTEMAS INTELIGENTES PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE PESCADO**



Rio Grande  
2021

© Débora Craveiro Vieira, Evellin Balbinot-Alfaro, Vilásia Guimarães Martins

2021

Diagramação da capa:

Anael Macedo

Formatação e diagramação:

João Balansin

Gilmar Torchelsen

Cinthia Pereira

Revisão Ortográfica e Linguística: Liliana Mendes

#### Ficha Catalográfica

V658s Vieira, Débora Craveiro.  
Sistemas Inteligentes para o monitoramento da qualidade de  
Pescado [Recurso Eletrônico] / Débora Craveiro Vieira, Evellin  
Balbinot-Alfaro, Vilásia Guimarães Martins. – Rio Grande, RS :  
Ed. da FURG, 2021.  
68 p. ; il. color.

Modo de acesso: <http://repositório.furg.br>  
ISBN 978-65-5754-097-8 (eletrônico)

1. Pescado 2. Legislação do Pescado 3. Qualidade do Pescado  
4. Tecnologia 5. Embalagens I. Balbinot-Alfaro, Evellin II. Martins,  
Vilásia Guimarães III. Título.

CDU 567

Catalogação na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos –  
CRB10/2344

*In memoriam*  
Carlos Prentice

# SUMÁRIO

<b>PREFÁCIO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>CENÁRIO E LEGISLAÇÃO DO PESCADO NO BRASIL .....</b>	<b>10</b>
1.1 CENÁRIO DO PESCADO NO BRASIL .....	11
1.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA ATENDIMENTO DA QUALIDADE DO PESCADO .....	13
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>INDICADORES DE QUALIDADE PARA O MONITORAMENTO DO PESCADO .....</b>	<b>16</b>
2.1 INDICADORES DE FRESCOR DO PESCADO .....	17
2.2 INDICADORES (BIO) QUÍMICO .....	18
2.3 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS .....	23
2.4 INDICADORES SENSORIAIS .....	24
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>NOVAS TECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO PESCADO .....</b>	<b>27</b>
3 TECNOLOGIA BIÔNICA SENSORIAL .....	28
3.1 NARIZ ELETRÔNICO .....	28
3.2 LÍNGUA ELETRÔNICA .....	29
3.3 MATRIZ DE SENSORES COLORIMÉTRICOS .....	30
3.4 TÉCNICA DE VISÃO COMPUTACIONAL .....	32
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>EMBALAGENS INTELIGENTES PARA PESCADO .....</b>	<b>33</b>
4 TECNOLOGIAS INTELIGENTES APLICADAS A PESCADOS .....	34
4.1 BIOSSENSORES .....	37

4.2 INDICADORES DE FRESCOR .....	39
4.3 INDICADORES POR RADIOFREQUÊNCIA .....	42
4.4 INDICADORES DE TEMPO E TEMPERATURA .....	44
4.5.1 INDICADORES COMERCIAIS DE TEMPO E TEMPERATURA .....	49
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>

## PREFÁCIO

Segundo a FAO (2020), na pesca, estima-se que 35% do total da produção sejam perdidos ou desperdiçados todos os anos. Como o pescado é um alimento altamente perecível, é necessário um cuidado especial no manuseio, em toda a cadeia de suprimentos, desde a pesca até o consumo. O controle de qualidade é necessário a fim de preservar os atributos nutricionais, além de evitar contaminação, perda e desperdício. O atributo essencial de qualidade do peixe é o frescor, que denota sua vida útil. Depois que o peixe é eviscerado e processado, um dos fatores mais importantes que influenciam na qualidade é a temperatura de armazenamento. Quando o peixe perde a qualidade, inicia o processo de deterioração, cujos micro-organismos responsáveis produzem metabolitos que ocasionam a rejeição sensorial dos peixes. As indústrias brasileiras aplicam alguns métodos oficiais para garantir a qualidade do pescado, são eles: análises sensoriais; indicadores de frescor; controle de histamina e biotoxinas, controle de parasitas – estes são combinados com análises físico-químicos e microbiológicas. A inspeção humana, também, é um método de qualidade utilizado, apesar de sua subjetividade. Portanto, a necessidade de métodos instrumentais independentes da opinião subjetiva de julgadores humanos é uma necessidade para atender à demanda de medição de qualidade na indústria de pescados.

Este e-book tem como objetivo contribuir com o conhecimento de novas tecnologias para monitoramento e controle da qualidade do pescado no Brasil, fornecendo soluções mais econômicas para redução de perdas no processamento do pescado. Dentre os métodos abordados, podemos citar as tecnologias biônico-

sensoriais e os sistemas de embalagem inteligente, nos quais são baseados em sensores internos ou externos que, combinados com modelos matemáticos, avaliam frescor do peixe sob diferentes condições que podem ocorrer na cadeia de processamento. Já existe registro do uso destas novas tecnologias no mercado internacional, porém, no Brasil, tais inovações não conquistaram a indústria pesqueira.

## **CAPITULO 1**

# **CENÁRIO E LEGISLAÇÃO DO PESCADO NO BRASIL**

## 1.1 CENÁRIO DO PESCADO NO BRASIL

De acordo com o Decreto nº 9.013 (BRASIL, 2017), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a pesca é a atividade que se baseia na retirada de recursos pesqueiros do ambiente natural, e a aquicultura é o cultivo, normalmente, em um espaço confinado e controlado, de organismos aquáticos. A atividade produtiva se divide em diferentes modalidades: piscicultura (criação de peixes), carcinicultura (criação de camarões), ranicultura (criação de rãs), malacocultura (criação de moluscos, ostras e mexilhões), algicultura (cultivo de algas) e outras espécies com menor apelo comercial, tais como, a quelonicultura (criação de tartarugas e tracajás) e a criação de jacaré (SCHULTER; VIEIRA, 2017).

Estima-se que a produção global de pescado tenha atingido cerca de 96,4 milhões de toneladas em 2018. A China continuou sendo um grande produtor de pescado, respondendo por 35% da produção mundial; uma parcela significativa da produção provém da Ásia (34%), seguida pelas Américas (14%), Europa (10%), África (7%) e Oceania (1%) (FAO, 2020). O Brasil ocupa a 13ª posição na produção de peixes em cativeiro e é o 8º na produção de peixes de água doce da América do Sul (PEIXE BR., 2019). Segundo o IBGE (2019), o Sul representa a maior participação do mercado no Brasil, com 30,97%, seguida da região Nordeste (26,6%), região Norte (15,9%), região Sudeste (15,1%) e Centro-Oeste (11,31%).

O consumo global de pescado aumentou a uma taxa média anual de 3,1% de 1961 a 2017, sendo superior às demais proteínas animais, que aumentaram 2,1% ao ano. Em 2017, o consumo de pescado representou 17% da ingestão de proteínas animais na população global e 7% de todas as proteínas consumidas. Globalmente, o

pescado fornece, a mais de 3,3 bilhões de pessoas, 20% de sua ingestão média per capita de proteína animal (FAO, 2020).

A produção da pesca e da aquicultura é altamente diversificada em termos de espécies, processamento e formas de produtos destinados a usos alimentares ou não alimentares. Segundo dados do IBGE, no ano de 2015, a produção de peixes de água doce foi a principal categoria dentro da aquicultura brasileira, respondendo por 84% da produção aquícola do País. A aquicultura marinha responde por apenas 16% da produção total, e, entre as espécies de peixe, a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) respondem por 62% da produção nacional (IBGE, 2016).

Na produção de piscicultura, de acordo com a Embrapa (2017), as espécies mais comuns produzidas no país são: o tambaqui, pirarucu e pirapitinga, tilápia e camarão marinho, carpa, jundiá, ostra e mexilhão. De modo que o peixe vivo, fresco ou refrigerado ainda representa o maior consumo humano direto (44%). Seguindo do pescado congelado (35%), preparado e conservado (11%) e curado (10%) (FAO, 2020).

Na pesca e na aquicultura, estima-se que 35% desse total sejam perdidos ou desperdiçados todos os anos (FAO, 2020). Como o pescado é um alimento altamente perecível, é necessário um cuidado especial no manuseio, em toda a cadeia de suprimentos, desde a colheita até o consumo. O controle de qualidade é necessário a fim de preservar os atributos nutricionais, além de evitar contaminação, perda e desperdício (CHUNG *et al.*, 2017).

Apesar dos avanços e inovações técnicas, o Brasil ainda carece de infraestrutura, serviços e práticas adequadas para o manuseio adequado a bordo e em terra para monitoramento e preservação da qualidade do pescado. As principais deficiências estão relacionadas ao

acesso à eletricidade, à água potável, às estradas, ao armazenamento e ao transporte refrigerado (SCHULTER; VIEIRA, 2017).

## **1.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA ATENDIMENTO DA QUALIDADE DO PESCADO**

Para atender a esses padrões de segurança e qualidade dos alimentos e garantir a proteção do consumidor, podem ser adotadas medidas rigorosas de higiene nos níveis regional, nacional e internacional, com base no Código de Práticas do Codex para Peixes e Produtos da Pesca e suas orientações (CODEX ALIMENTARIUS, 2016).

No Brasil, a inspeção e a fiscalização de estabelecimentos de produtos de origem animal que realizem o comércio interestadual ou internacional, de que trata este Decreto, são de competência do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal – DIPOA e do Serviço de Inspeção Federal – SIF, vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os controles oficiais do pescado e dos seus produtos, no que for aplicável, é abrangido pelo DECRETO Nº 9.013, DE 29 DE MARÇO DE 2017 (BRASIL, 2017).

Os controles oficiais do pescado e dos seus produtos abrangem: análises sensoriais; indicadores de frescor; controle de histamina e biotoxinas ou de outras toxinas perigosas para saúde humana e controle de parasitas. Devido à complexidade do processo de decomposição do pescado, as indústrias, no Brasil, utilizam métodos combinados, como as análises sensoriais, físico-químicos e microbiológicas para avaliação da qualidade do pescado.

A avaliação sensorial é o método mais utilizado, sendo comumente realizada no setor de pescado e pelos

serviços de inspeção sanitária. A inspeção sanitária do pescado, realizada conforme a legislação brasileira em vigor, baseia-se, principalmente, em observações sensoriais, privilegiando a visão, o tato e o olfato, e verificando a apresentação, o aspecto, a consistência, a resistência e o odor (PRATA, 1999). O RIISPOA – Regulamento na inspeção industrial e sanitária (BRASIL, 2017) descreve as características sensoriais necessárias para selecionar pescado fresco próprio para consumo.

Para alcançar a precisão, a avaliação sensorial requer treinamento e habilidade consideráveis. Em um contexto comercial, sua aplicação é demorada e dispendiosa. O Método do Índice de Qualidade (QIM) pode apresentar-se mais eficiente, mas ainda precisa de mais desenvolvimento para uma gama mais ampla de espécies e produtos, para o treinamento de avaliadores e para a harmonização de sua aplicação para o comércio (LUTEN, J. B.; OEHLENSCHLÄGER; ÓLAFSDÓTTIR, 2003). De fato, em um contexto comercial, é muito mais prático e econômico deduzir qualidade de frescor de uma base de dados.

Nos casos em que a avaliação sensorial revele dúvidas acerca do frescor do pescado, deve-se recorrer a exames físico-químicos complementares. Os métodos físico-químicos são utilizados para quantificar a formação de compostos de degradação no pescado. No Brasil, os métodos analíticos oficiais são estabelecidos pela Instrução Normativa 20, de 26 de junho de 2018, compilados no “Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal” entre os métodos físicos (pH, tensão das fibras musculares, propriedades elétricas, dureza e viscosidade) e os químicos (nitrogênio das bases voláteis totais, nitrogênio de trimetilamina, hipoxantina, histamina, aminas, aminoácidos livres, H<sub>2</sub>S) são avaliados como indicador de qualidade (BRASIL, 2018).

