

# TECNOLOGIA ENZIMÁTICA NA SEGURANÇA ALIMENTAR (BIOSSENSORES)

*Data de aceite: 02/10/2023*

**Antônio José de Sousa Caminha**

**Elisangela Santo Reis de Oliveira**

**Alex Fernando de Almeida**

**Abraham Damian Giraldo Zuniga**

**Ana Karla Rodrigues Dos Santos**

**Luana de Araújo Nogueira Santiago Santos**

**Beatriz Rodrigues Santa Rosa**

**Luana Regina Pereira Alves**

**Dark Luzia dos Santos Neto**

**Maria Luciana Barbosa Mendes**

catalíticas podem ser usadas com relação com compostos proteicos na biossegurança de alimentos. Com mais recomendações de uso e mais testes, novas aplicações puderam ser analisadas. A busca por compostos naturais que reduzam a degradação dos alimentos, promovam maior biossegurança e que não afetem negativamente os alimentos surgiram. Como um dos principais métodos analisados, os efeitos antibióticos de enzimas ocorrem por interação do composto com os fosfolípidios da membrana plasmática. Desta forma assim, enzimas podem ser utilizadas nas seguranças de alimentos, evitando contaminação e um maior aproveitamento para consumo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Enzima, indústria, biossegurança.

**RESUMO:** Mesmo com as modernizações e avanços de tecnologia, a biotecnologia encontra desafios para serem implantadas e disseminadas entre o ramo comercial. Um desafio a indústria da biotecnologia são as operações de destilação, pois elas incidem significativamente no custo de produtos, por exemplo. Sendo assim, o presente trabalho busca elucidar a relação entre a manipulação e uso de enzimas para a indústria alimentícia. Tais proteínas

**ABSTRACT:** Even with the modernization and advances in technology, biotechnology faces challenges to be implemented and disseminated among the commercial sector. A challenge for the biotechnology industry is the distillation operations, as they have a significant impact on the cost of products, for example. Therefore, the present work seeks to elucidate the relationship between the manipulation and use of enzymes for the

food industry. Such catalytic proteins can be used in connection with protein compounds in food biosafety. With more usage recommendations and more tests, new applications could be analyzed. The search for natural compounds that reduce food degradation, promote greater biosecurity and that do not negatively affect food has emerged. As one of the main methods analyzed, the antibiotic effects of enzymes occur through the interaction of the compound with the phospholipids of the plasmatic membrane. In this way, enzymes can be used in food safety, avoiding contamination and greater use for consumption.

**KEYWORDS:** Enzyme, industry, biosecurity.

## 1 | INTRODUÇÃO

Diversos processos biotecnológicos historicamente vêm sendo utilizados na produção de diversos produtos, principalmente alimentos, desde a mais remota antiguidade. Os registros históricos fazem referência ao preparo de bebidas fermentadas a partir de cereais na Babilônia e no Egito (8.000 a 6.000 anos a.C.), à produção de pão, utilizando fermentos, no Egito (4.000 anos a.C.) e à produção de vinhos na Grécia (2.000 a.C.).

A Biotecnologia no atual momento da história humana, encontra muitas aplicações importantes nas áreas de agricultura, pecuária, saúde, preservação do meio ambiente e indústria. Borzani, (2001), em seu capítulo “Engenharia Bioquímica: uma aplicação *suus generis* da engenharia química” lembra do impacto para esse tema ocorrido na segunda guerra mundial com a produção de penicilina em escala industrial, provando com dados históricos a importância do tema mesmo decorridos mais de meio século.

Um desafio a indústria da biotecnologia são as operações de destilação, pois elas incidem significativamente no custo do produto, em virtude da energia necessária para a sua execução, sendo que estas operações de recuperação do produto podem ser responsáveis por 50 a 70% do custo do produto.

Sobre a origem dos isolamentos de microrganismos, há fontes distintas, tanto de culturas comerciais ou advinda de recursos naturais, tais como solo, água, plantas etc., sempre foi uma atividade de grande importância para a obtenção de novas linhagens de interesse industrial. A maioria das grandes empresas como por exemplo as produtoras de antibióticos, ou enzimas, mantêm programas de isolamento de linhagens de recursos naturais, justamente com o objetivo de incrementar a produção de certos produtos, ou com o objetivo de encontrar linhagens produtoras de novos antibióticos. Assim também pode ser aplicado as diversas linhagens de interesse da indústria na área da biotecnologia.

