



CAMILA DE PAULA CUSTODIO

**MÉTODOS DE PROCESSAMENTO DE COGUMELOS PARA
ELABORAÇÃO DE PRODUTOS ANÁLOGOS A CARNE**

**LAVRAS – MG
2022**

CAMILA DE PAULA CUSTODIO

**MÉTODOS DE PROCESSAMENTO DE COGUMELOS PARA
ELABORAÇÃO DE PRODUTOS ANÁLOGOS A CARNE**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Olga Lucía Mondragón Bernal
Orientadora

**LAVRAS – MG
2022**

*Aos meus pais Eliana e José Wilson.
Ao meu irmão Matheus.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me suportado e me dado força nos momentos mais difíceis da graduação.

Aos meus pais e meu irmão por todo incentivo e força que me deu em todos esses anos, sendo a base para que eu pudesse passar por todo processo.

A mim mesma por também ser meu suporte e pela fé e força que desenvolvi para suportar principalmente os dias de dúvida.

Aos meus amigos de Lavras por serem meu suporte e meus companheiros em todos os momentos.

Aos meus professores que me formaram durante a vida, por despertarem em mim o amor pelo conhecimento.

À UFLA pela estrutura e por todas as oportunidades oferecidas durante a minha graduação que proporcionou não somente o crescimento a nível acadêmico, mas também o desenvolvimento de *soft skills* extremamente necessárias para a minha carreira.

Aos meus professores por todo conhecimento transmitido.

À Olga, minha orientadora pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O mercado de produtos veganos vem crescendo de forma acelerada em todo o mundo devido à mudança no padrão de consumo da população. No entanto, apesar de os consumidores estarem dispostos a reduzirem o consumo de produtos de origem animal, muitos ainda ficam receosos por sentirem falta desses produtos, devido ao sabor e textura deles. Uma forma encontrada pela indústria foi a de processar vegetais e produtos a base de fungos para criar produtos análogos à carne. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica na literatura sobre as diferentes técnicas de processamento, texturização e caracterização de proteínas oriundas de cogumelos, além de revisar sobre o beneficiamento de vitamina B em produtos análogos à carne e por fim o uso de transglutaminase para texturizar esses produtos. O processamento que se mostrou mais viável foi o de extrusão a alta umidade, pois garante uma textura semelhante a da carne, além de já ser bastante estudado. Em relação ao beneficiamento de vitamina B, pode-se utilizar algas bem como levedura de cerveja desde que esta passe por um tratamento a fim de retirar o gosto amargo. Já em relação a transglutaminase, a que apresenta maiores chances de propiciar características de carne a esse produto são a de origem microbiana, porém ainda precisam ser realizados estudos para entender se essa aplicação é viável.

Palavras-chave: *fungi-based*. Cogumelos. Proteínas alternativas. *Pleurotus ostreatus*.

ABSTRACT

The market for vegan products has been growing at an accelerated rate around the world due to the change in the consumption pattern of the population. However, despite consumers being willing to reduce the consumption of animal products, many are still afraid to miss these products, due to their taste and texture. One way the industry found was to process vegetables and fungal-based products to create meat-like products. The present work aimed to carry out a bibliographic review in the literature on the different processing techniques, texturing and characterization of proteins from mushrooms, in addition to reviewing the processing of vitamin B in meat-like products and, finally, the use of transglutaminase for texturize these products. The processing that proved to be the most viable was extrusion at high humidity, as it guarantees a texture similar to that of meat, in addition to being extensively studied. Regarding the processing of vitamin B, algae can be used as well as brewer's yeast as long as it undergoes a treatment in order to remove the bitter taste. In relation to transglutaminase, the one that has the highest chances of providing meat characteristics to this product is of microbial origin, but studies still need to be carried out to understand if this application is viable.

Keywords: *fungi-based*. Mushrooms. Alternative proteins. *Pleurotus ostreatus*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de píleos dos cogumelos da ordem <i>Agaricales</i>	13
Figura 2 - Morfologia de um cogumelo.....	13
Figura 3 - Estrutura básica de um típico polissacarídeo presente em cogumelos.	15
Figura 4 - Fórmula estrutural básica dos compostos fenólicos.	17
Figura 5 - Estrutura química básica dos flavonoides.....	18
Figura 6 - Reação de produção de melanina por meio da oxidação da tirosinase. As reações (a) e (b) precisam de um catalisador enzimático para reagir, enquanto que as reações (c) e (d) podem ser espontâneas.	20
Figura 7 - Reação mais detalhada da produção de melanina por meio da oxidação da tirosinase.....	21
Figura 8 - Reação de Maillard.	24
Figura 9 - Canhão de extrusora com rosca simples e rosca dupla.	26
Figura 10 - Extrusora.....	27
Figura 11 - Cozedor a vapor a batelada.....	29
Figura 12 - (A) Injetora de vapor direto contínuo (B) Partes do componente.....	30
Figura 13 - Branqueador a vapor com resfriamento em contracorrente.....	33
Figura 14 - Branqueador de água quente.....	34
Figura 15 - Mecanismo de reação da mTGASE.....	42
Figura 16 - Reação de polimerização de proteínas.....	43
Figura 17 - Reações que ocorrem na presença de transglutaminase. (a) reação de acil-transferência (b) Reação de cross-linking. (c) Reação de deamidação.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características bioquímicas de algumas mTGs.....	40
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	METODOLOGIA.....	11
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1	MORFOLOGIA DOS COGUMELOS DA ORDEM AGARICALES.....	12
4.1.1	Composição Química e Substâncias dos Cogumelos.....	13
4.1.2.	Compostos Antioxidantes dos Cogumelos.....	16
4.1.3	Deterioração dos cogumelos	19
4.2	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS IMPORTANTES PARA PRODUTOS ANÁLOGOS À CARNE.	22
4.2.1	Aparência	22
4.2.2	Sabor.....	23
4.2.3	Retenção de líquidos	24
4.2.4	Textura	25
4.3	TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS.....	25
4.3.1	High-Moisture Extrusion (HME).....	25
4.3.2	Célula de Cisalhamento.....	27
4.3.3	Método Da Fiação	28
4.3.4	Cozimento por Meio de Calor Úmido.....	28
4.3.5	Branqueamento.....	30
4.3.6	Método Sous-Vide.....	35
4.3.7	Método Ultrassom	36
4.4	BENEFICIAMENTO DE VITAMINA B EM ALIMENTOS PROCESSADOS	37
4.5	USO DE TRANSGLUTAMINASE PARA RETICULAÇÃO DE PROTEÍNAS E POSSÍVEL APLICAÇÃO EM PRODUTOS <i>PLANT E FUNGI-BASED</i>	39
4.5.1	Transglutaminase Animal (aTGA).....	39
4.5.2	Transglutaminase Microbiana	40
4.5.3	Uso da Transglutaminase na Indústria de Alimentos.....	40
4.5.4	Uso da mTransglutaminase em Alimentos à Base de Cereais e Vegetais	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

O mercado global de produtos à base de plantas tem projeção de crescimento a uma taxa de crescimento anual composta (*Compound Annual Growth Rate - CAGR*) de 12,4% de 2022 a 2029, atingindo um faturamento de aproximadamente US\$ 95,52 bilhões (METICULOUS RESEARCH, 2022).