A Instrução Normativa 60, de 23 de dezembro, complementa a RDC 331/2019, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (BRASIL, 2019b), a qual estabelece as listas de padrões microbiológicos para os alimentos e sua aplicação. Na categoria específica de pescado e miúdos, crus, temperados ou não, frescos, refrigerados ou congelados, os indicadores microbiológicos exigidos são *Salmonella*, *Estafilococos coagulase positivo* e *Escherichia coli*, assim como exige um limite máximo de 100 mg/kg de histamina para pescados com elevado teor de histidina (BRASIL, 2019a).

## **CAPITULO 2**

# **INDICADORES DE QUALIDADE PARA O MONITORAMENTO DO PESCADO**

## 2.1 INDICADORES DE FRESCOR DO PESCADO

Efetivamente, os produtos da pesca são muito perecíveis em comparação com outros de origem animal, devido, não só às suas características intrínsecas, mas também ao habitat natural. Os pescados apresentam elevada conteúdo proteico e água em sua composição, fatores que contribuem para o crescimento da flora microbiana, e essas alterações colaboram para sua desvalorização ou rejeição (NUNES; BATISTA; CARDOSO, 2007; TAHERI-GARAVAND *et al.*, 2020).

É fundamental na garantia da qualidade do pescado, avaliando o frescor frente às alterações físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas nos peixes durante as etapas de processamento, comercialização e venda (HUANG; XIN; ZHAO, 2011). Os pescados sofrem rápida deterioração após a morte devido aos mecanismos de decomposição microbiana, gerando perda de ácidos graxos, vitaminas lipossolúveis, funcionalidade das proteínas e o desenvolvimento de odores indesejáveis (CICERO *et al.*, 2014). Essa perda da qualidade também está associada ao estado da espécie *in natura* e às condições de manuseio e estocagem que este recebe antes da morte (RODRÍGUEZ *et al.*, 2006).

Com a perda do frescor do pescado, a deterioração acentua-se devido ao crescimento de micro-organismos e à atividade de enzimas endógenas e outros processos bioquímicos (OCAÑO-HIGUERA *et al.*, 2011). A taxa dessas mudanças mencionadas varia de espécie para espécie e depende da condição fisiológica do pescado, contaminação microbiana, métodos de manejo e condições de armazenamento. Várias mudanças post-mortem ocorrem, tais como: degradação de trifosfato de adenosina ATP (relacionada ao valor K), produção de compostos indesejáveis, incluindo a de trimetilamina

(TMA) e bases voláteis de baixa massa molar (NBVT), alterações microbianas e assim por diante (LI *et al.*, 2017).

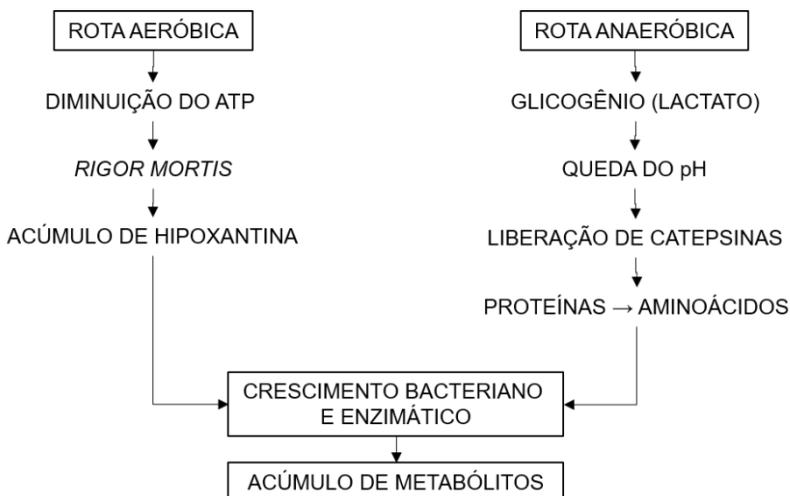
A qualidade dos produtos da pesca e aquicultura é, em grande parte, determinada pela qualidade global e pelo grau de frescor. A qualidade global avalia o frescor do pescado em função das suas propriedades nutricionais, sensoriais e fisiológicas, assim como integra o estudo da segurança alimentar, baseado nos parâmetros de processo, tal como: custo final do produto, tipo de embalagem, de conservação e vida útil. Porém, o frescor do pescado é definido como um atributo objetivo, o qual determina a qualidade real através dos indicadores sensoriais, (bio) químicos, microbianos e físicos.

Mais informações sobre os indicadores de frescor podem ser consultadas no estudo de revisão de Prabhakar *et al.* 2020. Este trabalho aborda com detalhes os métodos de avaliação do frescor do peixe, e o limite recomendado para diferentes indicadores físicos, químicos e microbiológicos, relacionando as metodologias aplicadas, interpretação de resultados e pontos positivos e negativos de cada método.

## **2.2 INDICADORES (BIO) QUÍMICO**

Após a morte, as mudanças imediatas são processos autolíticos químicos e enzimáticos. A autólise traz várias alterações estruturais nos tecidos, incluindo *rigor mortis* e diferentes graus de desintegração da estrutura muscular (LOUGOVOIS; KYRANA, 2005). A Figura 1 mostra, em detalhes, os mecanismos autolíticos *post mortem* envolvidos na deterioração dos pescados armazenados, com frio, pela rota aeróbia e anaeróbica.

**Figura 1.** Formação dos metabólitos gerados *post mortem* do pescado



**Fonte:** autor

Os métodos de captura influenciam no tempo do *rigor mortis* e dos gastos de glicogênio. Portanto, após a morte do animal, o sistema circulatório deixa de fornecer oxigênio aos músculos e aos combustíveis metabolizáveis, como a glicose. E dessa forma, como não há oxigênio disponível para respiração normal, o sistema mitocondrial para de funcionar em todas as células, podendo atuar pela via metabólica anaeróbica (VIEIRA, 2004).

Na rota aeróbica, a principal rota de degradação do ATP, nos músculos dos pescados pós-morte, o glicogênio se decompõe através da glicólise, com o acúmulo simultâneo de ácido láctico e triptofato de adenosina (ATP); este é decomposto em adenosina-5'-difosfato (ADP), que, sequencialmente, degrada-se à adenosina-5'-monofosfato (AMP), inosina-5'-monofosfato (IMP), inosina (HxR) e hipoxantina (Hx), que pode ser degradada ainda mais para

xantina e ácido úrico (OKUMA; WATANABE, 2002).

Com a decomposição do ATP, fibrose e actinas se agregam formando a actomiosina, endurecendo os músculos dos pescados. O pescado, em *rigor mortis*, é, normalmente, aceitável na fase bioquímica inicial; a atividade das bactérias não é ativa devido ao baixo pH e à proteína macromolecular como fonte de nitrogênio (SOARES; GONÇALVES, 2012).

De acordo com Saito et al. (1959), é possível avaliar a qualidade do pescado fresco, através do valor K (Eq. 1), que é definido como a razão da soma das concentrações de HxR e Hx sobre a soma das concentrações de ATP e seus produtos de decomposição. Como indicador químico, o valor K é preciso para avaliar o frescor dos pescados, especialmente, para peixe em um nível cuja deterioração não é tão grave. Após 24 horas do abate, o ATP, ADP e AMP desaparecem completamente, o valor K é modificado para valor de k1 (Eq. 2), que é a razão de hipoxantina sobre adenina (Hamada-Sato et al., 2005).

$$K (\%) = \frac{[HxR]+[Hx]}{[ATP]+[ADP]+[AMP]+[IMP]+[HxR]+[HX]} * 100\% \quad \text{Eq. 1}$$

$$K1 (\%) = \frac{[HxR]+[Hx]}{[IMP]+[HxR]+[HX]} * 100\% \quad \text{Eq. 2}$$

À medida que a deterioração prossegue, a degradação proteolítica torna-se mais vigorosa. O aumento da oferta de aminoácidos resultantes da proteólise suporta maior produção de amônia e ácidos voláteis nos últimos estágios de deterioração. Vários compostos voláteis contendo aminas, amônia, indol, sulfeto, histamina, putrescina, cadaverine, tiramina são produzidos a partir da degradação bacteriana das proteínas (MÉNDEZ; PAZOS, 2017).

As aminas voláteis, como o óxido de trimetilamina, (TMAO), trimetilamina (TMA), amônia (NH<sub>3</sub>) e dimetilamina (DMA) compreende os compostos de nitrogênio básico volátil total (NBVT), que são as substâncias características responsáveis pelos odores do pescado. O conteúdo de NBVT é reconhecido como um índice de deterioração de frutos do mar, e as aminas voláteis estão diretamente relacionadas à qualidade sensorial dos pescados. Entre os NBVTs, a concentração de TMA, que é uma amina volátil produzida imediatamente após a morte dos peixes, é a responsável pelo odor característico de peixe. O composto óxido de trimetilamina (TMAO) é conhecido como um produto da oxidação do TMA e é um metabólito comum, encontrado em níveis elevados em pescados e crustáceos de águas profundas (HEISING, 2014).

Durante o armazenamento do pescado, o TMAO é convertido em TMA por um grupo bacteriano conhecido como organismo específico de deterioração (SSO) que provoca alterações químicas que levam à putrefação, especialmente, na pele e na superfície das guelras. Esses micro-organismos específicos, independentemente da origem dos pescados armazenados aerobicamente, sob condições refrigeradas, são geralmente relatados como *Pseudomonas spp.* (CHUN; KIM; SHIN, 2014).

As aminas biogênicas também podem ser úteis na estimativa do frescor ou no grau de deterioração dos pescados, porque esses compostos são encontrados em níveis muito baixos em pescados frescos, e sua formação está associada à deterioração bacteriana. Além disso, as aminas biogênicas podem ser úteis como indicadores de matéria-prima de baixa qualidade em produtos de pescado preservados, por serem compostos termicamente estáveis (VECIANA-NOGUÉS, M, 1976). Um estudo de revisão completo de Al Bulushi *et al.* (2009) relata que as

aminas biogênicas mais estudadas são histamina, cadaverina e putrescina. Sendo que a histamina é produzida por descarboxilação de histidina, cadaverina por descarboxilação de lisina, e putrescina por descarboxilação de ornitina. Sendo que a histamina (HI) é a única amina biogênica com um limite máximo legal (PONS-SÁNCHEZ-CASCADO *et al.*, 2006).

Os pescados têm alto teor de ácidos graxos insaturados, que podem, facilmente, oxidar ácidos alifáticos, aldeídos e cetonas, resultando em alterações no odor, sabor, textura, cor e valor nutricional. A oxidação começa, imediatamente, após a pesca, mas se torna particularmente importante para a vida útil apenas abaixo da temperatura de 0°C, quando a oxidação, em vez da atividade microbiana, se torna o principal fator de deterioração. O início da oxidação lipídica surge de várias alterações post mortem iniciais nos tecidos dos pescados. Essas mudanças incluem o acúmulo de espécies ativas de oxigênio, a ativação de hemoproteínas e o aumento do ferro livre (ÓLAFSDÓTTIR *et al.*, 1997).