Os fragmentos de DNA podem ser introduzidos por meio dos plasmídeos como vetores, permitindo a obtenção de células alteradas geneticamente. Por esse mecanismo a área biotecnológica pode explorar esse campo e desenvolver compostos que tenham interesse nas diversas áreas de aplicação.

Dentre as diversas áreas de importância para a humanidade a segurança alimentar constitui-se uma necessidade prioritária conforme elencado pelos governos

bem como organismos internacionais como a OMS. As Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA), são as síndromes causadas por cerca de 250 microrganismos que são contaminantes de alimentos e água, usando os mesmos como veículo de infecção para o organismo humano (BRASIL, 2021).

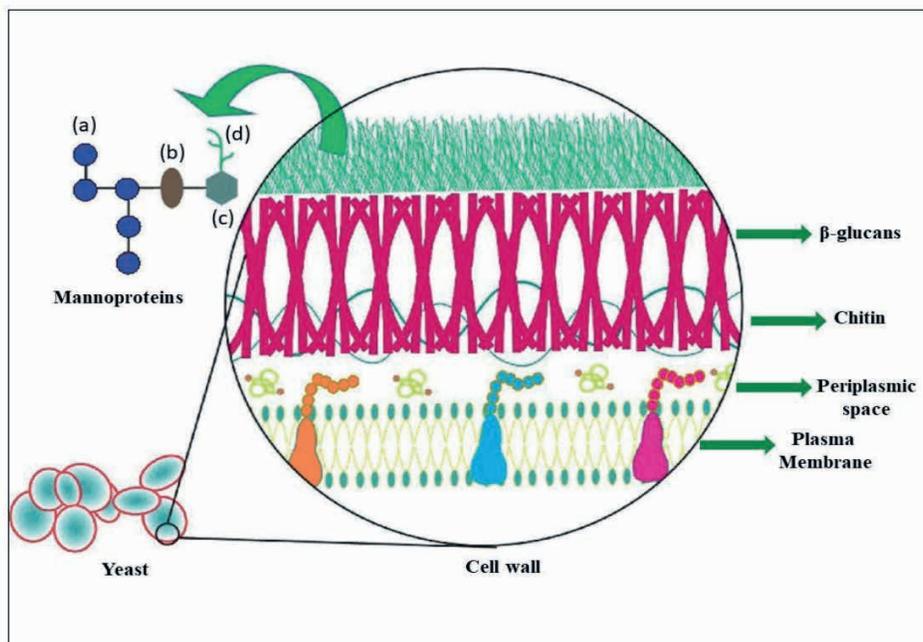
Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 600 (seiscentos) milhões de pessoas contraem doenças transmitidas por alimentos e água (DTHA) contaminados por ano, o que representa para a instituição que 1 (um) em cada 10 (dez) habitantes do planeta sofreram algum tipo de transtorno de saúde por meio de DTHA. Desses doentes, cerca de 420 mil morrem em função da doença (PAHO/OMS, 2022).

Neste sentido, pesquisadores como Shao et al, (2020), demonstraram uso de probióticos com leveduras *Leuconostoc. mesenteroides* com efeito supressor na formação de biofilmes de *Listeria monocytogenes* de até 10 vezes com a cepa W51, Cocultivados com quatro isolados probióticos de kimchi (*Lactobacillus casei* Cab18, *L. pseudomesenteroides* Cab21, *L. mesenteroides* W51, e *L. mesenteroides* Com75) indicando que *Leuconostoc spp* produz os probióticos que reprimem a formação de biofilme de *L. monocytogenes* sem alterar seu crescimento.

Nas pesquisas desenvolvidas por Abdolshahi et al., 2018, citado por Silva e Stamford (2021) buscou conhecer e descrever outro promissor aspecto de utilização das MP (manoproteínas) na qualidade e segurança alimentar, investigando aspectos pouco descritos na literatura como o possível efeito bioprotetor contra aflatoxinas. Os testes utilizaram soluções apenas com MP (25 e 50 mg/ml) e MP revestidas em gelatina (3,5: 1,5) com tempo de exposição de 5, 15, 30, 60, 120 e 180 min, as MP sem associações ligaram-se a 80% e revestidas 85% das aflatoxinas nos primeiros 5 min. Diante de tais resultados eles observaram que sozinhas ou incorporadas em revestimento à base de gelatina, apresentaram glicoproteínas bioativas com potencial de aplicação para reduzir o nível de aflatoxina em pistache contaminado. Na figura 01 é apresentado uma representação esquemática das MP.