Esse crescimento pode ser explicado pela maior preocupação dos consumidores com as questões ambientais, bem como com o bem-estar dos animais. Pode-se afirmar isso com base no crescimento da população que se denomina vegetariana. No Brasil, por exemplo, esse grupo saltou de 8% em 2012 para 14% em 2018 (IBOPE, 2018).

Os cogumelos são bastante promissores para o mercado *plant-based*, visto que, além de apresentarem sabor e textura agradáveis ao paladar humano, também possuem um valor nutricional interessante (EMBRAPA, 2017).

São conhecidas cerca de 2000 espécies de cogumelos comestíveis ao redor do mundo, no entanto, apenas aproximadamente 22 espécies são amplamente cultivadas (LAKHANPAL, 1994).

Dentre os cogumelos mais popularmente conhecidos, tem o Champignon, que é responsável por 66% do total de cogumelos produzidos in natura no país, Shitake e o Shimeji cinza, *Pleurotus ostreatus* e o Shimeji salmão, *Pleorutus djamor* (GOMES, 2018).

Os cogumelos do gênero *Pleurotus* são os mais abrangentes dentro das espécies até então conhecidas para consumo humano. Além disso, esses cogumelos podem ser cultivados em ambientes rústicos, sem tanta necessidade de cuidados no cultivo. Por exemplo, são facilmente encontrados em troncos de árvores, diferente de outras espécies que necessitam de substratos para obter uma boa produção (EMBRAPA, 2017).

Esses cogumelos se desenvolvem melhor em ambientes mais frios, de cerca de 20°C aproximadamente. Portanto, é possível concluir que, de modo geral, o clima brasileiro é um desafio a ser considerado para o cultivo dessas espécies. Entretanto, já existem evidências de que ambientes com controle de temperatura são capazes de aperfeiçoar a produção (EMBRAPA, 2017).

Uma das formas encontradas pela indústria de alimentos para introduzir os fungos na alimentação da população foi através de trabalhar as características dos cogumelos por meio de técnicas de processamento e texturização. Isso se faz necessário para não perder as características inerentes aos cogumelos, para que não torne os produtos processados em algo totalmente diferentes da matéria-prima (HE, J ET AL, 2020).

Pode ser utilizada desde técnicas mais simples como o cozimento feito com a temperatura controlada até técnicas mais elaboradas pela ciência, como extrusão a alta umidade, células de cisalhamento e ultrassom (FELLOWS, 2006).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica na literatura sobre as diferentes técnicas de processamento, texturização e caracterização de proteína alternativa vegetal, que permite a aplicação em cogumelos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Fazer um levantamento na literatura das diferentes técnicas de processamento de alimentos capazes de modificar a texturização e caracterização de cogumelos;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre as mudanças enzimáticas, estruturais e químicas após o processamento;
- Comparar as técnicas existentes e correlacionar sobre os resultados e aplicação na texturização de cogumelos;
- Fazer um levantamento sobre análise de perfil de aminoácidos e presença de vitaminas B em cogumelos e como enriquecer alimentos com Vitamina B12;
- Pesquisar sobre o uso de transglutaminase em produtos originários de cogumelos.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado através de pesquisas em artigos científicos, livros, teses, dissertações já publicados relacionados ao tema, com o objetivo principal de mapear as diferentes técnicas de processamento de alimentos.

A pesquisa foi realizada através do portal de periódicos da CAPES bem como pelo Google Acadêmico, visto que são ferramentas simples e democráticas para acessar os principais temas relevantes à este trabalho.

Os materiais utilizados foram pesquisados em português e inglês, de qualquer ano, com palavras-chaves como tipos de cogumelos, técnicas de branqueamento, *mushrooms temperature cooking*.

Por fim, foi feita uma compilação das técnicas encontradas bem como uma análise e interpretação destas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MORFOLOGIA DOS COGUMELOS DA ORDEM AGARICALES

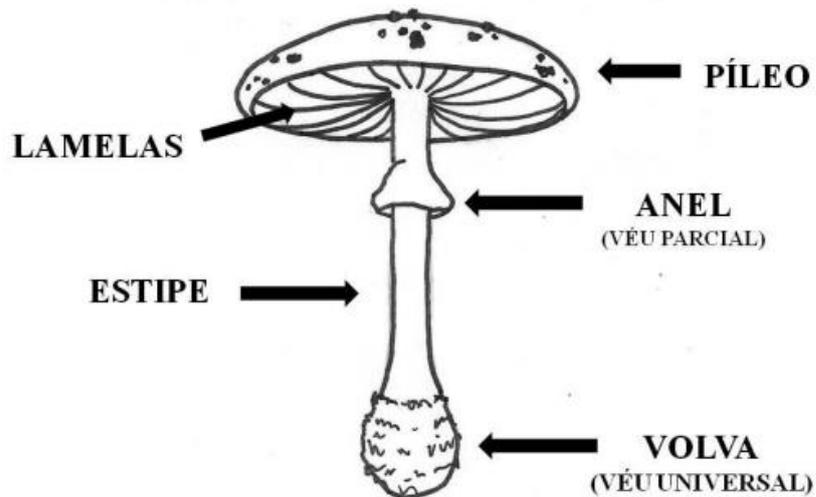
A ordem *Agaricales* abrange os fungos mais conhecidos pelos seres humanos, os chamados cogumelos (EMBRAPA, 2017). Existe uma grande variedade estrutural dentro desta ordem. A maioria deles é constituída pelo estipe (talo e haste), que pode apresentar diferentes formas, cor e consistência, píleo (chapéu) (Figura 2), sendo esta uma parte muito importante na estrutura dado que nele se encontra os esporos reprodutores aderidos ao himênio e essa parte pode apresentar diferentes cores e texturas, podendo ser lisa, escamosa, rugosa, sedosa entre outros (Figura 1). Também é constituído pela parte inferior do chapéu, constituída por guelras, lamelas, tubos ou poros, pregas ou pseudolâminas, em algumas espécies encontra-se anéis, sendo este o resto de um véu que reveste a parte inferior do chapéu no estado jovem e, por fim a volva, que também é encontrada somente em algumas espécies, que assim como o anel, se trata do restante do véu que reveste a base do pé (COIMBRA, 2013).

Figura 1 - Tipos de píleos dos cogumelos da ordem *Agaricales*.



Fonte: (COIMBRA, 2013).

Figura 2 - Morfologia de um cogumelo.



Fonte: (COIMBRA, 2013).

4.1.1 Composição Química e Substâncias dos Cogumelos

Os cogumelos são alimentos pouco calóricos, principalmente por apresentarem baixo teor de lipídeos, porém alto teores de proteínas, fibras e aminoácidos essenciais, além de minerais, vitaminas e carboidratos (VILLARES; MATEO-VIVARACHO; GUILLAMÓN, 2012; DEEPALAKSHMI; MIRUNALINI, 2014; KADNIKOVA et al., 2015; ROSLI; MAIHIZA; RAUSHAN, 2015; TEKLIT, 2015). A composição nutricional varia de acordo com a espécie,

local de cultivo, substrato, condições do solo, idade e a fração do corpo do cogumelo (SUDHEEP; SRIDHAR, 2014; SUN et al., 2017).