Portanto, a oxidação lipídica, também, é uma causa de deterioração dos pescados e é considerada como um atributo crítico para o frescor dos mesmos. O mecanismo envolve três estágios: iniciação, propagação e término. Na iniciação, há a formação de radicais livres de lipídios com a ajuda de catalisadores como calor, íons metálicos e irradiação. Os radicais peroxílicos são formados quando esses radicais reagem com oxigênio (MOURENTE; BELL; TOCHER, 2007). O índice de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBAR) é normalmente usado para determinar os produtos oxidativos secundários para interpretar o grau de oxidação lipídica posterior. E o malonaldeído é utilizado como um indicador de dano oxidativo em pescado (CHENG *et al.*, 2016).

Além disso, as substâncias voláteis em pescados podem ser produzidas pelo crescimento dos organismos específicos de deterioração. As *pseudomonas spp.* podem produzir álcool, acetaldeído, ésteres, cetonas, aminas, sulfetos e trimetilamina, resultando em odores frutados ou ésteres, durante o armazenamento inicial, enquanto *Shewanella putrefaciens* pode desenvolver odores indesejáveis a sulfeto, devido à disponibilidade de livre cistina e metionina (OLAFSDOTTIR *et al.*, 2006). Com o prolongamento do período de armazenamento, a oxidação de lipídios insaturados de cadeia longa pode produzir odor rançoso, causado por aldeídos, como hexanal e decanal (ARO; TAHVONEN; KOSKINEN, 2003).

## 2.3 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Nos primeiros dois dias de armazenamento, a qualidade da pele dos peixes inteiros (integridade, coloração, resistência) são parâmetros avaliados durante a produção, como atributo sensorial que minimiza os riscos de contaminação microbiana. Portanto, o manuseio e o armazenamento do pescado refrigerado provocam uma mudança gradual no número, distribuição e composição da flora microbiana (GONÇALVES, 2011). Após um período inicial, o aumento populacional é dependente, principalmente, da temperatura de armazenamento e se os peixes foram retirados de águas frias ou quentes (LOUGOVOIS; KYRANA, 2005).

A flora microbiana de peixes em águas temperadas, cuja temperatura do fundo do mar é de 10°C ou menos, é dominada por bactérias psicotróficas gram-negativas. No entanto, para peixes de águas quentes (tropicais e subtropicais), muitas vezes, carregam uma grande população de bactérias mesófilas gram-positivas. Além das bactérias, vários gêneros de leveduras podem estar

presentes em pequenos números entre as microfloras superficiais dos peixes. No entanto, nem todos os micro-organismos, inicialmente presentes nos peixes, contribuem para a deterioração, sendo que os organismos de deterioração específicos (SSO) são os micro-organismos que produzem os metabólitos de deterioração que causam a rejeição sensorial dos pescados (SUN, J. *et al.*, 2018).

O estabelecimento do SSO e de seu domínio de deterioração é essencial para uma abordagem quantitativa da estimativa da qualidade e vida útil dos pescados (KOUTSOUMANIS *et al.*, 2002). Por exemplo, em pescados embalados aerobicamente, os organismos indicadores são constituídos pela flora aeróbia Gram-negativa (principalmente, *pseudomonas* e *Shewanella putrefaciens*).

Modelar o comportamento dessa microflora e correlacioná-lo, quantitativamente, com o prazo de validade pode fornecer uma ferramenta eficaz para prever a qualidade do pescado resfriado. Para conseguir isso, é necessário não apenas identificar os organismos específicos de deterioração, mas também definir o domínio de deterioração. Para avaliar a qualidade do pescado, é necessário determinar os diferentes grupos de micro-organismos responsáveis pela deterioração (KOUTSOUMANIS, K. P.; TAOUKIS; DROSINOS, 2000), que foi exposto às diferentes condições de tempo, temperatura, tipo de conservação, embalagens, entre outros.

## **2.4 INDICADORES SENSORIAIS**

A avaliação sensorial emprega os mesmos sentidos usados pelos consumidores quando fazem julgamentos subjetivos sobre qualidade e, portanto, é uma maneira segura de obter informações sobre a qualidade do frescor (CHUNG *et al.*, 2017). Os sentidos humanos

são melhores em reconhecer complexidades e podem ser mais discriminatórios do que instrumentos. No entanto, suas respostas podem variar, particularmente, com fadiga ou distração externa, e usar um painel de assessores treinados pode ser caro e inconveniente (PONS-SÁNCHEZ-CASCADO *et al.*, 2006). Entretanto, os métodos sensoriais são os procedimentos mais comuns usados para avaliar o frescor durante o armazenamento de peixes crus e cozidos (NOLLET; TOLDRÁ, 2009).

Os peixes recém-capturados têm uma pele brilhante, coberta com uma fina camada de lodo uniformemente espalhado, quase transparente. Os olhos são brilhantes, convexos, com pupila preta e córnea transparente. As brânquias são, geralmente, da cor rosa ou vermelho brilhante e livre de lodo visível (BRASIL, 2017). À medida que o peixe deteriora, a pele se torna opaca, esbranquiçada e áspera ao toque. Os olhos, gradualmente, encolhem e passam de plano para côncavo (afundado), e a pupila fica nublada e leitosa, e a córnea, opaca. As brânquias assumem uma aparência rosa branqueada e clara, que, finalmente, muda para marrom amarelado ou acinzentado, e o lodo, na pele e nas brânquias, torna-se turvo e descolorido, como resultado do aumento do crescimento bacteriano. A cor da carne de peixe muda de branco para cinza, e o peritônio torna-se maçante e pode ser progressivamente mais facilmente separado das paredes internas da cavidade visceral (LOUGOVOIS; KYRANA, 2005).

A formação de voláteis, durante a deterioração do pescado, pode promover alterações nas características sensoriais. Dentre os principais compostos encontrados em pescados, pode-se citar o grupo dos aldeídos, álcoois, hidrocarbonetos, cetonas e aminas (IGLESIAS *et al.*, 2009). Entre os compostos relacionados com processo deteriorativo, pode-se destacar como indicadores os

álcoois de cadeia curta, alguns aldeídos e cetonas. Os alcoóis têm, tipicamente, menor limiar de odor que aldeídos e cetonas e não contribuem muito para os odores de deterioração. Altas concentrações de cetonas têm sido encontradas em amostras com maiores índices de deterioração e correlacionadas com odores doce/azedo e atributos de “*off flavor*” e sabor (JONSDOTTIR *et al.*, 2008).

As medidas de propriedades físicas incluem medição de cor e medição de textura especificamente, enquanto a forma, tamanho, volume e peso também desempenham um papel importante na determinação do frescor (ÓLAFSDÓTTIR *et al.*, 1997). A textura (elasticidade e plasticidade) do músculo do peixe depende de fatores biológicos intrínsecos relacionados à densidade das fibras musculares e ao teor de gordura do peixe (GARRIDO-NOVELL *et al.*, 2017). Após a morte, durante o rigor mortis, a deterioração autolítica altera as características das fibras, e o músculo torna-se mais macio e menos elástico. Em peixes congelados, a água que normalmente envolve as fibras musculares migra, formando cristais de gelo, e as fibras expostas são capazes de reticular, levando ao endurecimento do tecido quando submetida sob congelamento durante prolongado tempo de armazenamento (GARRIDO-NOVELL *et al.*, 2017).

Apesar das variações de textura poderem ser monitoradas sensorialmente, foram desenvolvidas técnicas reológicas objetivas que conseguem reproduzir a avaliação de um painel de peritos (SANTOS, 2008). Segundo Oliveira *et al.*, (2014), os resultados demonstram que os peixes expostos ao estresse e à alta manipulação no abate apresentam textura mais suave e curta vida de prateleira.

## **CAPITULO 3**

# **NOVAS TECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO PESCADO**

### **3 TECNOLOGIA BIÔNICA SENSORIAL**

O desenvolvimento de sensores e técnicas instrumentais, em alimentos, têm estimulado avanços nas análises estatísticas, especialmente, na análise multivariada e na fusão de dados multissensores. Aplicam-se diferentes técnicas simultaneamente, com o intuito de simular os sentidos humanos a fim de obter respostas mais precisas com relação ao frescor do pescado (LUTEN, 2003).

A tecnologia biônica sensorial é desenvolvida em grande medida, imitando os sentidos do ser humano, portanto, complementares e alternativas aos métodos tradicionais de avaliação sensorial. No entanto, as técnicas biônicas só podem classificar, qualitativamente, o nível de frescor dos pescados. As técnicas biônicas podem monitorar, em tempo real, o frescor do pescado durante o armazenamento e transporte através da integração de diversas tecnologias: nariz e língua eletrônica, matriz colorimétrica e técnica de visão computacional (WU; PU; SUN, 2019).

#### **3.1 NARIZ ELETRÔNICO**

O nariz eletrônico (E-nose) é um instrumento capaz de medir a concentração ou a intensidade odorante de modo similar a um olfatômetro, mas sem as limitações inerentes ao uso de painéis humanos (FIRESTEIN, 2001), objetivando estabelecer uma relação entre a medição de cores e o grau de frescor dos pescados.

O E-nose é um dispositivo portátil que vem sendo estudado para avaliar o frescor dos pescados (EL BARBRI *et al.*, 2008; GÜNEY; ATASOY, 2015; NATALE *et al.*, 2001; O'CONNELL *et al.*, 2001); os pesquisadores citam vantagens em relação a outros métodos, como a

espectroscopia e as técnicas de imagem (LOUTFI *et al.*, 2015).

O'connell *et al.*, (2001), também, investigaram o E-nose com sensor a gás, com base em dióxido de estanho, para avaliar o frescor dos pescados e observaram uma relação direta entre o aumento da resposta de sinais, relacionado com os dias de armazenamento e degradação do pescado.

Güney e Atasoy (2015) relataram o desenvolvimento de um sistema de nariz eletrônico, configurado para oito sensores de óxido metálico para distinguir entre três espécies diferentes de pescados. A precisão alcançada usando este método mostra o sucesso quando comparado com os outros métodos convencionais.

Alguns pontos negativos integram esta tecnologia do nariz eletrônico, é a falta de sensibilidade do dispositivo, com relação a identificação e concentração do odor, além de não detectar bases voláteis totais em baixos níveis de concentração, fatos que limitam seu uso para medição do frescor do pescado (HUANG; XIN; ZHAO, 2011). Os desafios enfrentados pelos pesquisadores é desenvolver um E-nose, que seja capaz de discriminar rapidamente compostos voláteis em baixas concentrações e eliminar interferências resultantes de alterações na umidade.

### **3.2 LINGUA ELETRÔNICA**

O paladar humano consiste em cinco sabores básicos: ácido, doce, salgado, amargo e umami. A avaliação de sabor de produtos alimentícios é, comumente, realizada por painel sensorial humano (treinado ou não) (JIANG *et al.*, 2018). Entretanto, executar um treinamento sensorial é relativamente demorado, podendo haver preconceito em caso de

treinamento ineficiente (SCHLOSSARECK; ROSS, 2019). A língua eletrônica é uma alternativa de detecção rápida, imparcial e de baixo custo (YAMANAKA, 1990).

A língua eletrônica consiste em uma matriz de sensores químicos, um recipiente de reação, dispositivo de medição, transdutores e dispositivos de aquisição de dados e processamento de dados e algoritmos de conhecimento de padrões. As funções de um sistema de língua eletrônica podem ser alteradas usando diferentes tipos de sensores, diferentes estratégias de processamento de dados e algoritmos de reconhecimento de padrões (RUIZ-RICO *et al.*, 2013).