O uso de enzimas para trazer maior segurança aos alimentos tem sido demonstrado por vários pesquisadores, dentro desse universo foram desenvolvidos os biossensores. Estes são dispositivos que acoplam compostos biológicos (enzimas, anticorpos ou DNA) a transdutores que transformam o sinal de reconhecimento do analito em uma medida analítica. São sensores modificados com material biológico intimamente ligado à superfície de um transdutor.

Os mecanismos de atuação são de variados tipos, merecendo destaque aqueles em que o monitoramento do analito é baseado no princípio de inibição da enzima, na qual a atividade é medida antes e após a inibição. Neste processo ocorre a medição pela exposição da enzima a um inibidor específico, por um determinado tempo, esse percentual de inibição ocorrido com a enzima está quantitativamente relacionada com a concentração deste agente inibidor (MARQUES e YAMANAKA, 2008).



**Figura 1.** Representação esquemática da estrutura das manoproteínas da parede celular de *Saccharomyces cerevisiae* (a) manose; (b) fosfato; (c) etanolamina; (d) proteína

Fonte: Silva e Stamford (2021)

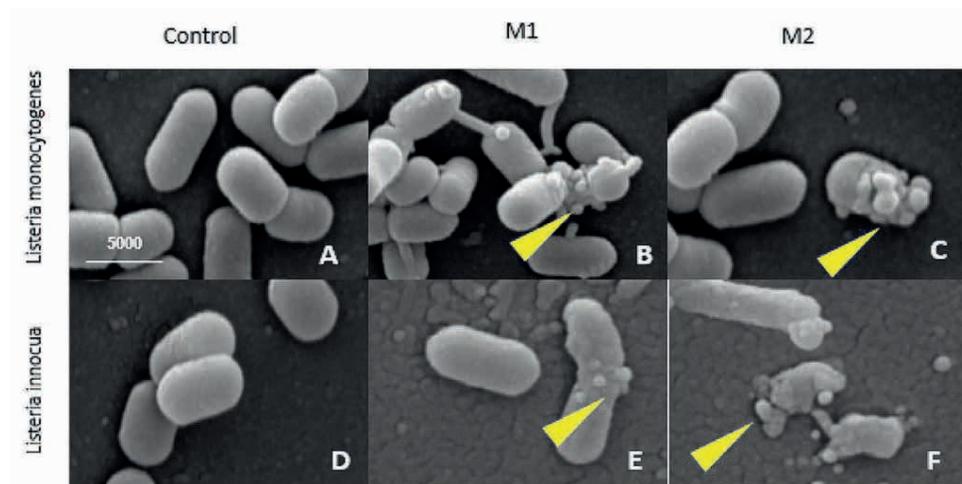
## 21 ENZIMAS E COMPOSTOS PROTEICOS NA BIOSSEGURANÇA DE ALIMENTOS

### 2.1 Bacteriocinas

O uso de compostos naturais tem sido alvo de grande esforço das pesquisas e indústrias da área de alimentos, vem ganhando cada vez mais destaque o uso de peptídeos antimicrobianos de origem bacteriana. As chamadas enterocinas ou bacteriocinas, são obtidas do cultivo de várias espécies do gênero *Enterococcus* e outros microorganismos também como o gênero *Leuconostoc*. No caso do gênero *Enterococcus* são caracterizados como peptídeos antimicrobianos sintetizados nos ribossomos e liberados no meio extracelular. Além disso, devido à sua atividade antagônica, as enterocinas atuam contra diversas espécies Gram positivas e Gram negativas, principalmente contra *Listeria spp* (BUSSOLO et al 2022).

Em seu trabalho, Bussolo et al, (2022) ao realizar a análise ultraestrutural de *L. monocytogenes* CLIP2032 e *L. innocua* Células CLIP12612 (Figura 2), observou a ocorrência de dano à membrana, comprovado pelo encolhimento ou ruptura celular; esse resultado ocorreu em função do uso de enterocinas produzidas em meio de cultura com o uso de resíduos da produção de soja. As enterocinas de classe II podem induzir a

formação de poros na membrana celular, ligando-se ao sistema manosefosfotransferase e influenciando a viabilidade celular. Segundo o pesquisador diversos relatórios sugerem que a ruptura celular causada pela bacteriocina é o mecanismo semelhante de atuação em patógenos transmitidos por alimentos (BUSSOLO et al 2022).



**Figura 2** – Imagens de microscopia eletrônica de varredura (SEM) de *L. monocytogenes* e pós tradução com enterocinas obtidas nos meios M1 e M2 de soja em aumento de 50.000x. As setas amarelas indicam dano celular.