Em relação aos lipídeos, a concentração pode variar entre 2 a 10% da base seca (KALAC 2009; CHEUNG, 2008). Alimentos com baixo teor de ácidos graxos são importantes para manter uma dieta balanceada, portanto, incluir cogumelos na alimentação pode ser um auxílio na busca de uma alimentação saudável, principalmente pelo fato da maior parte da gordura encontrada ser insaturada, como os ácidos graxos linoleicos e linolênicos (COHEN et al., 2014; KAYODE et al., 2015; MUKHOPADHYAY e GUHA, 2015).

O teor de proteínas pode variar entre 12 a 56,3% em base seca (KALAC, 2009; WANG ET AL, 2014). A cadeia polipeptídica dos cogumelos apresentam os dez aminoácidos essenciais, aqueles que não são produzidos pelo corpo humano, sendo eles, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano, valina, histidina e arginina. Por esse motivo, a proteína fúngica derivada dos cogumelos pode ser comparada com a proteína de origem animal, diferindo somente pela quantidade encontrada em cada produto. Além disso, quando comparado com outros alimentos de origem animal como o leite e derivados, cereais e vegetais, os cogumelos apresentam um maior teor de proteína (BARROS et al., 2007a; CHANG, 2008; CHANG; WASSER, 2012; AKBARIRAD; KAZEMEINI; SHARIATY, 2013).

A parede celular dos cogumelos é constituída por quitina, oligo e polissacarídeos como manana e as glucanas. Esses componentes são considerados fibras alimentares por não serem digeridos pelo corpo humano. A concentração de fibra alimentar nos cogumelos pode variar entre 4% a 55% em base seca (VILLARES; MATEO-VIVARACHO; GUILLAMÓN, 2012) e a variação desse teor pode se dar principalmente devido a fatores genéticos que são os responsáveis por determinar a quantidade e variedade de sacarídeos presentes na parede celular do material (ROP et al., 2009).

Os principais aminoácidos livres presentes nos cogumelos são os ácidos glutâmico e aspártico, os nucleotídeos 5-Monofosfato Purina Inosina (IMP) e o 5-monofosfato de guanosina (GMP) (PHAT; MOON; LEE, 2016). Esses aminoácidos são os responsáveis pelo sabor umami dos cogumelos.

Já em relação ao teor de minerais em cogumelos, este pode variar entre 6 a 12% em base seca. Os principais minerais encontrados nos fungos são potássio, fósforo, enxofre, magnésio,

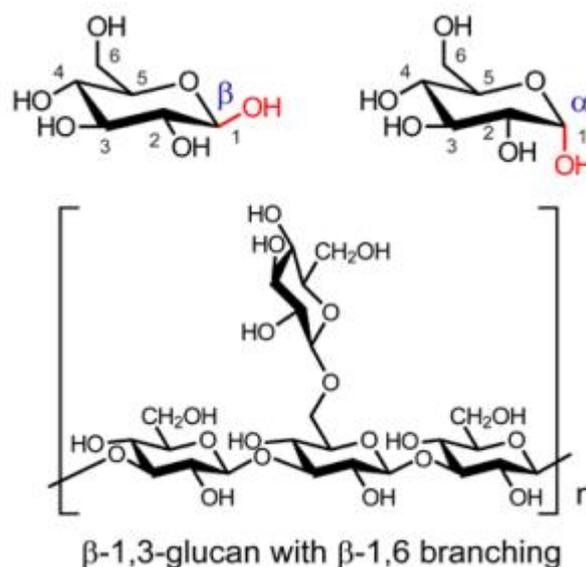
cálcio e sódio, respectivamente (KALÁČ, 2009).

Além disso, os cogumelos também são ricos em vitaminas. As mais comuns são tiamina, riboflavina, niacina, biotina, tocoferol, vitaminas C e ergosterol (FURLANI, R. P. Z., & GODOY, H. T., 2005). Estudos realizados por Bano e Rajarathnam em 1986 apontaram os cogumelos como uma boa fonte de vitamina B2 e ácido fólico, a partir da análise das vitaminas B1, B2, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e vitamina C.

O teor de carboidratos nos cogumelos varia de 13 a 65% em base seca, podendo ou não ser digestíveis. Os principais polissacarídeos não digestíveis são quitina, β -glucana, manana, xilana e galactana. Já os digestíveis são glicose, manitol, arabitol, trealose, inositol e glicogênio (CHEUNG, 2008; SYNYTSYA et al., 2009; WANG et al., 2014). Desses carboidratos, o teor de manitol é menor que o de glicose, por esse motivo o consumo de cogumelo é vantajoso para diabéticos.

Por fim, além de possuir um excelente valor nutricional, os cogumelos também possuem propriedades bioativas, como por exemplo, os β -glucanos.

Figura 3 - Estrutura básica de um típico polissacarídeo presente em cogumelos.



Normalmente, os polissacarídeos apresentam efeitos anti-inflamatórios, anti-hipertensivo, anticarcinogênico, antiviral/HIV e hipoglicêmico. Além disso, esses compostos são capazes de restaurar as funções do fígado. Dentre esses compostos bioativos, os mais estudados são as β -D-glucanas (AMAZONAS, 1999).

A ação das β -D-glucanas, está diretamente ligada ao aumento das células de defesa do organismo. Essas células de defesa, criam um sistema de proteção contra vírus, bactérias, fungos e parasitas. Além dessa barreira de proteção, esses polissacarídeos também combatem as toxinas presentes no organismo, como a eliminação de radicais livres (AMAZONAS, 1999; MILES E CHANG, 1997).

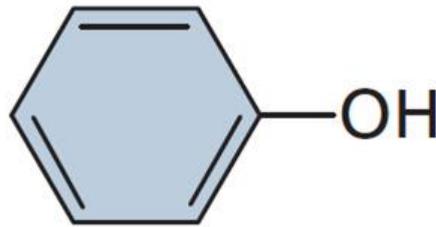
Estudos vêm sendo realizados pela comunidade acadêmica utilizando extratos dos fungos *Agaricus blazei*, *Ganoderma lucidum* e *Lentinula edodes*, demonstrando que estes foram capazes de inibir o crescimento do tumor sarcoma 180, comprovando que a β -D-glucana, proteína LingZhi-8 e Lentinan foram capazes de impedir o desenvolvimento do câncer (HOBBS, 1995; MIZUNO ET AL., 1997).

Já em relação as propriedades antivirais, estudos realizados com *Ganoderma lucidum* indicaram que os ácidos triterpênicos presentes no corpo desses cogumelos possuem efeito sobre o vírus HIV, dificultando a entrada do vírus nas células (MILES; CHANG, 1997).