A língua eletrônica tem um grande potencial para detecção de frescor de pescado, garantindo a qualidade e segurança (APETREI, *et al.*, 2013; YAMANAKA, 1990). As aminas são uma via de degradação, e a medição delas pode fornecer uma importante informação sobre o frescor do pescado. Um sistema com sensores quimicamente modificado de língua eletrônica foi utilizado para avaliar os limites de detecção global de aminas. Os resultados demonstram que a língua eletrônica pode ser aplicada, efetivamente, na análise de frescor do pescado (APETREI, *et al.*, 2013; RUIZ-RICO *et al.*, 2013).

A fim de superar as desvantagens dos métodos de avaliação de frescura convencionais, várias tecnologias de sensor foram desenvolvidas. O sistema de língua eletrônica pode ser usado como um método rápido e não destrutivo, aplicado ao controle de qualidade de rotina em qualquer estágio da cadeia produtiva (HAN *et al.*, 2015).

### **3.3 MATRIZ DE SENSORES COLORIMÉTRICO**

O olfato humano, como instrumento de avaliação de odores, na indústria alimentícia, é limitado. O olfato humano é subjetivo, facilmente fatigado e desordenado;

em consequência disso, há uma necessidade de um instrumento que possa substituí-lo na indústria de alimentos (LOUTFI *et al.*, 2015). Há muitos relatos de estudos bem-sucedidos utilizando o sistema de nariz eletrônico, no entanto existem algumas limitações na sensibilidade para detecção de compostos quando presentes em baixas concentrações (SUSLICK; RAKOW; SEN, 2004).

Segundo Suslick, Rakow e Sem (2004), a tecnologia de matriz de sensor colorimétrico pode ser aplicada para visualização de odores e compostos orgânicos voláteis (VOCs), sendo capaz de detectar e diferenciar componentes complexos. É um sensor com tecnologia para respostas cruzadas, visando simular o sistema olfativo dos mamíferos, produzindo respostas compostas exclusivas para cada odor (DIEHL; ANSLYN, 2013). A matriz de sensores colorimétricos utilizam corantes de resposta cruzada e quimicamente responsivos para gerar uma resposta composta, semelhante à olfativa, que é única para um determinado odor e pode ser quantificada por imagem digital (QIN *et al.*, 2012).

Conjunto de sensores colorimétricos vêm sendo desenvolvidos, com intuito de que sejam capaz de discriminar a deterioração dos peixes durante o armazenamento, em diferentes graus de degradação (HUANG; XIN; ZHAO, 2011). Rakow e Suslick, (2000) relatam um método de detecção química óptica simples, com detecção de vapor que permite a identificação visual de uma ampla gama de vapores de ligação. Huang; Xin; Zhao (2011) propõem, em seu estudo, um sensor colorimétrico com 87% de eficiência na detecção de odores de deterioração do pescado durante o armazenamento.

As pesquisas sugerem que as matrizes de sensores colorimétricos são viáveis para garantia de qualidade/controle de pescados. Esta tecnologia,

também, pode ser útil para outros tipos de alimentos com alto teor de proteína.

### **3.4 TÉCNICA DE VISÃO COMPUTACIONAL**

Algumas técnicas de processamento de imagens abrem o caminho para a exploração da qualidade em diferentes produtos alimentares, fornecendo soluções mais econômicas, como o parâmetro de coloração, que podem contribuir na determinação do frescor em amostras de pescados (DUTTA, M. K. *et al.*, 2016). No entanto, a técnica colorimétrica pode ser enganosa e deve ser devidamente validada cientificamente (DUTTA, N.; BISWAS; SAHA, 2017).

Estudos envolvendo a aplicação de técnicas de processamento de imagem ao setor de industrialização de alimentos sugerem a detecção de frescura, aplicando um modelo baseado em regressão de amostras de olho de peixes; eles propuseram uma regressão e uma rede neural artificial para a determinação da frescura, usando cor de olhos e brânquias e um sistema de identificação de espécies de pescados, usando o processamento de imagem e métodos de visão por computador (DOWLATI *et al.*, 2013; ZION *et al.*, 2007).

O principal atributo para este método é a aplicação de técnicas de processamento de imagem não destrutivas para determinar a frescura em pescados; uma previsão do frescor das amostras é feita pelo estudo, e o comportamento estático é avaliado através de métodos estatísticos (DUTTA *et al.*, 2016).

## **CAPITULO 4**

# **EMBALAGENS INTELIGENTES PARA PESCADO**

## **4 TECNOLOGIAS INTELIGENTES APLICADA A PESCADOS**

Nos últimos anos, a pesquisa se concentrou no desenvolvimento de novos métodos instrumentais rápidos para detectar o frescor dos pescados. Várias técnicas promissoras estão sendo desenvolvidas, e algumas delas têm mostrado boa correlação com métodos tradicionais de avaliação de qualidade ou frescor. No entanto, a indústria pesqueira tem relutado em usar essas técnicas, talvez, porque não tenha sido provado que essas técnicas possam, realmente, substituir a avaliação sensorial realizada por julgadores experientes.

Dessa forma, as pesquisas encontradas, atualmente, examinam a possibilidade de combinar as diferentes técnicas para avaliar, simultaneamente, a qualidade do pescado. Portanto, os estudos realizados com embalagem inteligente vinculam as tecnologias inovadoras com os métodos convencionais, tais como: análise sensorial, físico-química e microbiológica.

A primeira definição, dada pela Comissão da comunidade Européia (2004), define que a embalagem inteligente é composta de um indicador inteligente que monitora a condição dos alimentos embalados ou o ambiente ao redor dos alimentos. Em 2005, Yam, Takhistov e Miltz abrangem este conceito definindo que a embalagem inteligente é “um sistema de embalagem capaz de desempenhar funções inteligentes (como detectar, registrar, rastrear, comunicar e aplicar informações lógicas científicas) para facilitar a tomada de decisões para prolongar a vida útil, aumentar a segurança, fornecer informações e alertar sobre possíveis problemas”.

Há uma década, embalagens inteligentes não eram um conceito comercialmente viável devido ao fato de os dispositivos de embalagem e as redes de computadores

serem caros e bastante limitados. A tecnologia da informação mais poderosa e acessível, atualmente disponível, criou um ambiente favorável para essa tecnologia crescer (BIBI *et al.*, 2017; FANG *et al.*, 2017). Embalagens com capacidade de sinalizar o frescor de alimentos foram demonstradas por Brizio; Prentice, (2015); Dutta *et al.*, (2016); Hasan *et al.*, (2020); Pourjavaher *et al.* (2017); Zhang; Lu; Chen, (2014). Algumas delas são indiretas, por exemplo, indicadores de tempo e temperatura, que sinalizam o histórico de temperatura do produto ao longo da cadeia de suprimentos (BRIZIO; PRENTICE, 2014), entre outros. Os sensores são colocados dentro da embalagem para sinalizar mudanças nos alimentos; essa informação se correlaciona com a frescura do produto no interior da embalagem (HASAN *et al.*, 2020). Outros sensores dependem da detecção de alterações nas propriedades físicas, microbiológicas e de pH e, quando essas mudanças ocorrem, a embalagem ou sensor mudam de cor (POURJAVAHER *et al.*, 2017).

Nessa abordagem, o benefício dos rótulos de qualidade é aumentar a qualidade e o valor do pescado. Padrões e rótulos de qualidade bem definidos também irão melhorar e facilitar o comércio sem barreiras. Isso, também, incluirá certas melhorias na cadeia de produção de pescados, que fornecerão produtos do mar de melhor qualidade aos consumidores (LUTEN, J. B., 2003).

Os benefícios de uma marca ou rótulo podem ser resumidos da seguinte forma: para o produtor primário (pescador, piscicultor), fornece uma avaliação independente de sua operação, reduz a necessidade de inspeções do cliente, contribui para garantir uma venda mais estável. E para o processador, reduz o tempo e as despesas associadas às inspeções de fornecedores, fornece informações sobre fornecedores “aceitáveis”, auxilia no desenvolvimento e na manutenção de uma defesa de

devida diligência (ajuda a confirmar que as precauções necessárias foram tomadas). (LUTEN, 2003).

Um sistema de embalagem inteligente pode ser realizado por três tecnologias principais: os indicadores, que visam proporcionar mais conveniência e informar os consumidores sobre a qualidade dos alimentos. Também, podemos citar os indicadores portadores de dados, que são, especificamente, destinados a fins de armazenamento, distribuição e rastreabilidade, e os sensores, que permitem uma quantificação rápida e definitiva dos analitos em alimentos (KERRY; GRADY; HOGAN, 2006).

Um sistema de embalagem inteligente contém dispositivos inteligentes que são etiquetas ou rótulos pequenos e de baixo custo, capazes de adquirir, armazenar e transferir informações sobre as funções e propriedades dos alimentos embalados (CHEN, *et al.*, 2020). Os dispositivos inteligentes mais usados em embalagens inteligentes de pescado e produtos à base de pescado estão resumidos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Exemplos de dispositivos inteligentes usados em embalagens inteligentes, e seu princípio de operação (modificado por FANG, 2017).

Dispositivos inteligentes	Princípio / reagentes	Informações fornecidas	Aplicação
Biossensores	pH, umidade, cor e espécies biológicas	Informações sobre as condições de processo e/ou armazenamento	Identificação da qualidade do alimento durante o processamento e/ou armazenamento
Indicador de frescor	corantes de pH, corantes que reagem com metabolitos (não) voláteis	Informações sobre o produto e/ou fabricante	Identificação do produto, facilitando o controle de estoque, reordenação de estoque e <i>checkout</i>
Indicadores de radiofrequência	Ondas de rádio	Informações sobre o produto e/ou fabricante	Identificação de produtos, gerenciamento da cadeia de suprimentos, rastreamento de ativos, controle de segurança
Indicador de tempo e temperatura	Mecânico, químico, enzimático, microbiológico	Informações sobre as condições de armazenamento	Identificação da qualidade do alimento embalado

**Fonte:** autor

## 4.1 BIOSSENSORES

Os avanços em áreas correlatas, como estatística, matemática e análise multivariada, deram suporte para o surgimento de sensores de monitoramento – estes instrumentos miniaturizados são portáteis para facilitar a união de informações em um único local (LUTEN, J. B.; OEHLENSCHLÄGER; ÓLAFSDÓTTIR, 2003). Sensores são dispositivos eletrônicos que detectam informações e convertem em sinais, são classificados como biossensores quando combinam um componente biológico com um detector físico-químico; têm sido

utilizados como embalagem inteligente para analitos comuns como pH, umidade, cor e espécies biológicas (KIRYUKHIN *et al.*, 2018).

Os biossensores estão sendo aplicados no ramo alimentício, com o intuito de unir várias técnicas diferentes de modo simultâneo, a fim de criar um multissensor capaz de monitorar e de reproduzir os sentidos humanos, e, dessa forma, dar respostas precisas sobre a qualidade do alimento (SIMON *et al.*, 2017).

Pacquit *et al.* (2007) desenvolveram um sensor químico de baixo custo e simples, que se trata de um dispositivo que permite a determinação em tempo real e não destrutiva do frescor do pescado; isso é possível através de um sensor com monitoramento colorimétrico de refletância, com desenvolvimento à base de LED e de um fotodiodo, que demonstra a correlação da resposta do sensor e a mudança do crescimento bacteriano ao longo do tempo.