Fonte: Bussolo et al, (2022).

Na busca por compostos naturais que reduzam a degradação dos alimentos, promovam maior biossegurança e que não afetem negativamente os alimentos surgiram compostos como a nisina, que é considerada um dos marcos mais importantes da pesquisa envolvendo bacteriocinas, conjunto de compostos celulares com potencial microbicida. Comercializada desde 1953, é utilizada até hoje na produção de diferentes alimentos em escala industrial. É o único peptídeo antimicrobiano natural aprovado pela *Food and Drug Administration* (FDA) para uso como conservante de alimentos.

A bacteriocina nisina, se constitui de um peptídeo sintetizado por bactérias comuns lacteas. Cerca de 40 espécies conhecidas de *Lactococcus lactis subsp. lactis*, 35 sintetizam nisina. A capacidade de produção se encontra geneticamente ligada à capacidade de fermentar sacarose; está em um grupo de peptídeos produzidos ribossomicamente; pertence à classe dos lantibiótico e à subclasse Ia; identificação internacional INS como E234.

As atividades desta bacteriocina afeta várias espécies, incluindo *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Listeria* e *Micobacterium*, atinge também células vegetativas e esporos de *Bacillus* e *Clostridium*. Como citado anteriormente é produzida naturalmente em processos fermentativos de vários alimentos, sobretudo produtos lácteos, há relatos históricos de

consumo desses produtos há muitos séculos.

As ações da nisina como bacteriocina afeta especialmente bactérias Gram positivas, sendo especificamente usada pela indústria de queijos para controlar o crescimento de *Clostridium spp.* Estas ações têm sido alvo de diversos estudos que têm avaliado a eficácia da nisina sobre patógenos, como consequência seu uso em diferentes produtos alimentícios tem sido bastante empregado, como, por exemplo, na inibição do crescimento microbiano em queijos, sucos de fruta, carne moída, salsichas, produtos enlatados, derivados do leite e cerveja (ADITIVOSINGREDIENTES.COM).

O efeito antibiótico ocorre por interação do composto com os fosfolípidios da membrana plasmática, essa ação do peptídeo provoca a formação de poros na membrana, e como ação semelhante ao sistema complemento dos organismos animais mais evoluídos, ocasionam o efluxo do material intracelular. Assim, após o tratamento com nisina, as células ficam sem energia suficiente para realizar processos biossintéticos e que a membrana plasmática, transdutora de energia, pode ser o alvo primário na atuação da nisina. Sendo a bacteriocina carregada positivamente com partes hidrofóbicas, ocorrem interações eletrostáticas com o grupamento fosfato da membrana celular, carregado negativamente, promovendo o início da ligação da bacteriocina com a célula-alvo.

Outros autores consideraram a ação antimicrobiana e o rendimento considerável das enterocinas ou bacteriocinas, com potencial para obtenção de peptídeos antimicrobianos para conservação de alimentos, uma vez que esses compostos devem ser aplicados com base em sua atividade e modo de ação, devendo ser desenvolvidos em condições que reproduzam as utilizadas em produtos alimentícios (BUSSOLO et al 2022).

As enterocinas podem ter seu uso em diversas formas nos alimentos, servindo como aditivos como conservantes de alimentos a partir da incorporação da cultura iniciadora da bactéria produtora e do extrato bruto da própria bacteriocina ou através da incorporação de bacteriocina purificada.

Existem pesquisas e trabalhos publicados que comprovam o efetivo benefício destes compostos na segurança dos alimentos, porém os meios comerciais utilizados para a obtenção das bacteriocinas continuam sendo um desafio, os altos custos e o baixo rendimento da produção em larga escala tem inviabilizado seu emprego nesta atividade comercial (BUSSOLO et al 2022).