4.1.2. Compostos Antioxidantes dos Cogumelos

Os compostos fenólicos também são encontrados em quantidade significativa nos cogumelos. Estes podem ser sintetizados de maneira natural, bem como respostas a situações de estresse, infecções, ferimentos e radiação ultravioleta (UV) (NACZK; SHAHIDI, 2004; HAMINIUK et al., 2012). Esses compostos são constituídos por pelo menos um anel aromático (fenol) ligado a um grupo funcional OH, podendo ser um composto fenólico simples ou então com uma alta massa molecular (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006; IGNAT; VOLF; POPA, 2011). Nos cogumelos, os principais grupos fenólicos são os ácidos fenólicos e os flavonoides.

Figura 4 - Fórmula estrutural básica dos compostos fenólicos.



Fonte: Taiz et al., 2017.

4.1.2.1 Ácidos fenólicos

A presença dos ácidos fenólicos já é bastante comum na dieta humana e estes vêm sendo amplamente estudados devido à bioatividade, como propriedades antioxidantes, antitumorais, antimicrobianas, entre outras (BENAVENTE-GARCIA, CASTILLO, MARIN, ORTUNO, & DEL RIO, 1997; MANACH, MAZUR, & SCALBERT, 2005; MIDDLETON, KANDASWAMI, & THEOHARIDES, 2000; PUUPPONEN-PIMIA ET AL., 2001; SAMMAN, LYONS WALL, & COOK, 1998).

Os principais ácidos fenólicos encontrados nos cogumelos são os ácidos gálico, protocatecuico, homogentísico, vanílico, p-cumárico, p-hidroxibenzoico, gentísico, cinâmico, cafeico, ferúlico, clorogênico e pirogálico. Estes são subdivididos em dois grupos: ácido hidroxiciâmicos e os hidroxibenzoicos, derivados dos ácidos cinâmico e benzoico, respectivamente (BRAVO, 1998).

O primeiro grupo é composto pelos ácidos cafeico, clorogênico, p-cumárico, ferúlico e sinápico (BRAVO, 1998). Já o segundo grupo é composto pelos ácidos protocatecuico, gálico, vanílico, gentísico, p-hidrozibenzoico e siríngico (IGNAT; VOLFF; POPA, 2011; SKINNER; HUNTER, 2013).

Os ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinâmico diferem dos demais por apresentarem caráter ácido devido à presença de um grupo carboxílico (COOH) em suas estruturas (IGNAT; VOLFF; POPA, 2011).

4.1.2.2 Flavonoides

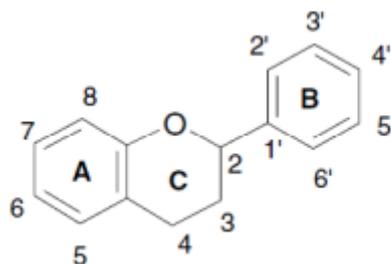
Os flavonoides são importantes compostos antioxidantes por possuírem um elevado potencial redox, atuando, portanto como agentes de redução, doadores de oxigênio, supressores de oxigênio singlete e também por possuírem potencial quelante de metal. A inclusão de alimentos ricos em flavonoides na dieta humana previne a incidência de doenças como câncer e doenças cardíacas (IGNAT; VOLFF; POPA, 2011).

Os flavonoides são subdivididos em algumas classes e essas são definidas conforme a alteração no anel C. As classes são: flavonóis, flavanonas, isoflavanos, flavanois, flavonas, antocianinas (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006; HAMINIUK et al., 2012).

Já alterações nos anéis A e B dão origem a compostos distintos em cada classe dos flavonoides. Essas substituições podem abranger oxigenação, alquilação, glicosilação, acilação e sulfatação (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006).

Compostos que possuem mais de uma molécula de açúcar ligada são conhecidos como flavonoide glicosídeo, enquanto os que não possuem nenhuma molécula de açúcar ligada são conhecidos como agliconas (HAMINIUK et al., 2012).

Figura 5 - Estrutura química básica dos flavonoides.



Fonte: BALASUNDRAM; SUNDRAM e SAMMAN, 2006.

Os principais flavonóis são quercetina, caempferol, miricetina e rutina. As principais flavanonas são hesperitina e naringenina. As flavonas mais comuns são apigenina e leteolina; os flavanóis são catequina e epicatequina. Por fim, as antocianinas mais comuns são cianidina, pelargonidina, peonidina, delphinidina, malvidina e petunidina (SKINNER; HUNTER, 2013).

4.1.3 Deterioração dos cogumelos

As etapas do processamento de alimentos, como corte, descascamento, entre outros processos físicos causam danos ao tecido. Um dos motivos para a deterioração após a colheita se dá pelo fato dos cogumelos não possuírem uma cutícula para protegê-los dos ataques físicos, microbianos e da perda de água (MAHAJAN, OLIVEIRA ET AL. 2008).

As condições do ambiente também são capazes de influenciar a deterioração desse material. Por exemplo, em condições padrões do ambiente, a vida útil varia entre 1 a 3 dias, porém o prazo pode aumentar para 8 a 14 dias quando armazenados a atmosfera modificada a 3°C com 2-5% de O₂ e 3-8% de CO₂ (DE LA PLAZA, 1995).

Além disso, outro parâmetro muito significativo para a perda de qualidade dos cogumelos é a perda de água dos cogumelos. Conforme mencionado acima, os cogumelos não possuem uma cutícula de proteção e isso favorece a respiração, fazendo com que esses alimentos possuam uma alta taxa de respiração. Quando os cogumelos estão embalados, a água perdida em forma gasosa decorrente da alta taxa de respiração pode entrar em contato com o filme plástico, condensar novamente e, posteriormente, cair sobre os cogumelos, favorecendo o crescimento microbiano e por consequência, aumentar o número de manchas marrons (BRENNAN, LE PORT ET AL. 2000) em seu corpo.

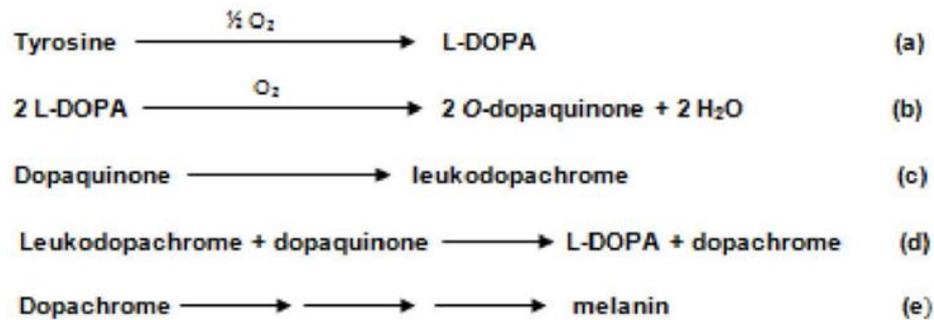
A cor do cogumelo é um dos indicadores de qualidade, assim como o desenvolvimento do chapéu, alongamento do estipe, número de esporos maduros, taxa de respiração, teor de manitol, perda de peso e deterioração microbiana (LUKKASSE E POLDERDIJK, 2003). No caso da espécie *A. bisporus*, a cor é o indicador de qualidade mais importante.