Chen *et al.* (2017) desenvolveram o biossensor multicolor para a avaliação do frescor do pescado a olho nu; esse monitoramento ocorre a partir da medição do índice de hipoxantina (HX). Após o abate do animal, a hipoxantina está presente numa concentração que pode variar de 0,05 mM a 0,63 mM. Quando o sistema detecta esta concentração presente, emite uma cor, permitindo que, a partir desta resposta, possa ser estimado o frescor das amostras de pescados.

A produção de tetrodotoxina (TTX) é uma das neurotoxinas marinhas de baixa massa molar mais perigosa, já que a intoxicação, após o consumo, tem uma incidência letal notória, encontrada nos órgãos de espécies selecionadas de peixe-soprador e de mariscos bivalves originários de várias partes da Europa (TURNER *et al.*, 2015).

Um biossensor de guia de ondas planar de matriz nano foi desenvolvido para a detecção de tetrodotoxina

(TTX); o dispositivo consiste em matrizes de conjugado de toxina nano, construídas à maneira de um imunoenensaio competitivo indireto, O biossensor atingiu boa sensibilidade (LOD de 2,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), sendo capaz de detectar TTXs em baixas concentrações, demonstrando confiabilidade e aplicabilidade do método inovador (REVERTÉ *et al.*, 2017).

Um novo sensor para temperatura e medição de concentração de gás sulfídrico e amônia para embalagem de pescado foi desenvolvido em um único chip, apresentando a energia armazenada necessária. O módulo de detecção é projetado usando sensores de baixa potência, permitindo ampliar a distância entre o leitor e o sensor inteligente; os resultados do monitoramento de frescor foram classificados em quatro graus: bom, normal, cautela e ruim. Além do que, o sensor pode ser usado para prever a qualidade dos pescados embalados na faixa de -40 a 105°C (CHUNG *et al.*, 2017).

Métodos sem marcadores, como os biossensores, vêm sendo pesquisados e utilizados para aplicações com detecção rápida. Esses são métodos analíticos para identificação e determinação quantitativa e qualitativa de compostos bioquímicos, com o objetivo de aplicá-los nas mais variadas áreas, tais como, na detecção de patógenos em alimentos (COOPER, 2008).

## **4.2 INDICADORES DE FRESCOR**

Quando um alimento inicia o processo de deterioração, ocorre a alteração do pH, essa mudança, nos alimentos, é um dos indicadores de qualidade do produto. O monitoramento do pH, além de informar ao consumidor se o alimento está próprio para consumo, é uma forma de assegurar a inocuidade do alimento embalado (MEDINA-JARAMILLO *et al.*, 2017).

O desenvolvimento de sensores colorimétricos, com indicadores visuais de pH, normalmente, é constituído por duas partes: uma base sólida e um corante sensível à mudança de pH, que tem como objetivo informar sobre mudanças que podem ocorrer no alimento, no interior da embalagem ou no ambiente externo. Os indicadores de pH podem ser monitorados por meio de alterações visuais, comumente, sistemas colorimétricos (HASAN *et al.*, 2020; POURJAVAHER *et al.*, 2017). Os corantes que compõem o sensor colorimétrico do pH são extraídos de variadas fontes de frutas e vegetais (CHOI, I. *et al.*, 2017).

Silva-Pereira *et al.* (2015) desenvolveram um sensor de detecção de deterioração de filés de pescados, baseado num sistema de monitoramento de pH, composto por um filme de quitosana, amido de milho, utilizando, como pigmento indicador da mudança de pH, o extrato de repolho roxo. Os resultados indicaram que os componentes do filme não reagem um com outro, apresentando boa estabilidade térmica e evidente mudança de cor conforme a variação de pH das amostras.

Sun *et al.* (2015) testaram um novo sensor indicador de pH, utilizando azul de bromofenol, vermelho cresol e amarelo metanil para monitoramento da deterioração e frescor do peixe cavala espanhola (*Spanish mackerel*). Os testes foram realizados em estufa a 30°C nos tempos 1, 4, 12, 16 e 24 h. Os resultados demonstraram que, nas horas iniciais, a concentração de histamina é baixa, e a coloração do sensor continua se alterando à medida que aumenta essa concentração. Foi observado que, após 24 horas, a mudança de cor tende a atingir saturação.

Kiryukhin *et al.* (2018) desenvolveu um sensor que compreende um filme multicamadas de polieletrólitos, com microcâmaras de compartimento em que um corante

sensor fluorescência é encapsulado. Esse filme é selado em um filme de polietileno e foi aplicado em filé de dourado, armazenados a 5°C. As leituras do pH foram correlacionadas com análises microbiológicas das amostras de pescados, e verificou-se um aumento de pH após 10 dias de armazenamento. Esse resultado foi sinalizado com a degradação microbiológica do pescado, demonstrando o potencial da aplicação para medição do frescor do mesmo.

Os sensores de embalagem inteligente têm potencial para identificação rápida do frescor dos alimentos durante o armazenamento ou antes do consumo. Zhang *et al.* (2019) avaliaram dois novos corantes reativos e sensíveis ao pH, com base na incorporação de cromóforos azo nas estruturas de antraquinona, a fim de aumentar o comprimento de onda de absorção visível; esses foram projetados para o desenvolvimento de um sensor inteligente para embalagens de papel impressa sensível ao pH. Os testes foram realizados com caranguejo frescos cozidos (37°C) e iniciaram deterioração após 1h50min e deterioraram, completamente, após 4 horas, ocorrendo uma mudança na cor do papel de vermelho para verde, demonstrando que os padrões impressos como sensores de embalagem inteligente podem ser utilizados para julgar a frescura dos alimentos.

Chen *et al.* (2020) desenvolveram um filme com sensor de pH composto de amido, álcool polivinílico e glicerol, adicionados de cúrcuma e antocianina; esses foram utilizados para medir o nível de frescor do pescado em tempo real. Os resultados indicaram que este filme colorimétrico pode monitorar de maneira não destrutiva o frescor do pescado para classificação do pescado: em muito fresco, frescor médio (aceitável para consumo, porém com qualidade de frescor diminuto) e não aceitável para consumo.

Apesar de as embalagens inteligentes, com indicadores de pH, apresentarem resultados promissores para contribuir com a segurança do consumidor no momento de aquisição e consumo, os materiais aplicados, na elaboração dessas, podem aumentar o custo da embalagem e, conseqüentemente, do produto, desafiando a questão custo-benefício dessa inovação.

#### **4.3 INDICADORES POR RADIOFREQUÊNCIA**

A identificação por radiofrequência (RFID), ou seja, informações transportadas por ondas de rádio, é definida, pelo *Codex Alimentarius* (2006), como a capacidade de rastrear a história, aplicar ou localizar um alimento (CODEX, 2006). A Organização Internacional de Normalização (ISO) considera que a rastreabilidade pode estar relacionada à origem dos materiais e ao histórico de processamento, distribuição e localização do produto após a entrega (ISO, 2002).

O RFID é usado para identificação do produto e para coletar informações sobre itens automaticamente, sem uma conexão física ou linha de visão, conforme necessário para outras tecnologias, como códigos de barras. O sistema de RFID pode ser classificado em três categorias: passivo, ativo e semipassivo, com diferentes frequências de trabalho (FAGGION *et al.*, 2020).

As etiquetas passivas não contêm fontes de energia a bordo; elas contam com a onda emitida pelo leitor para alimentar o chip. As propriedades interessantes são de baixo custo, maior durabilidade, são pequenas e leves. As semipassivas são alimentadas por baterias, dependem de um leitor para emissão de ondas e, em alguns casos, a bateria encontrada, na etiqueta semipassiva, pode fornecer um sensor conectado ao chip e para gravá-lo. As ativas são incorporadas a uma bateria

usada para alimentar o chip e para emitir ondas por meio de um transmissor ativo. O alcance de leitura é maior que os passivos; a taxa de transmissão é rápida, e o número de *tags* que pode ser lido, simultaneamente, é alto. No entanto, as desvantagens são o alto custo e o tamanho da etiqueta (BIBI *et al.*, 2017).

Abad *et al.* (2009) validaram uma etiqueta inteligente RFID desenvolvida para rastreabilidade em tempo real e monitoramento da cadeia de frio para aplicações em alimentos. Esse sistema baseado em RFID consiste em uma etiqueta inteligente e em um leitor/gravador comercial. Anexada ao produto a ser rastreado, integra sensores de luz, temperatura e umidade, um microcontrolador e um chip de memória. Esses dados registrados, no sensor, podem ser armazenados na memória junto com os dados de rastreabilidade. Relataram os resultados dos testes realizados no sistema ao longo de uma cadeia logística intercontinental de pescado fresco, os quais comprovaram que esse sistema apresenta vantagens importantes em relação às ferramentas convencionais de rastreabilidade, e, atualmente, utiliza data *loggers* de temperatura.

Trebar, Lotrič e Fonda (2015) realizaram sete estudos para identificar qual a melhor forma de embalar o pescado para manter a integridade do produto e a temperatura durante o transporte, e, assim, definir os melhores materiais e métodos de refrigeração para diferentes opções de manuseio de pescado. A cadeia de frio do robalo foi avaliada com diferentes métodos de embalagem em uma caixa de isopor fechada, registrando as temperaturas através do uso da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID).

Faggion *et al.* (2020) utilizaram o RFID através de microchips que foram implantados em robalo europeu (*Dicentrarchus labrax L.*), com 61 dias após a eclosão;

esse procedimento teve como objetivo determinar a idade mínima dos peixes em relação ao tamanho do corpo. Essa marcação precoce permitiu a coleta de dados importantes relacionados ao desenvolvimento larval, aos estudos comportamentais, às investigações fisiológicas e imunológicas.

A identificação por radiofrequência ainda é pouco aplicada para o acompanhamento da qualidade do pescado, são poucos os estudos encontrados. No entanto, é uma tecnologia muito promissora, de rápido desenvolvimento, versatilidade que pode auxiliar no gerenciamento do fluxo de informações nas cadeias de suprimentos, trazendo qualidade e segurança ao setor pesqueiro e agroalimentar. Esses apresentam inúmeras vantagens sobre os rótulos e códigos de barras tradicionais e estão se tornando cada vez mais populares. O aumento de aplicativos, juntamente com a melhoria e otimização das *tags* RFID, pode acarretar redução de custo, possibilitando o investimento das indústrias em aplicações tecnológicas e o aumento nas perspectivas de mercado.

#### **4.4 INDICADORES DE TEMPO E TEMPERATURA**

Os indicadores de tempo e temperatura (ITT) foram, originalmente, desenvolvidos há 40 anos (SCHOEN; BYRNE, 1972), e suas primeiras aplicações visavam à bactéria (MANSKE, 1984). Os ITT começaram a ser usadas no gerenciamento da cadeia alimentar a frio para ajudar a monitorar produtos pescados, e as pesquisas vêm sendo intensificadas até hoje.

A principal função dos indicadores de tempo e temperatura é permitir que consumidores, processadores de alimentos e da cadeia de suprimentos conheçam os históricos de tempo-temperatura a que seus alimentos

são expostos (GIANNAKOUROU *et al.*, 2005). Os ITTs são dispositivos simples e facilmente mensuráveis, que refletem o histórico de temperatura total ou parcial de um produto alimentar o qual estão monitorando (KIM; KIM; LEE, 2012).

O princípio básico de funcionamento de um ITT baseia-se em mudanças mecânicas, químicas, eletroquímicas, enzimáticas ou microbiológicas, geralmente, expressas como visível resposta sob a forma de uma deformação mecânica, desenvolvimento de cor ou movimento de cor (TAOUKIS; LABUZA, 2003). No entanto, essa definição implica requisitos cinéticos preestabelecidos, como o fator de sensibilidade à temperatura e do atributo alvo, a fim de que a taxa da reação deva garantir uma resposta mensurável dentro das combinações de tempo e temperatura de interesse (CLAEYS; VAN LOEY; HENDRICKX, 2002).