## **2.2 Embalagens inteligentes e biossensores**

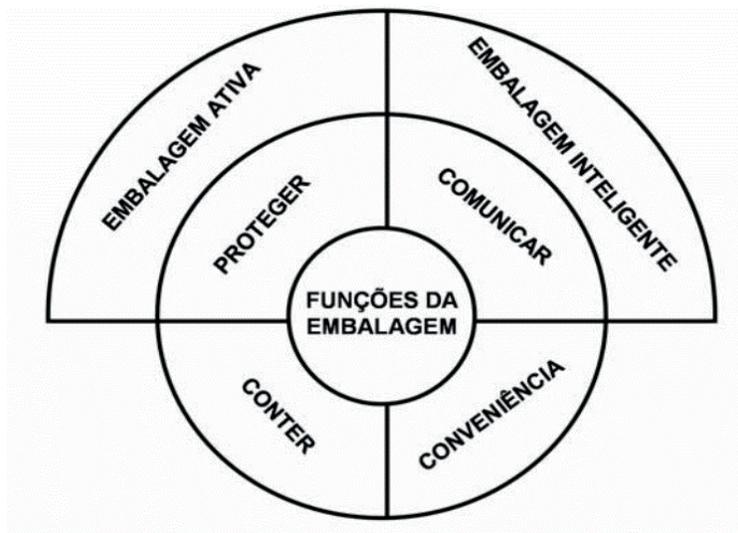
O consumo de alimentos embalados aumentou consideravelmente nas últimas décadas. As embalagens acompanharam o desenvolvimento das sociedades, que reduziram a quantidade de membros por família, ingresso das mulheres no mercado de trabalho e a necessidade de alimentos cada vez mais processados e em quantidades adequadas as famílias e que pudessem ser armazenados para consumo sem ocorrer deterioração e conservando suas propriedades nutricionais.

O mercado global de embalagens cresce a uma taxa anual de 5%, esse mercado mundial de alimentos embalados foi estimado em US\$ 1,9 trilhão em 2020, os analistas de mercado preveem que possa chegar a cifra de US\$ 3,4 trilhões até 2030 (ROY et al., 2022). Na mesma vertente desse aumento considerável de produção de embalagens, cresce também a preocupação global com o impacto ambiental, visto que a maioria das embalagens de alimentos é desenvolvida a partir de polímeros à base de petróleo, projetadas para uso único e descartadas após curtos períodos. Seguindo as diretrizes globais pactuadas na ONU, as ODS, incentivam como metas para os governos globais criar as alternativas para diminuir o impacto ambiental, garantir a qualidade e segurança dos alimentos com a substituição destas por embalagens biodegradáveis com propriedades ativas e inteligentes (LIMA et al, 2022)

Neste contexto, a substituição das embalagens derivadas de petróleo por embalagens biodegradáveis estimulou o desenvolvimento de embalagens chamadas ativas devido suas propriedades interagirem com o alimento e ao mesmo tempo com o consumidor. É um campo em desenvolvimento dinâmico com grandes perspectivas de mercado e surge a partir de uma proposta inovadora na área de embalagens de alimentos que visa atender às demandas do mercado, como a preferência dos consumidores por alimentos seguros, saudáveis e de alta qualidade (CAETANO et al., 2022).

As embalagens consideradas ativas, estão em um sistema constituído por três partes: substância ativa, material de embalagem e alimento. Nesta modalidade de embalagem, ocorre interação com alimento, mantendo assim a qualidade nutricional e inibindo o crescimento de microrganismos ou prevenindo a migração de contaminantes. Um destaque a esse tipo de embalagem deve ser dado as antimicrobianas, posto seu impacto na conservação e segurança dos alimentos ofertados a população (CAETANO et al, 2022).

As embalagens ativas antimicrobiana incorporam compostos específicos no material da embalagem, com isso a indústria de alimentos busca proteger os alimentos de bactérias deteriorantes. Essa inibição da deterioração pode ocorrer através do contato direto ou indireto. No contato direto, ocorre interação entre o material da embalagem e os alimentos, já no contato indireto, ocorre através da liberação de um agente antimicrobiano volátil no headspace da embalagem. Como já citado anteriormente, está comprovado que o uso dos sistemas de embalagens ativas antimicrobianas prolonga a vida útil dos alimentos, garantem a segurança alimentar e retardam os ciclos de crescimento microbiano. Na literatura existem vários trabalhos que avaliaram também biopolímeros aliados a óleos essenciais visando a aplicação em embalagens ativas, o que demonstra o vasto campo ainda a ser explorado (CAETANO et al, 2022).