A alteração da cor dos alimentos se dá pela atuação de duas enzimas, sendo elas a tirosinase (PPO) e a peroxidase (PDO). Essas enzimas são relevantes no processo de degradação oxidativa dos compostos fenólicos dos alimentos, pois produzem melanina (JIANG et al., 2011).

4.1.3.1 Escurecimento

Conforme citado anteriormente, a tirosinase é a principal enzima responsável pelo escurecimento dos cogumelos durante manuseio e colheita. Essa reação pode ocorrer por meio de dois mecanismos distintos da oxidação do fenol, por ativação da tirosinase e/ou oxidação espontânea (JOLIVET, ARPIN ET AL. 1998; VAMOS-VIGYAZO, 1981).

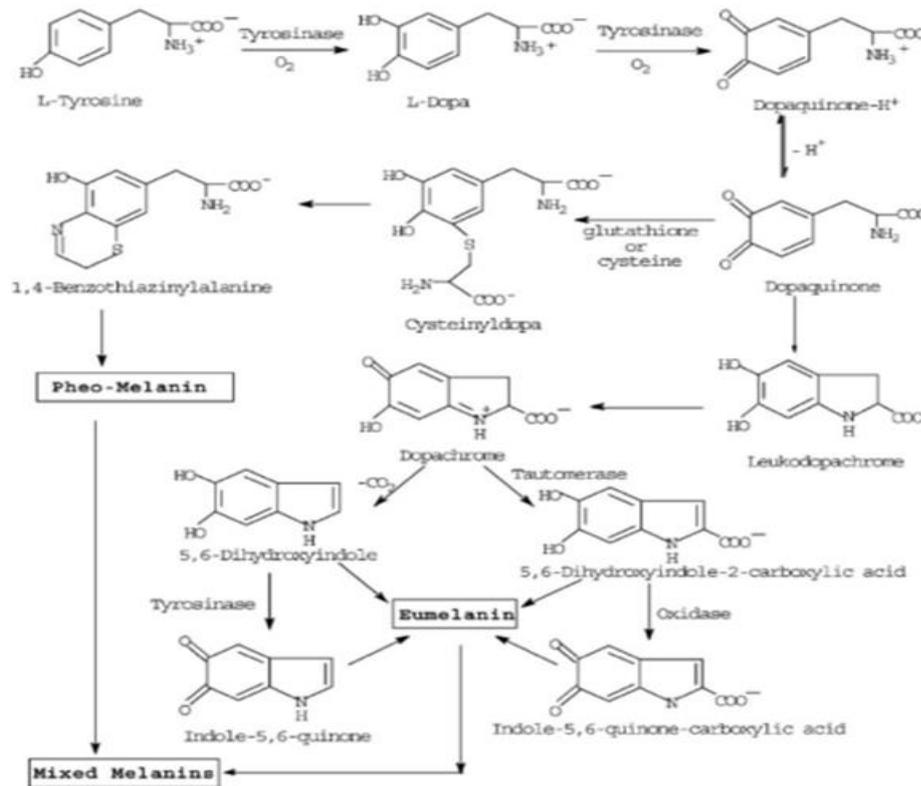
Figura 6 - Reação de produção de melanina por meio da oxidação da tirosinase. As reações (a) e (b) precisam de um catalisador enzimático para reagir, enquanto que as reações (c) e (d) podem ser espontâneas.



Fonte: BEHBAMAIN, MILLER ET AL., 1992.

A primeira etapa da oxidação da tirosinase em melanina é a hidroxilação do aminoácido p-monofenólico L-tirosina (L-DOPA) (atividade monofenolase da tirosinase) seguida da oxidação do L-DOPA (atividade da difenolase), resultando na o-dopaquinona como produto. Em seguida, a dopaquinona sofre uma reação de auto oxidação, produzindo dopacromo que também reage produzindo diidroxindol ou diidroxindol-2-ácido carboxílico para sintetizar melanina (BEHBAMAIN, MILLER ET AL., 1992).

Figura 7 - Reação mais detalhada da produção de melanina por meio da oxidação da tirosinase.



Fonte: Behbain, Miller et al., 1992.

Os fatores que favorecem a taxa de escurecimento são as concentrações de PPO ativo e compostos fenólicos presentes, pH, temperatura, disponibilidade de oxigênio do tecido e atividade de água. Além disso, na presença da bactéria *Pseudomonas tolaasii* ou de toxinas, a tirosinase latente pode se tornar ativa, sendo capaz de também desenvolver manchas marrons nos cogumelos (BEHBAMAIN, MILLER ET AL., 1992).

Entretanto, além da oxidação da tirosinase, existem também bactérias capazes de ocasionar manchas marrons nos cogumelos. A presença de bactérias é comum em cogumelos saudáveis, e a concentração varia de 6,3 a 7,2 log UFC g⁻¹ de tecido fresco. Apesar de a *Pseudomonas tolaasii* ser uma bactéria comum na microbiota dos cogumelos, ela é a principal causa da doença de Blotch em cogumelos, no entanto, o desenvolvimento dependerá das condições em que o produto se encontra (BEHBAMAIN, MILLER ET AL., 1992).

Outros microrganismos também foram apontados como responsáveis pela aparição de manchas em cogumelos, como por exemplo, a bactéria *Pseudomonas fluorescens* e os fungos *Candida sake* e *Verticillium maltousei* (FERNANDES, ANTONIO ET AL. 2012).

4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS IMPORTANTES PARA PRODUTOS ANÁLOGOS À CARNE.

Para que produto de origem vegetal e fúngica se assemelhem a produtos de origem animal é preciso antes de tudo entender as propriedades físico-químicas dos cárneos. Entretanto, a compreensão dessas propriedades é extremamente complexa devido à complexidade composicional e estrutural, dado que estas variam de acordo com a origem, ou seja, produtos cárneos derivados de bois são bem diferentes dos produtos derivados de peixe, por exemplo (SUN & HOLLEY, 2011). Além disso, a estrutura das fibras musculares também varia de acordo com a região do corpo do animal.

No entanto, todos os tecidos animais são formados por unidades estruturais e microestruturais parecidas. Por exemplo, todas as carnes são elementos semi-sólidos opacos e a cor varia de acordo com o tipo e quantidade de pigmentos presentes no tecido. A característica semi-sólida se deve ao fato das carnes serem constituídas por uma rede complexa de moléculas de proteínas que se ligam de forma cruzada por meio de ligações de Van der Waals, ligações de hidrogênio, atração eletrostática e ligações hidrofóbicas (ACTON & DICK, 1984; XIONG, 1994). Já a opacidade se dá pelo espalhamento da luz entre as fibras musculares e o tecido adiposo.

Porém, além da estrutura, outro ponto muito importante para os produtos análogos à carne são as características e mudanças que ocorrem antes, durante e após o cozimento (HUGHES, OISETH, PURSLOW E WARNER, 2014; YU, MORTON, CLERENS, & DYER, 2017). Os produtos de origem vegetal também precisam sofrer essas alterações observadas nas carnes e esse é mais um desafio para a indústria de alimentos. Por esse motivo, se faz necessário conhecer a estrutura das carnes para produzir alimentos praticamente idênticos aos de origem animal.