Um número crescente de protótipos de ITT tem sido elaborado e validado, com o intuito de avaliar o potencial das etiquetas para monitoramento de qualidade aplicadas em produtos de pescado, como: salmão refrigerado (AHVENAINEN, 2003), peixe boga (*Boops Boops*) (TAOUKIS, P. S.; KOUTSOUMANIS, 1999), peixe dourada (GIANNAKOUROU *et al.*, 2005), frutos do mar frescos (MENDOZA *et al.*, 2004), peixe-leite (*chanos chanos*) (KUSWANDI *et al.*, 2012), filés de tubarão azul (GIANNOGLOU *et al.*, 2014), peixe cobia (BRIZIO, A. P. D. R.; PRENTICE, 2014), filés de garoupa embalada a vácuo (HSIAO; HUANG, 2016), bacalhau fresco (GARCÍA *et al.*, 2017), ostra (TSIRONI *et al.*, 2017) e turbot sashimi (LIU *et al.*, 2017).

Uma alternativa inovadora, no controle dinâmico da cadeia de pescados, vem sendo amplamente estudada, como o ITT fotocromico da marca OnVu™ ITT (B1 OnVu™, Bizerba, Alemanha) (Patente EP 1049930 B1).

Os compostos fotossensíveis, como os espiropirinos, são expostos à luz de baixo comprimento de onda que leva à sua coloração (azul escuro). Esse estado retorna a um estado incolor inicial, a uma taxa dependente da temperatura. Ao controlar o tipo de composto fotocromico e o tempo de exposição à luz UV durante a ativação, a vida útil do ITT e a sensibilidade à temperatura podem ser definidas (MAI *et al.*, 2011; TSIRONI *et al.*, 2011). Ou seja, a taxa de resposta (descoloração) do OnVu é inversamente proporcional à quantidade de luz UV utilizada durante a sua ativação (BRIZIO, A. P. R.; PRENTICE, 2014) e este deve ser calibrado levando em conta as características do alimento em que o indicador será aplicado (MAI *et al.*, 2011).

Uma empresa que vem realizando diversos estudos no desenvolvimento de ITT enzimático, para controle de alimentos na cadeia do frio, é a VITSAB. A mudança de cor do ITT enzimático, do tipo M (M Check Point1, VITSAB, Malmo, Suécia), é o resultado de uma hidrólise enzimática controlada por uma lipase microbiana (lipólise *Rhizopus Oryzae*) de um substrato lipídico (metilmirista) (GIANNAKOUROU *et al.*, 2005). Para ativar o ITT, a enzima e o substrato são misturados pela quebra mecânica de uma barreira de separação dentro do dispositivo. Este ITT, inicialmente verde, se transforma, progressivamente, em amarelo/laranja, atingindo, finalmente, uma cor vermelha. Diferentes concentrações de enzimas (U/L) podem ser usadas para fornecer uma variedade de respostas (TSIRONI *et al.*, 2017).

De acordo com Taoukis *et al.* (1999), foram desenvolvidas uma abordagem sistemática para a modelagem da vida útil de peixe boga (*Boops Boops*) e a seleção do ITT enzimático (VITSAB) para o monitoramento de qualidade efetivo para a cadeia de refrigeração. O comportamento da temperatura foi

estudado através do crescimento da bactéria de deterioração específica *Pseudomonas spp.* e *Shewanella putrefaciens* e foi correlacionado com a vida útil. A metodologia aplicada permitiu o desenvolvimento de um esquema de aplicação específico para o pescado estudado e a seleção da ITT mais apropriada, sem a necessidade de extensos exames comparativos entre o produto e o indicador.

Giannakourou *et al.* (2005) também validaram o ITT enzimático (VITSAB), avaliando os modelos cinéticos, o crescimento de pseudomona em peixe dourada (*Sparus aurata*), comparando com a resposta de cor do ITT. A análise de qualidade foi realizada durante a rota de exportação da Grécia para outros países europeus durante os meses de verão. Os testes de campo conduzidos mostraram a aplicabilidade e a utilidade do monitoramento ITT da cadeia de resfriamento de pescados, explicando, também, as dificuldades e as limitações práticas que precisam ser abordadas para expandir o uso de ITT como uma ferramenta de gerenciamento confiável.

Estudo de Giannoglou *et al.* (2014) foi integrado pelo Projeto de Investigação Coletiva FP7, da Comissão Europeia IQ-Freshlabel, "Desenvolvimento de novas etiquetas inteligentes para produtos alimentares refrigerados e congelados e promoção da influência da aplicação de etiquetas inteligentes na redução de resíduos, qualidade de alimentos e segurança nas cadeias de abastecimento europeias". Os objetivos foram validar a modelagem cinética de filés de tubarão azul congelados. A resposta do ITT fotocrômico e enzimático, ativável por UV (OnVu™ ITT, Bizerba, Alemanha), foi estudada e modelada como uma função da intensidade da ativação UV ou da concentração da enzima. A resposta ITT foi adaptada aos vários meses de vida útil dos

produtos. O ITT selecionado previu a vida útil restante em temperaturas de simulação de cadeia do frio, e sua eficácia para monitorar os produtos de frutos do mar congelados.

Brizio *et al.* (2014) avaliaram a aplicabilidade do ITT da *On vu* para monitorar o histórico de tempo e temperatura durante o período de validade do pescado inteiro da amostra de bijupirá armazenada em gelo. A resposta do ITT foi interpretada de forma visível, bem como adaptável à medida, usando equipamentos adequados. Os resultados mostraram que o indicador inteligente ativado durante 6 s de luz ultravioleta mostrou uma taxa similar de deterioração da resposta visual do produto analisado, provando ser um indicador dinâmico de vida útil que pode garantir, facilmente, aos consumidores o ponto de qualidade final de toda a cobia, de forma econômica e com precisão.

Outros estudos aplicando os ITT *On Vu* e VITSAB foi realizado por Tsironi *et al.* (2017). Um estudo piloto foi realizado com filé de tubarão azul e lulas congeladas, e os valores foram comparados aos valores medidos reais de índices de qualidade selecionados. Para avaliar a aplicabilidade dos modelos matemáticos, foram avaliados o índice de TBARs e de NBVT, e a pontuação sensorial. Os resultados confirmam a aplicabilidade do ITT como indicador efetivo da qualidade dos frutos do mar congelados durante sua vida comercial.

Xu *et al.* 2017 desenvolveram um ITT baseada na enzima tirosinase. As relações entre a cor do ITT e o tempo e temperatura foram investigadas. O tempo de indicação mais longo foi de 50 horas, a 4 °C. A dinâmica do ITT foi formulada matematicamente, e os parâmetros cinéticos foram derivados dos resultados da experiência. A energia de ativação do ITT, à base de tirosinase, foi de 0,409 kJ/mol. Portanto, esse ITT baseado em tirosinase

pode ser um indicador de qualidade do sashimi. Os autores sugerem mais estudos para estabelecer a relação entre ITT e a qualidade do sashimi, para garantir que a qualidade dos alimentos seja refletida com precisão.

O sistema inteligente pode ser recomendado como uma ferramenta efetiva para monitorar as mudanças de qualidade dos alimentos durante a cadeia de suprimentos. Para garantir a comercialização de produtos à base de pescado fresco, é necessário desenvolver métodos rápidos que avaliem seu frescor em tempo real.

#### 4.5.1 INDICADORES COMERCIAIS DE TEMPO E TEMPERATURA

Sistemas de ITT já estão disponíveis, comercialmente, em diversos países. O Quadro 1 mostra os ITTs classificados de acordo com seu princípio ativo de ação, assim como as condições de atuação e conservação. Os ITTs comerciais dividem-se em quatro principais sistemas de atuação: difusão química, física, biológica e enzimática (KUSWANDI *et al.*, 2011).

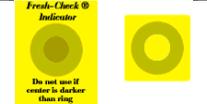
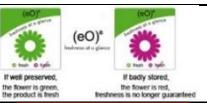
O ITT Fresh-Check® é utilizado em vacinas infantis nas campanhas da UNICEF, assim como, aplicado em uso de produtos alimentícios por vários clientes, incluindo a cadeia de varejo Monoprix (França), Carrefour, utilizado em frutas e saladas embaladas, produtos lácteos e sucos Milco (GALAGAN; SU, 2008). O eO ITT (CRYOLOG, França) são aplicados pela empresa Monoprix (Clichy, França) em produtos de carne suína e pela empresa Leclerc (Braga, França) em sanduíches embalados frescos (CHOI, D. Y. *et al.*, 2014). O ITT da Check Point® (VITSAB A.B., Malmo, Suécia) relata que suas aplicações são em frutos do mar frescos, embalados a vácuo ou em atmosfera modificada. Outra aplicação relatada pelo VITSAB são as etiquetas de voo e os ITT usados nos voos

da British Airways para monitorar a temperatura para o manuseio adequado das refeições servidas. ITT da OnVu™ é, atualmente, utilizado em todas as embalagens de frango fresco Kneuss (Suíça) (TAOUKIS *et al*, 2016; TAOUKIS, 2010).

Para o desenvolvimento de um novo indicador inteligente, a Sociedade Americana de Testes e Materiais – ASTM F1416 desenvolveu um guia padrão com informações sobre a seleção de indicadores de tempo-temperatura disponíveis, comercialmente, para uso de embalagens externas não invasivas, utilizadas em produtos perecíveis, como alimentos e produtos farmacêuticos (ASTM, 2003). Os principais requisitos para aceitação de uma etiqueta comercial, na escala industrial, é que o ITT seja confiável, reprodutível, flexível, adaptável a várias gamas de temperatura (por exemplo, congelada, refrigerada, temperatura ambiente) e que apresente respostas para períodos de alguns dias até vários meses (PARISI; BARONE; CARUSO, 2015).

Os ITTs precisam ser integrados de maneira econômica, causando mudanças mínimas na área de produção. Além disso, os ITTs devem ter uma vida útil longa antes da ativação para uso, sendo facilmente ativáveis. É necessário, também, que o ITT seja resistente a efeitos mecânicos e não represente risco de contaminação ao produto (SOON; SAGUY, 2017). No Quadro 1, estão ilustrados alguns indicadores comerciais de tempo e temperatura.