**Figura 3.** Funções básicas das embalagens e interfaces de atuação das embalagens ativas e inteligentes.

Fonte: Braga e Perez, (2010)

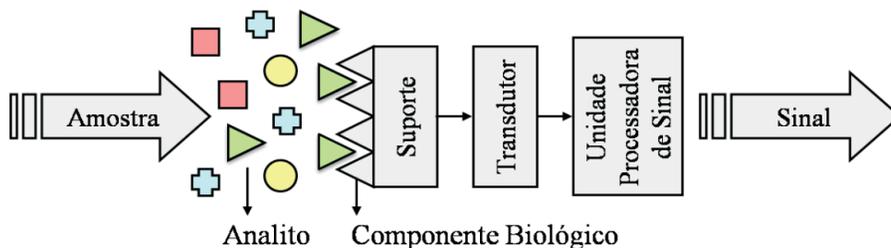
Esse campo de pesquisa trouxe grandes possibilidades que podem ser incorporados nos sistemas, aditivos que apresentem propriedades, por exemplo, antioxidantes (naturais ou sintéticos), antibacterianos, bloqueadores de luz ou controladores de gás. Outro destaque dentre os aditivos mencionados, podemos citar os antioxidantes pela sua grande importância, pois inibem as reações de oxidação que levam à degradação dos alimentos e impedem a formação de alguns compostos tóxicos que levam a perda do alimento (LIMA et al, 2022).

Outro campo bastante promissor em franco desenvolvimento são as chamadas embalagens inteligentes desenvolvidas baseadas em biossensores e nanotecnologia, denominadas em referência a sua interação com o consumidor, mostrando o estágio de maturação do produto a exemplo das frutas, deterioração a exemplo dos produtos cárneos, com o uso de sensores de qualidade. Alguns desses sensores são conhecidos como língua ou nariz eletrônico, que mostram, por exemplo, as alterações de cor quando o produto estiver impróprio ao consumo. Entre as capacidades desse sistema, podemos citar a indicação de temperatura, tempo de consumo; estes são indicadores de gás, sensores de umidade, biossensores ópticos, calorimétricos, eletroquímicos, apresentam um histórico sobre condições de armazenamento, rastreabilidade, crescimento microbiano e composição do alimento (ONGARATTO et al., 2022).

O primeiro trabalho publicado sobre um biossensor utilizando uma enzima foi realizado por Clark e Lyons em 1962, onde para medir a glicose em amostras biológicas foi utilizada a estratégia de detecção eletroquímica de oxigênio ou peróxido de hidrogênio

usando glicose oxidase imobilizada num eletrodo (ARÁMBULO, 2023). Podemos citar o uso da acetilcolinesterase (AChE) e a butirilcolinesterase (BChE) na detecção de pesticidas organofosforados em alimentos, já que esses compostos provocam nessas enzimas uma inibição irreversível, podendo também ser utilizadas ao final da reação as enzimas colinesterase (ChE) e colina oxidase (ChO). Também se pode usar a enzima organofosforado hidrolase (OPH), purificada e extraída a partir das células da bactéria *Brevundimonas diminuta* para a detecção direta desses compostos nocivos (COSTA et al., 2022).

O funcionamento dos biossensores utilizados nas embalagens ativas, apresentam o seguinte mecanismo de funcionamento (figura 04), o analito, contido na amostra, ao entrar em contato com o elemento de reconhecimento, provoca uma mudança físico-química (variação de calor, índice de refração, resistência elétrica, etc.) que pode ser identificado pelo transdutor. O transdutor age como uma interface, processa e converte esse sinal químico em sinal mensurável. Na etapa seguinte, a unidade processadora de sinal irá amplificar o sinal e transferi-lo para um monitor ou dispositivo, onde a visualização de dados informará ao usuário se o analito foi ou não identificado e a sua concentração na amostra (OLIVEIRA e PEREIRA, 2016).



**Figura 4.** Esquema de um biossensor, mostrando a organização dos seus componentes.

Fonte: Oliveira e Pereira, 2016.

Com as inovações na área de embalagens inteligentes, espera-se que o consumidor fique menos dependente das datas de validade para confiar o frescor dos alimentos. As embalagens inteligentes com capacidades de detectar alterações biológicas, químicas e físicas nos alimentos são consideradas um grande progresso para indústria de alimentos, sendo considerados os indicadores de frescor e de tempo-temperatura (TTI) e os grupos de embalagens inteligentes mais importantes para carnes (ONGARATTO et al., 2022).

O desenvolvimento de embalagens ativas está dividido em duas categorias principais. A primeira refere-se aos absorventes ou captadores. Como o próprio nome sugere, estas atuam removendo do produto agentes indesejáveis, como oxigénio, dióxido de carbono, etileno e água em excesso. A segunda categoria está relacionada com sistemas de libertação, que adicionam ativamente ou emitem compostos para os alimentos

embalados. Na Tabela 1, são apresentados vários sistemas de embalagens ativas.