4.2.1 Aparência

Em produtos cárneos, a cor se dá pela absorção da luz pela proteína globular mioglobina, constituída por um grupo heme. Este grupo é composto por um átomo de Ferro nas formas Fe^{2+} ou Fe^{3+} e a cor, seja ela rosa, vermelha ou marrom vão depender exatamente do nível de oxidação do ferro (TOLDRA, 2017).

Já em produtos veganos, para que estes adquiram cores semelhantes à carne animal, é

necessária a presença de fibras e partículas com tamanhos o suficiente para gerar uma dispersão considerável da luz (200 a 2000 nm). O brilho da superfície depende principalmente da rugosidade, que depende diretamente da organização estrutural das moléculas que compõem a superfície. Uma forma de garantir o brilho é por meio da desidratação da superfície a partir do cozimento, pois garante uma maior difusão da luz em decorrência da textura áspera. Além disso, outro ponto que garante uma cor semelhante à da carne é a presença de pigmentos que absorvem as ondas de luz em uma faixa de comprimento favorável. É desejável que esses pigmentos apresentem uma cor rosa/vermelha enquanto o produto se encontra cru e uma cor mais amarronzada após o cozimento. Uma alternativa encontrada pela indústria se trata da adição de extrato de suco de beterraba, dado que contém um pigmento solúvel em água, a betalaína. Esse pigmento muda a cor de violeta vermelho para amarelo alaranjado quando submetido à cocção, devido a degradação da betalaína (HERBACH, STINTZ ING, & CARLE, 2004; KAYIN, ATALAY, AKCAY, & ERGE, 2019).

4.2.2 Sabor

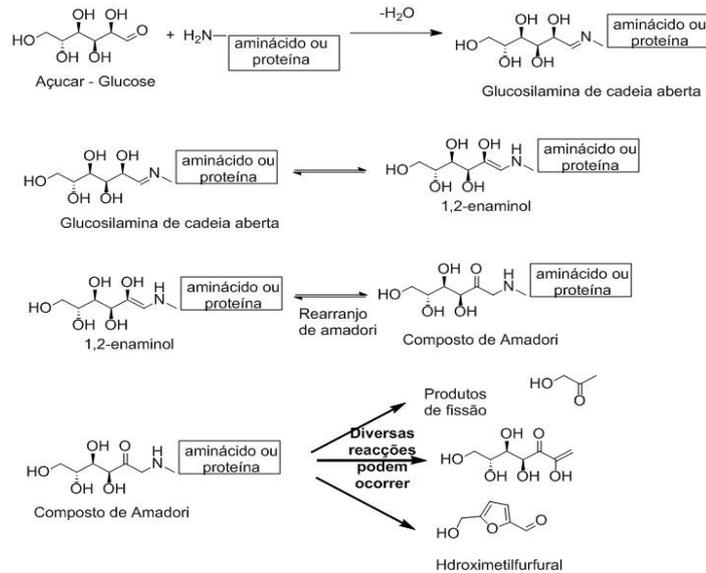
Dentre as principais características, o sabor é o mais influenciado pelos compostos presentes nos produtos. O sabor das carnes se deve à presença de compostos voláteis e não voláteis em sua composição que reagem ao entrar em contato com os sensores nasais e papila gustativas dos seres humanos. Entretanto, não são todas as moléculas que contribuem para o sabor da carne (KOSOWSKA ET AL., 2017). Algumas moléculas responsáveis por essas características o 2-metil-3-furantiol ou o bis-(2-metil-3 furano) dissulfeto, porém outros compostos que garantem um sabor doce, terroso também são importantes.

Apesar do sabor da carne depender da composição química do produto cru, algumas características são adquiridas somente durante o processo de cozimento, por meio das reações de Maillard e de oxidação lipídica (KOSOWSKA ET AL., 2017). Ou seja, a forma de preparo também influencia no sabor final do produto.

Em produtos análogos à carne, é possível garantir o sabor semelhante a partir do uso de alguns compostos, como por exemplo, o Leghemoglobina isolada de raízes de soja ou de fermentação microbiana. O ferro dessa molécula fica mais vulnerável quando exposto a aquecimento, resultando em reações de oxidação que produz compostos com aromas semelhantes ao da carne. (FRASER, SHI TUT, AGRAWAL, MENDES, & KLAPHOLZ, 2018).

Porém quando o interesse está em adquirir produtos análogos à carne de peixes, o uso de algas marinhas, algas e microalgas são sugeridos, visto que, estas possuem sabor de frutos do mar (MCHUGH & AVENA-BUSTILLOS, 2019).

Figura 8 - Reação de Maillard.



Fonte: (FERRAZ, 2015).

4.2.3 Retenção de líquidos

Essa propriedade depende da interação biopolímero-solvente, força elástica, da rede de gel de biopolímero e da pressão osmótica associada a uma distribuição não uniforme dos íons, no interior e exterior da rede de gel (CORNET ET AL., 2021a).

Estudo realizado por Cornet et al. concluiu que conforme a força iônica diminui, a retenção de líquidos é favorecida e que o aumento do pH favoreceu a força entre as ligações eletrostáticas do sistema.

Uma forma de manipular a retenção de líquidos é por meio da mudança da natureza dos biopolímeros utilizados na composição, visando à alteração do peso molecular, polaridade ou densidade de reticulação. Estudos comprovam que à medida que o grau de reticulação aumenta por meio da adição de agentes químicos, a retenção de líquidos diminui (CORNET ET AL., 2021A). Já o acréscimo de fibras alimentares, como a carragenina, pectina, alginato são capazes de melhorar a retenção de líquidos.

4.2.4 Textura

A textura é uma das propriedades mais desafiadoras. Isso porque os produtos veganos devem se assemelhar à carne quando está inteira, mas também quando está sendo desintegrada durante a mastigação a fim de dar uma sensação semelhante à sentida quando se está comendo carne animal. Para atingir a textura ideal, pesquisadores estudaram técnicas físico-químicas e também de processamento, para serem utilizadas em conjunto ou então separadamente (ZAHARI ET AL., 2020). A técnica físico-química consiste na separação de fases controladas, bem como estruturação e gelificação de misturas de biopolímeros, sendo esta constituída por proteínas e polissacarídeos (KYRIAKOPOULOU ET AL., 2019). Essa separação ocorre em decorrência das condições do meio, como tipo de biopolímeros utilizados, concentração e as condições da solução que engloba, pH, força e temperatura.

O produto desta mistura pode então ser submetido a técnicas de processamento, como por exemplo, cisalhamento a fim de criar fibras similares à da carne que podem ser posteriormente modificadas quando submetidas a aquecimento ou resfriamento ou pela adição de agentes de reticulação (minerais ou enzimas) (SCHREUDERS ET AL., 2019A).