## Quadro 1. Indicador de tempo e temperatura comerciais

Nome comercial	Empresa/ País	Condição de atuação	Tipo de sensor	Condição de conservação	Ilustração
OnVu™	BIZERBA/ Alemanha	Refrigeração/ Congelamento	ITT químico fotossensível	Diversas	
Fresh-Check®	Temptime/ EUA	Refrigeração	ITT químico polimerização	-24°C	
Time strip PLC	Time strip PLC	Refrigeração/ Congelamento	ITT químico polimerização	22°C/ 2 anos	
Insignia Cold Inspection Intelligent Labels	Insignia Technologies Ltd/ Reino Unido	Refrigeração	ITT químico polimerização	25°C/ 6 meses	
Traceo, Traceo restauration e eO	CRYOLOG AS. / França	Refrigeração	ITT biológico	-18°C	
Check Point®	VITSAB / Suécia	Refrigeração/ Congelamento	ITT enzimático	Diversas	
MonitorMark™	3M/EUA	Refrigeração/ Congelamento	ITT físico difusão	22°C/ 2 anos	
Freeze Watch™	3M/EUA	Congelamento	ITT físico difusão	5 a 32°C/ 5 anos	
TT Sensor Plus	Avery Dennison / EUA	Aquecimento/ Refrigeração/ Congelamento	ITT fisicoquímico	25°C/ 3 ano	
CoolVu™	FRESH POINT/ Israel	Aquecimento/ Refrigeração/ Congelamento	ITT fisicoquímico	Diversas	

Fonte: adaptado de OnVu, disponível na internet: <http://www.onvu.com>; Fresh-Check, disponível na internet: <http://www.temptimecorp.com/>; Time strip PLC, disponível na internet: [www.timestrip.com/](http://www.timestrip.com/); Insignia Cold Inspection disponível na internet: <https://www.insigniatechnologies.com/home.php?video>; Traceo, Traceo restauration e eO, disponível na internet: <http://cryolog.com/topcrvo/>; Check Point, disponível na internet: [www.vitsab.com](http://www.vitsab.com); MonitorMark, disponível na internet: <http://www.tiptemp.com/>; Freeze Watch, disponível na internet: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/food-safety-us/](https://www.3m.com/3M/en_US/food-safety-us/); TT Sensor Plus, disponível na internet: <https://label.averydennison.com/en/home/products/intelligent-labels/time-temperature-tracking.html>; CoolVu, disponível na internet: <http://insigniatechnologies.co.uk/products.asp>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção brasileira de pescado vem crescendo e, acompanhada dela, novas tecnologias vão surgindo, com o intuito de melhorar e agilizar o controle de qualidade do pescado dentro da indústria. O investimento, em novas tecnologias, pode assegurar a distribuição de um pescado fresco, evitando perdas por qualidade.

O desenvolvimento de tecnologia, com um novo conceito de qualidade, integra a pesquisa conjunta de várias áreas de pesquisa, e o resultado são tecnologias biônicas capazes de reproduzir os sentidos sensoriais humanos, aprimorando a subjetividade dos painelistas e tornando os resultados mais confiáveis.

As embalagens inteligentes e indicadores de frescor interagem com o pescado, comunicando ao consumidor a qualidade do alimento dentro da embalagem e garantindo uma compra segura. Os indicadores de tempo e temperatura são um aliado das indústrias, podendo monitorar toda a etapa de transporte e distribuição do pescado, já que esta é uma etapa delicada.

Os resultados de estudos apresentam variadas soluções para o monitoramento da qualidade durante toda a cadeia produtiva e distribuição a fim de garantir um produto íntegro e fresco. No entanto, no Brasil, este conceito inovador ainda não conquistou as pequenas e grandes empresas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, E. *et al.* RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 93, n. 4, p. 394–399, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.004>

AHVENAINEN, Raija. **Novel Food Packaging Techniques**. [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9781855737020>

AL BULUSHI, Ismail *et al.* Biogenic amines in fish: Roles in intoxication, spoilage, and nitrosamine formation-A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 369–377, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408390802067514>

APETREI, Irina Mirela *et al.* Fish Freshness Monitoring Using an E-Tongue Based on Polypyrrole Modified Screen-Printed Electrodes. **IEEE SENSORS JOURNAL**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 2548–2554, 2013.

ARO, Tarja; TAHVONEN, Raija;; KOSKINEN, Lotta . Volatile compounds of Baltic herring analysed by dynamic headspace sampling – gas chromatography – mass spectrometry. **Eur Food Res Technol (2003)**, [s. l.], v. 216, p. 483–488, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0678-3>

ASTM. **F 1416 – 96 (2003). Standard Guide for Selection of Time-Temperature Indicators**West Conshohocken: 2003. p. 3–6.

BIBI, Fabien *et al.* A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 62, p. 91–103, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.013>

BRASIL. **Instrução Normativa nº60, 23 de dezembro 2019. Lista de padrões microbiológico para alimentos**Brasilia: 2019 a.

BRASIL. RDC 331, 23 de dezembro de 2019. Padrões Microbiológico de alimentos e sua aplicação Brasília: 2019 b.

BRASIL. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.**, [s. l.], 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/diario-oficial-publica-decreto-do-novo-regulamento-de-inspecao-industrial-e-sanitaria>

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº20, de 26 de junho de 2018. Aprova o Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal** Brasília: Diário Oficial da União, 2018.

BRIZIO, Ana Paula Dutra Resem; PRENTICE, Carlos. Development of an intelligent enzyme indicator for dynamic monitoring of the shelf-life of food products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 30, p. 208–217, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.001>

BRIZIO, Ana Paula Dutra Resem; PRENTICE, Carlos. Use of smart photochromic indicator for dynamic monitoring of the shelf life of chilled chicken based products. **Meat Science**, [s. l.], v. 96, n. 3, p. 1219–1226, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.006>

BRIZIO, Ana Paula Resem; PRENTICE, Carlos. Validação do tempo de vida útil apresentado por sensor fotocromico de tempo e temperatura. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 47–54, 2014.

CHEN, Hui zhi *et al.* Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 100, n. October 2019, p. 105438, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105438>

- CHEN, Zhitao *et al.* Multicolor biosensor for fish freshness assessment with the naked eye. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 252, p. 201–208, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.06.007>
- CHENG, Jun-hu *et al.* Developing a multispectral imaging for simultaneous prediction of freshness indicators during chemical spoilage of grass carp fish fillet. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.004>
- CHOI, Dong Yeol *et al.* A prototype of time temperature integrator (TTI) with microbeads-entrapped microorganisms maintained at a constant concentration. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 120, n. 1, p. 118–123, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.021>
- CHOI, Inyoung *et al.* Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 218, p. 122–128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.050>
- CHUN, Hae Na; KIM, Boram; SHIN, Han Seung. Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. **Food Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 23, n. 5, p. 1719–1725, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0235-9>
- CHUNG, Wan Young *et al.* Novel proximal fish freshness monitoring using batteryless smart sensor tag. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 248, p. 910–916, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.134>
- CICERO, Laís Henrique *et al.* Estudo das metodologias de destilação na quantificação do Nitrogênio das Bases Voláteis Totais em pescada, tilápia e camarão. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 192–197, 2014. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.5713>
- CLAEYS, Wendie L.; VAN LOEY, Ann M.; HENDRICKX, Marc

E. Intrinsic time temperature integrators for heat treatment of milk. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 13, n. 9–10, p. 293–311, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00164-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00164-4)

CODEX ALIMENTARIUS. **Code of Practice for Fish and Fishery Products**. Roma: 2016. p. 238.

COOPER, Matthew A. **Label free biosensors techniques and applications**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626531>

DIEHL, Katharine L.; ANSLYN, Eric V. Array sensing using optical methods for detection of chemical and biological hazards. **Chemical Society Reviews**, [s. l.], v. 42, n. 22, p. 8596–8611, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c3cs60136f>

DOWLATI, Majid *et al.* Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 119, n. 2, p. 277–287, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.023>

DUTTA, Malay Kishore *et al.* Image processing based method to assess fish quality and freshness. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 177, p. 50–58, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.018>

DUTTA, Nalok; BISWAS, Subrata; SAHA, Malay Kumar. Nano-magnesium aided activity enhancement and biophysical characterization of a psychrophilic  $\alpha$ -amylase immobilized on graphene oxide nanosupport. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, [s. l.], v. 124, n. 1, p. 15–22, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.02.002>

EL BARBRI, N. *et al.* Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of Moroccan sardines. **Materials Science and Engineering C**, [s. l.], v. 28, n. 5–6, p. 666–670, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2007.10.056>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesca e aquicultura**. Palmas: Embrapa. [S. l.], 2017.

EUROPEAN PARLIAMENT. **No Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste – Statement by the Council, the Commission and the European Parliament** Official Journal of the European Communities, 2004. p. 26–32.

FAGGION, Sara *et al.* Evaluation of a European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) post-larval tagging method with ultra-small RFID tags. **Aquaculture**, [s. l.], v. 520, n. November 2019, p. 734945, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734945>

FANG, Zhongxiang *et al.* Active and intelligent packaging in meat industry. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 2, p. 60–71, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.002>

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. [s. l.], 2020. p. 224. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>

FIRESTEIN, S. How the olfactory system makes sense of scent. **Nature**, [s. l.], v. 413, n. 6852, p. 211–218, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35093026>

GALAGAN, Y.; SU, W. F. Fadable ink for time-temperature control of food freshness: Novel new time-temperature indicator. **Food Research International**, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 653–657, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.012>

GARCÍA, Míriam R. *et al.* Smart sensor to predict retail fresh fish quality under ice storage. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 197, p. 87–97, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.006>

GARRIDO-NOVELL, Cristóbal *et al.* Using spectral and

textural data extracted from hyperspectral near infrared spectroscopy imaging to discriminate between processed pork, poultry and fish proteins. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.11.011>

GIANNAKOUROU, M. C. *et al.* Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 102, n. 3, p. 323–336, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.037>

GIANNOGLOU, Marianna *et al.* Predictive modeling and selection of TTI smart labels for monitoring the quality and shelf-life of frozen seafood. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 26, p. 294–301, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.008>

GÜNEY, Selda; ATASOY, Ayten. Study of fish species discrimination via electronic nose. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 119, p. 83–91, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.005>

HAN, Fangkai *et al.* QUANTITATIVE ANALYSIS OF FISH MICROBIOLOGICAL QUALITY USING ELECTRONIC TONGUE COUPLED WITH NONLINEAR PATTERN RECOGNITION ALGORITHMS. **Journal of Food Safety**, [s. l.], v. 35, p. 336–344, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfs.12180>

HASAN, Anwarul *et al.* Recent Advances in Application of Biosensors in Tissue Engineering. [s. l.], v. 2014, 2020.

HEISING, Jenneke K. Intelligent packaging for monitoring food quality : A case study on fresh fish. [s. l.], p. 172, 2014. Disponível em: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/298571#page=63>

HSIAO, Hsin I.; HUANG, Kuan Lin. Time-temperature transparency in the cold chain. **Food Control**, [s. l.], v. 64,

p. 181–188, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.12.020>

HUANG, Xingyi; XIN, Junwei; ZHAO, Jiewen. A novel technique for rapid evaluation of fish freshness using colorimetric sensor array. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 105, n. 4, p. 632–637, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.034>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa pecuária municipal**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2016.

IGLESIAS, J *et al.* Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography – mass spectrometry. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 115, n. 4, p. 1473–1478, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.076>

ISO 9000: 2000 QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS - FUNDAMENTALS AND VOCABULARY. [S. l.: s. n.], 2002.

JIANG, Hongyao *et al.* Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation : A review. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 34, n. 8, p. 746–769, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2018.1424184>

JONSDOTTIR, R.; *et al.* Volatile compounds suitable for rapid detection as quality indicators of cold smoked salmon (*Salmo salar*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 109, p. 184–195, 2008.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.006>

KERRY, J P; GRADY, M N O; HOGAN, S A. Past , current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products : A review. **Meat Science** **74**, [s. l.], v. 74, p. 113–130, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.024>

KIM, Keehyuk; KIM, Eunji; LEE, Seung Ju. New enzymatic time-temperature integrator (TTI) that uses laccase. **Journal**

**of Food Engineering**, [s. l.], v. 113, n. 1, p. 118–123, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.05.009>

KIRYUKHIN, Maxim V. *et al.* A membrane film sensor with encapsulated fluorescent dyes towards express freshness monitoring of packaged food. **Talanta**, [s. l.], v. 182, p. 187–192, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.01.085>

KOUTSOUMANIS, K *et al.* Application of shelf life decision system ( SLDS ) to marine cultured fish quality. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 73, p. 375–382, 2002.