EMBALAGENS ATIVAS	COMPONENTES QUÍMICOS	FÓRMULA MOLECULAR	APLICAÇÕES
Absorvedor de oxigênio	Óxido de ferro	FeO	Queijos, leite, café, chás, produtos cárneos, produtos de panificação
	Carbonato ferroso	FeCO <sub>3</sub>	
	Ácido ascórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	
	Sorbitol	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	
Absorvedor de etileno	Catecol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	Vegetais e frutas
	Óxido de alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	Permanganato de potássio	KMnO <sub>4</sub>	
Absorvedor de umidade	Ozônio	O <sub>3</sub>	Frutas, vegetais, produtos congelados e de padaria
	Silica gel (silicato de sódio + ácido sulfúrico)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	
	Propilenoglicol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	
Absorvedor de dióxido de carbono	Poli(álcool vinílico)	(C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	Café torrado, produtos desidratados
	Hidróxido de cálcio	Ca(OH) <sub>2</sub>	
	Hidróxido de potássio	KOH	
	Carbonato ferroso	FeCO <sub>3</sub>	
Sistemas antimicrobianos	Óxido de cálcio	CaO	Alimentos frescos e processados, vegetais, frutas secas, arroz, feijão e produtos de padaria
	Ácido sórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	
	Ácido benzóico	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	
	Ácido propiônico	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	
	Triclosan	C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	
	Dióxido de enxofre	SO <sub>2</sub>	
	Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	
	Prata, nanopartícula de prata	Ag	
Cloreto de sódio	NaCl		
Sistemas antioxidantes	Óleos essenciais (ex.: alecrim, cravo, tomilho, orégano)		Frutas e vegetais
	Ácido ascórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	
	Quercetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	
Emissor de dióxido de carbono	Butil hidroxitolueno	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	Vegetais e frutas, peixes, carnes e aves
	Ácido ascórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	
Emissor de etanol	Carbonato de ferro	FeCO <sub>3</sub>	Produtos de panificação e peixe
	Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	

FONTE: Adaptado de AHVENAINEN; HURME, 1997; KRUIJF *et al.*, 2002; OZDEMIR; FLOROS, 2004; SOUZA *et al.*, 2004; CHEN *et al.*; 2012; KANMANI; LIM, 2013).

**Tabela 1.** Relação de embalagens ativas (sistemas absorventes e emissores), componentes químicos utilizados e suas aplicações.

Fonte: Braga e Silva, 2017.

Outro exemplo claro de uso de biossensores está na indústria cervejeira e de outras bebidas alcoólicas, os biossensores são utilizados como instrumentos de segurança uma vez que podem detectar e quantificar o etanol, e assim garantir uma rotulagem correta. Para isso pode-se usar a enzima álcool oxidase através de biossensores eletroquímicos (ALI, 2019).

### 3 I AÇÃO DAS ENZIMAS NA SEGURANÇA DOS ALIMENTOS

Uma das principais contribuições das enzimas para a segurança alimentar é a sua capacidade de quebrar compostos indesejáveis, como toxinas, anti-nutrientes e resíduos químicos. A ação enzimática controlada em alimentos fermentados, por exemplo, é essencial para evitar a contaminação bacteriana indesejável e garantir a segurança dos alimentos fermentados. As enzimas também têm um papel crucial na detecção e controle de fraudes alimentares. Por meio de técnicas avançadas, é possível identificar adulterações em alimentos por meio da análise de atividades enzimáticas específicas. Essa abordagem pode revelar a presença de ingredientes impróprios ou falsificados, proporcionando uma camada adicional de proteção ao consumidor (ARÁMBULO, 2023).

O metabolismo microbiano também pode ser detectado por biossensores enzimáticos, uma vez que algumas bactérias podem metabolizar diferentes substâncias, gerando produtos que são substratos de determinadas enzimas. Usando a enzima arginina descarboxilase é possível detectar diaminas que são frutos do metabolismo microbiano, e assim, detectar produtos alimentícios contaminados (TEXEIRA, 2021).

Fora do escopo dos biossensores, as enzimas podem auxiliar na proteção a alimentos embalados, objetivando, por exemplo, a contenção do oxigênio nas embalagens, resultando no enfraquecimento das taxas do metabolismo microbiano e promovendo o aumento do tempo de prateleira. É o caso das enzimas álcool oxidase, lactase e glicose oxidase, que podem ser utilizadas para diminuir a atmosfera oxidante dentro das embalagens (BARBOSA, 2023).