4.3 TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

4.3.1 High-Moisture Extrusion (HME)

O processo de extrusão a alta umidade se dá por meio de um tratamento termomecânico das proteínas vegetais e *fungi-based*, provenientes de leguminosas em geral, bem como microalgas e cogumelos sendo que as principais características das matérias-primas que precisam ser consideradas são: tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química (teor de amido, proteínas, gorduras, açúcares, entre outros) e o pH do material. Já em relação ao processo de extrusão em si, as operações unitárias englobadas nesse processo são basicamente mistura e hidratação, tratamento termomecânico e resfriamento. E os principais parâmetros importantes para o processo: temperatura, pressão, diâmetro da matriz, taxa de cisalhamento, sendo o último, uma característica intrinsecamente ligada ao desenho interno da extrusora, bem como seu comprimento, velocidade e geometria das roscas (FELLOWS, 2006; ZHANG et al. 2014).

Na década de 70, quando foram feitos os primeiros testes utilizando o método HME percebeu-se que a queda de pressão ao sair da matriz da extrusora faz com que o produto se

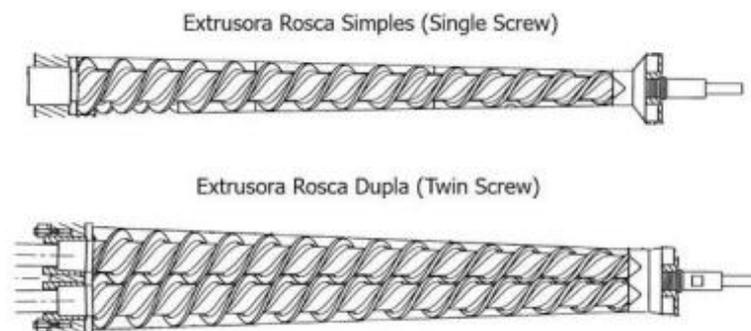
expanda e adquira uma textura esponjosa, fazendo com que seja necessário ser hidratada antes do consumo, como por exemplo, a proteína de soja texturizada (SAMARD, GU, AND RYU 2019).

Por esse motivo, a introdução de um resfriamento longo do extrusado pode ser utilizada para evitar que o produto se expanda, além de permitir a extrusão de produtos com alto teor de umidade (CHEFTEL, KITAGAWA, AND QUEGUINER 1992).

4.3.1.1 Processo de Extrusão de Alta Umidade

Os tipos mais comuns de extrusoras são as de rosca simples e rosca dupla. Devido às melhores características das extrusoras de parafuso duplo em relação ao de parafuso simples, como: operação a baixa umidade e mistura homogênea dos ingredientes, estas são as preferidas pela indústria de alimentos (EL-DASH, 1981).

Figura 9 - Canhão de extrusora com rosca simples e rosca dupla.



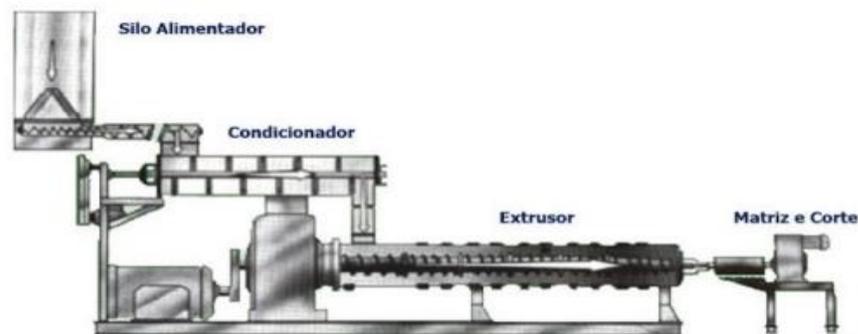
Fonte: (SITE FRIEND PET, 2015).

Os parafusos estão muito ligados ao grau de gelatinização do material processado e também influenciam muito no grau de cozimento, sendo portanto, considerado como uma das partes mais importantes de uma extrusora. Estes equipamentos podem ser divididos entre: alimentação, compressão ou transição e alta pressão (EL-DASH, 1981).

Além disso, os parafusos favorecem a transferência de calor. O movimento ao longo da camisa da extrusora resulta em um aumento de pressão, sendo este importante porque evita a ebulição do produto e permite que o processo ocorra em altas temperaturas. Portanto, a combinação entre altas temperaturas e tensão de cisalhamento é o que leva ao processo termomecânico (CHEFTEL, KITAGAWA, AND QUEGUINER 1992; HINE ET AL. 1997).

No caso de processos para atribuir características análogas à da carne, é importante que ao final da camisa tenha uma placa disjuntora antes da matriz de resfriamento, pois estas garantem uma distribuição de pressão homogênea antes de entrar na matriz de resfriamento. Por fim, a matriz de resfriamento garante o resfriamento do material a fim de evitar a expansão do produto quando este sair da matriz (CHEFTEL, KITAGAWA, AND QUEGUINER 1992; HINE ET AL. 1997).

Figura 10 - Extrusora.



Fonte: OLIVEIRA, JENIFER LIMA. 2019.

4.3.2 Célula de Cisalhamento

Este processo utiliza as mesmas operações unitárias que o HME, mas se difere porque o processo utiliza taxas de cisalhamento bem definidas além de ser necessário preparar a massa antes de iniciar o processamento (KRINTIRAS ET AL. 2015, 2016; GRABOWSKA ET AL. 2014).

Normalmente, utiliza-se cloreto de sódio (NaCl) dissolvido em água junto com uma proteína isolada ou concentrada na forma aquosa. Após a mistura água-proteína, esta é deixada em repouso em temperatura ambiente. Após a hidratação, adiciona-se outra fonte de proteína ou polissacarídeo para obter uma massa. Após o preparo, é possível iniciar o processo. A célula conta com um aquecimento externo utilizando água aquecida (MANSKI ET AL. 2008) ou óleo nos cones inferiores e superiores (GRABOWSKA ET AL. 2016). Já o dispositivo Couette, também passível de ser utilizado, é aquecido por uma jaqueta de vapor em torno dos cilindros concêntricos (KRINTIRAS ET AL. 2016). Para que o processamento por meio de dispositivos de cisalhamento fosse semelhante ao da extrusão, se fez necessário aplicar vedações e ter uma cavidade pressurizada a fim de evitar a ebulição e minimizar as perdas de umidade. Após esta etapa o material é resfriado com o auxílio de óleo de resfriamento e a célula é então aberta.

4.3.2.1 Diferenças entre o método HME e Célula de Cisalhamento

Uma das principais diferenças entre os dois métodos é que o HME se dá de forma contínua, enquanto que a célula de cisalhamento é feito em batelada. Além disso, no processo de célula de cisalhamento é necessário preparar uma mistura e introduzi-la no equipamento. Já no HME os produtos se misturam no interior do equipamento (KRINTIRAS ET AL. 2015, 2016; GRABOWSKA ET AL. 2014).

4.3.3 Método Da Fiação

A fiação é muito utilizada para o alinhamento e em soluções de biopolímeros por meio de deformação e solidificação (MANSKI ET AL., 2007B; NIEUWLAND ET AL., 2014). Este método se dá por sistemas separadores de fase, ou seja, ao mesmo tempo em que a solução é empurrada pela fieira é também aplicada uma emulsão com base aquosa e dessa forma as fibras são esticadas.