KOUTSOUMANIS, Konstantinos P; TAOUKIS, Petros S; DROSINOS, Eleftherios H. Applicability of an Arrhenius Model for the Combined Effect of Temperature and CO<sub>2</sub> Packaging on the Spoilage Microflora of Fish. **Applied and Environmental Microbiology**, [s. l.], v. 66, n. 8, p. 3528–3534, 2000.

KUSWANDI, Bambang *et al.* A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film. **Food Control**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 18–189, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.008>

LEHNERS-ARENDT, Maryse. Codex Alimentarius. *In*: , 2006. **AIMS Journal**. [S. l.: s. n.], 2006. p. 9–10. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1996.tb03836.x>

LI, Xuepeng *et al.* Freshness assessment of turbot (*Scophthalmus maximus*) by Quality Index Method (QIM), biochemical, and proteomic methods. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 78, p. 172–180, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.037>

LIU, Bin *et al.* Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 157, p. 842–849, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.067>

LOUGOVOIS, V. P.; KYRANA, V. R. Freshness quality and spoilage of chill-stored fish. *In: ARTHUR P. RILEY (org.). Food Policy, Control and Research (pp.35-86)Chapter: 2.* Greece: Nova Science Publishers, 2005.

LOUTFI, Amy *et al.* Electronic noses for food quality: A review. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 144, p. 103–111, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.019>

LUTEN, J. B.; Introduction and outcomes of the project multisensor techniques for monitoring the quality of fish. *In: QUALITY OF FISH FROM CATCH TO CONSUMER: LABELING, MONITORING AND TRACEABILITY.* Netherlands: Wageningen Academic Publishers., 2003. p. 175–187.

LUTEN, J B; OEHLenschläger, J.; ÓLAFSDÓTTIR, G. **Quality of Fish from Catch to Consumer; Labelling, Monitoring and Traceability.** [S. l.: s. n.], 2003.

MAI, Nga *et al.* Performance of a photochromic time-temperature indicator under simulated fresh fish supply chain conditions. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 297–304, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02475.x>

MANSKE, W. J. **Critical temperature indicator.** U.S. Patent No. 4457252. Concessão: 1984.

MEDINA-JARAMILLO, Carolina *et al.* Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 176, p. 187–194, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>

MÉNDEZ, Lucía; PAZOS, Manuel. **Proteomics to Assess Fish Quality and Bioactivity.** [S. l.]: Elsevier Inc., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804007-2.00018-7>

MENDOZA, T. F.; *et al.* Kinetic Parameter Estimation of Time-

temperature Integrators Intended. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 69, n. 3, 2004.

MOURENTE, Gabriel; BELL, Æ J Gordon; TOCHER, Æ Douglas R. Does dietary tocopherol level affect fatty acid metabolism in fish ? [s. l.], p. 269–280, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10695-007-9139-4>

NATALE, Corrado Di *et al.* Comparison and integration of different electronic noses for freshness evaluation of cod-fish fillets. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 77, n. 1–2, p. 572–578, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(01\)00692-X](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(01)00692-X)

NOLLET, Leo M.L.; TOLDRÁ, Fidel. **Handbook of seafood and seafood products analysis**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420046359>

NUNES, Maria Leonor; BATISTA, Irineu; CARDOSO, Carlos. **Aplicação do índice de qualidade (QIM) na avaliação da frescura do pescado**. [S. l.: s. n.], 2007.

O'CONNELL, Manuela *et al.* A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 80, n. 2, p. 149–154, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(01\)00904-2](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(01)00904-2)

OCAÑO-HIGUERA, V M *et al.* Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical , chemical and physical methods. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 125, p. 49–54, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.034>

OKUMA, Hirokazu; WATANABE, Etsuo. Flow system for fish freshness determination based on double multi-enzyme reactor electrodes. **Biosensors & Bioelectronics**, [s. l.], v. 17, p. 367–372, 2002.

OLAFSDOTTIR, G. *et al.* Influence of storage temperature on microbial spoilage characteristics of haddock fillets ( *Melanogrammus aeglefinus* ) evaluated by multivariate quality

prediction. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 111, p. 112–125, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.045>

ÓLAFSDÓTTIR, G. *et al.* Methods to evaluate fish freshness in research and industry. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 258–265, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01049-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01049-2)

OLIVEIRA, Pedro Roberto De *et al.* Avaliação sensorial , físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas* , Schinz 1822) durante estocagem em gelo. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 67–74, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.010>

PACQUIT, Alexis *et al.* Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 102, n. 2, p. 466–470, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.052>

PARISI, S.; BARONE, C.; CARUSO, G. **The influence of the chemical composition of food packaging materials on the technological suitability: a matter of food safety and hygiene.** Springer Ied. Cham Heidelberg New York Dordrecht London.: [s. n.], 2015.

PONS-SÁNCHEZ-CASCADO, Sofía *et al.* Use of volatile and non-volatile amines to evaluate the freshness of anchovies stored in ice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 86, n. 5, p. 699–705, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2398>

POURJAVAHER, Simin *et al.* Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 156, p. 193–201, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.027>

PRATA L. F. Higiene e inspeção de carnes, pescado e derivados. **São Paulo: Unesp**, [s. l.], 1999.

QIN, Hui *et al.* Colorimetric artificial nose for identification of

Chinese liquor with different geographic origins. **Food Research International**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 45–51, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.008>

RAKOW, Neal A; SUSLICK, Kenneth S. Rakow\_nature2000\_AColorimetricSensorArrayForOdourVisualization. [s. l.], v. 406, n. August, p. 2–5, 2000.

REVERTÉ, Laia *et al.* Tetrodotoxin detection in puffer fish by a sensitive planar waveguide immunosensor. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 253, p. 967–976, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.06.181>

RODRÍGUEZ, Óscar *et al.* Effects of storage in slurry ice on the microbial, chemical and sensory quality and on the shelf life of farmed turbot (*Psetta maxima*). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 95, n. 2, p. 270–278, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.054>

RUIZ-RICO, María *et al.* Use of the voltammetric tongue in fresh cod (*Gadus morhua*) quality assessment. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 18, p. 256–263, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.12.010>

SANTOS, J. M. Filetes de Pregado (*Psetta maxima*) Embalados em Atmosfera Modificada: Avaliação da qualidade física, química e microbiológica. **Dissertação apresentada à Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Controlo de Qualidade na área Científica Água e Alimentos**, [s. l.], p. 170, 2008.

SCHLOSSARECK, Courtney; ROSS, Carolyn F. Electronic Tongue and Consumer Sensory Evaluation of Spicy Paneer Cheese. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 84, p. 1563–1569, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14604>

SCHOEN, H. M.;; BYRNE, C. H. Defrost indicators. **Food Technology**, [s. l.], v. 26, n. 10, p. 46, 1972.

SCHULTER, Pickler Eduardo; VIEIRA, José Eustáquio Ribeiro

Vieira Filho. Evolução Da Piscicultura No Brasil: Diagnóstico E Desenvolvimento Da Cadeia Produtiva De Tilápia. **IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Ap**, [s. l.], v. v.1, p. 148 p., 2017. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8043/1/td\\_2328.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8043/1/td_2328.pdf)

SILVA-PEREIRA, Mayra Cristina *et al.* Chitosan/corn starch blend films with extract from Brassica oleraceae (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 61, n. 1, p. 258–262, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.041>

SIMON, Yitzhak *et al.* A behavioural sensor for fish stress. **Aquacultural Engineering**, [s. l.], v. 77, p. 107–111, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.04.001>

SOARES, K. M. P.; GONÇALVES, A. A. Qualidade e segurança do pescado Seafood quality and safety. **Rev Inst Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 1–10, 2012.

SOON, Jan Mei; SAGUY, I. Sam. Crowdsourcing: A new conceptual view for food safety and quality. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 66, p. 63–72, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.013>

SUN, Jian *et al.* Classifying fish freshness according to the relationship between EIS parameters and spoilage stages. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 219, p. 101–110, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.011>

SUN, Wen *et al.* Sensitivity enhancement of pH indicator and its application in the evaluation of fish freshness. **Talanta**, [s. l.], v. 143, p. 127–131, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.05.021>

SUSLICK, Kenneth S; RAKOW, Neal A; SEN, Avijit. Colorimetric sensor arrays for molecular recognition. **Tetrahedron**, [s. l.], v. 60, n. September, p. 11133–11138, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tet.2004.09.007>

TAHERI-GARAVAND, Amin *et al.* Smart deep learning-based approach for non-destructive freshness diagnosis of common carp fish. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 278, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109930>

TAOUKIS, P S. **Commercialization of time-temperature integrators for foods**. [S. l.]: Woodhead Publishing Limited, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857090713.3.351>

TAOUKIS, P. S.; *et al.* **Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food**. Switzerland: SpringerInternational Publishing, 2016.

TAOUKIS, P S; KOUTSOUMANIS, K. Use of time – temperature integrators and predictive modelling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 53, p. 21–31, 1999.

TAOUKIS, P.S.; LABUZA, T.P. Time-temperature indicators (TTIs). *In*: NOVEL FOOD PACKAGING TECHNIQUES. Cambridge: Woodhead: [s. n.], 2003.

TREBAR, Mira; LOTRIČ, Metka; FONDA, Irena. Use of RFID temperature monitoring to test and improve fish packing methods in styrofoam boxes. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 159, p. 66–75, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.007>

TSIRONI, Theofania *et al.* Developing suitable smart TTI labels to match specific monitoring requirements: The case of *Vibrio* spp. growth during transportation of oysters. **Food Control**, [s. l.], v. 73, p. 51–56, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.06.041>

TSIRONI, Theofania *et al.* Predictive modelling and selection of Time Temperature Integrators for monitoring the shelf life of modified atmosphere packed gilthead seabream fillets. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 1156–1163, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.016>

TURNER, A. D. *et al.* Detection of the pufferfish toxin tetrodotoxin in European bivalves, England, 2013 to 2014. **Eurosurveillance**, [s. l.], v. 20, n. 2, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2015.20.2.21009>

VECIANA-NOGUÉS, M, C. Biogenic amines as hygienic quality indicators of tuna. Relationship with microbial counts, ATP- related compounds volatile amines and organoleptic changes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 45, p.2036-2041. [s. l.], p. 2041, 1976.

VIEIRA, Regine Helena Silva dos Fernandes. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e pratica**. [S. l.: s. n.], 2004.

WU, Leilei; PU, Hongbin; SUN, Da Wen. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 83, p. 259–273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.002>

YAMANAKA, H. Polyamines as Potential Indexes for Freshness of Fish and Squid. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 591–602, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129009540894>

YAM, K. L.; TAKHISTOV, P. T.;; MILTZ, J. R : Concise Reviews / Hypotheses in Food Science Intelligent Packaging : t package devices. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 1–10, 2005.

ZHANG, Hongjuan *et al.* Smart color-changing paper packaging sensors with pH sensitive chromophores based on azo-anthraquinone reactive dyes. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 286, n. January, p. 362–369, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.165>

ZHANG, Xiahong; LU, Sisi; CHEN, Xi. A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, [s. l.], v. 198, p. 268–273, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.094>

ZION, Boaz *et al.* Real-time underwater sorting of edible fish species. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 34–45, 2007. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2006.12.007>

**EDITORA E GRÁFICA DA FURG**  
**CAMPUS CARREIROS**  
**CEP 96203 900**  
**editora@furg.br**

ISBN 978-65-5754-097-8



9 786557 540978