### REFERÊNCIAS

- ALI, M. A. **Ethanol bioelectrocatalysis using alcohol dehydrogenase on quinone-functionalized carbon-based electrodes: from molecular electrochemistry to *operando*-electron paramagnetic resonance approach**. 2019. Tese (Doutorado) – Doutorado em Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.
- ARÁMBULO, P. C. S. **Desenvolvimento de Biossensores baseados em aptâmeros para detecção de saxitoxina por impedância eletroquímica**. 2023. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2023.
- BARBOSA, E. G. **Embalagens ativas e suas aplicações na conservação de alimentos**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Especialização em Inovação e Tecnologia para Alimentos e Bebidas, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul, 2023.
- BECKER, M. M.; RIBEIRO, E. B.; MARQUES, P. R. B. O.; MARTY, J. L.; NUNES, G. S.; CATANANTE, G. **Development of a highly sensitive xanthine oxidase-based biosensor for the determination of antioxidant capacity in Amazonian fruit samples**. *Talanta*, 204, 626–632, 2019.
- BRAGA, L. F. SILVA, R. M. **Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias**. *Brazilian Journal of Food Research*, Campo Mourão, v. 8 n. 4, p. 170-186, out./dez. 2017.

- COSTA, A. R. C.; RIBEIRO, E. B.; RIBEIRO, D. B.; BLASQUES, R. V.; MARQUES, P. R. B. O.; NUNES, G. S. **Biossensores à Base de Acetilcolinesterase para Detecção de Pesticidas organofosforados: Tendências e Perspectivas.** Revista Virtual de Química, v. 14, n. 2, 2022.

- DALKIRAN, B. **Amperometric determination of heavy metal using an HRP inhibition biosensor based on ITO nanoparticles-ruthenium (III) hexamine trichloride composite:** Central composite design optimization. Bioelectrochemistry, v. 135, 2020.

- LIU, L.; CHEN, C.; CHEN, C.; KANG, X.; ZHANG, H.; TAO, Y.; XIE, Q.; YAO, S. **Poly(noradrenalin) based bi-enzyme biosensor for ultrasensitive multi-analyte determination.** Talanta, v. 194, p. 343–349, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.10.055>.

- ONGARATTO, Gabriela Cavalca; VITAL, Ana Carolina Pelaes; DO PRADO, Ivanor Nunes. **Embalagens ativas e inteligentes para proteção da carne e seus derivados: Revisão.** Pubvet, v. 16, p. 207, 2022.

PANAFTOSA alerta que doenças transmitidas por alimentos podem ser evitadas com ações preventivas do campo à mesa. PAHO, 2022. Disponível em: < <https://www.paho.org/pt/noticias/7-6-2022-panaftosa-alerta-que-doencastransmitidas-por-alimentos-podem-ser-evitadas-com> >. Acesso em: 04 jan. 2023.

- RATO, Nuno; GASPARGASPAR, Pedro Dinis. **Active and intelligent packaging-Principles of operation, characteristics and applications.**Bússolo, Talita Butzke, Cassia Milena De Souza, Nathália Aparecida Andrade De Souza, Márcia Cristina Furlaneto, Evandro Bona, and Luciana Furlaneto-Maia. “Soybean Flour as a Substrate to Obtain Enterococcus Durans Bacteriocins.” Ciência E Agrotecnologia 46 (2022): Ciência E Agrotecnologia, 2022, Vol.46. Web.

- SHINOHARA, N. K. S.; OLIVEIRA, F. H. P. C. **Desafios e Estratégias para a segurança alimentar mundial.** Campina Grande: Editora Ampla, 356p. 2022.

- SILVA, M. K. L. da. CESARINO, I. **Desenvolvimento de biossensores para controle de pesticidas em alimentos.** SHMIDELL, W. et al; BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL VOL II. ED. EDGARD BLÜCHER LTDA. 2008.

- TEIXEIRA, A. B. M. **Ferramenta ótica para controlo alimentar: avanços no perfil metabólico das aminas biogénicas e validação de um biossensor ótico.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Curso de Biorrecursos, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2021.

- TRAVAGIN, B. N. F. S. **Estudo da formação de biofilmes de Listeria monocytogenes frente a diferentes condições encontradas em laticínios.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. doi:10.11606/D.11.2010.tde-20102010-104203. Acesso em: 20 de julho de 2023.

UFRJ, 2022. **Bacteriocinas, antibióticos do futuro.** Disponível em: <https://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/destaques/novidades-sobre-a-micro/303-bacteriocinas-antibioticos-do-futuro> acesso em: 30 de abril de 2023.

VERRUCK, S. **Avanços em ciência e tecnologia de alimentos.** Vol. 3. Científica Daiatal. Guarujá, SP. 2021.