Após este processo, é feita a solidificação do produto resultante utilizando agentes de coagulação originados de sais, soluções ácidas ou alcalinas. Após a coagulação o produto é lavado. As fibras resultantes desse método têm a mesma forma da matriz da fieira, entretanto este método também já foi utilizado sem fieiras, resultando em fibras por meio de bocais (TOLSTOGUZOV, 1993).

Apesar de ser um método muito utilizado para biopolímeros, proteínas vegetais também já foram usadas em alguns estudos encontrados na literatura. Por exemplo, fibras de proteína de ervilha foram escolhidas para um estudo com o objetivo de obter um córtex alinhado e um núcleo granular (AGUILERA, KOSIKOWSKI, & HOOD, 1975; GALLANT ET AL., 1984). Do mesmo modo que proteína de soja também foi estudada nesse método, onde foi possível concluir que nenhuma orientação das fibras foi evidenciada por meio do processo fiação, assim como também não foi evidenciado em processos de extrusão (RAMPON, ROBERT, NICOLAS, & DUFOUR, 1999).

4.3.4 Cozimento por Meio de Calor Úmido

O cozimento por meio de calor úmido consiste em colocar os alimentos em algum meio líquido para serem cozidos. Uma diferença quando comparado ao cozimento a seco é o fato da temperatura nesse caso ser menor, em torno de 80°C podendo chegar a 95°C à pressão atmosférica. Neste método, as bolhas são visíveis, mas o líquido não ferve e se encontra em temperatura constante. Este método é bastante utilizado para o preparo de vegetais, no entanto,

uma das poucas desvantagens é a perda de vitaminas hidrossolúveis do alimento para o meio (BALDWIN, 2012). Uma forma de minimizar essa perda é trocando o método de cocção para cozimento a vapor. Essa troca reduz a perda de nutrientes solúveis em água por lixiviação (FELLOWS, 2019).

Existem alguns tipos diferentes de equipamentos para o processo de cozimento a vapor, como por exemplo, câmaras isoladas, exemplificada na figura abaixo, que normalmente são usadas para cozinhar produtos vegetais. Esta câmara permite que sua temperatura e tempo de cozimento sejam controlados, que podem ser gravados e impressos para atender ao sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) (FMC, 2016).

Figura 11 - Cozedor a vapor a batelada.



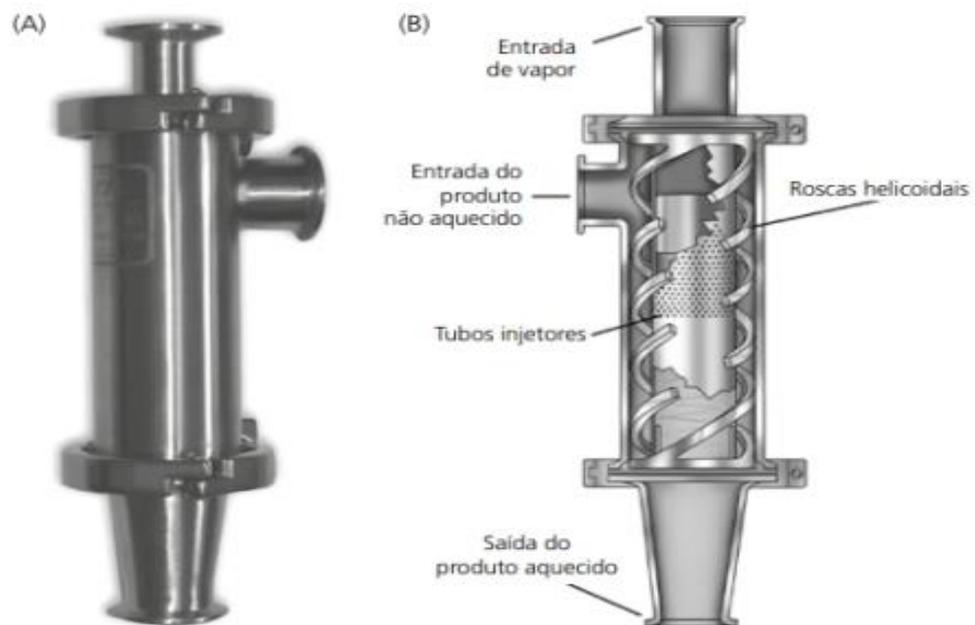
Fonte: (BLENTech CORPORATION, 2015).

Outro tipo de equipamento bastante utilizado para este processo são cozedores horizontais com uma camisa de vapor e um agitador de pá para misturar o produto. Esses equipamentos permitem o controle da velocidade, em torno de 6 a 30 RPM, bem como apresenta um sistema de raspagem bidirecional que tem como objetivo manter limpa a superfície de troca de calor. Além disso, esses equipamentos costumam apresentar uma área de transferência de calor 50% maior do que os cozedores do tipo vaso (MEPACO, 2016a).

O vapor gerado também pode ser utilizado para aquecer alimentos por injeção ou infusão. À medida que o vapor é condensado, este transfere o calor latente de condensação para o produto. O vapor culinário é filtrado para que nenhum resíduo de caldeira contamine o produto. Na injeção de vapor, os injetores são instalados na parede interna do reservatório, estes

descarregam bolhas de vapor que são transportadas através do produto líquido circundante, perdendo calor enquanto o vapor é condensado (BOWSER ET AL., 2003; MEPACO, 2016B). Estes injetores são projetos para provocar uma turbulência no líquido para garantir uma mistura completa do vapor e do produto. Para finalizar a transferência de calor com alta eficiência, as bolhas de vapor precisam condensar antes de atingir a superfície do líquido e ser liberada para a atmosfera.

Figura 12 - (A) Injetora de vapor direto contínuo (B) Partes do componente.



Fonte: PICK HEATERS INC.

4.3.5 Branqueamento

O branqueamento possui várias funções, sendo uma das principais a inativação de enzimas antes da aplicação de outras técnicas de processamento. O método de branqueamento se faz necessário visto que as enzimas são capazes de provocar mudanças indesejáveis nas características sensoriais e na qualidade nutricional durante a estocagem, além de que no processo de descongelamento e reidratação, os microrganismos em alimentos que não foram eliminados são capazes de se desenvolverem. Por exemplo, a temperatura necessária para esterilizar produtos enlatados pode ser o suficiente para permitir atividade enzimática em produtos que não passaram pelo processo de branqueamento. Este então é um dos motivos para

branquear os alimentos antes de processá-los (FELLOWS, P.J, 2019).

Entretanto, submeter os alimentos a um processo de branqueamento incompleto e insuficiente é capaz de aumentar a gravidade dos danos quando comparados a alimentos que não foram branqueados. Isto porque o aquecimento suficiente para romper tecidos e liberar enzimas, mas não para inativá-las, acelera a replicação quando favorece o meio que além de tudo ainda possui substrato. Além disso, o branqueamento incompleto pode inativar algumas enzimas, mas pode favorecer a atividade enzimática de outras (FELLOWS, P.J, 2019).

Portanto, para que a inativação enzimática por meio do branqueamento ocorra de maneira efetiva, o alimento precisa ser aquecido rapidamente a uma temperatura conhecida por um período de tempo pré-determinado e resfriado rapidamente a temperaturas próximas à temperatura ambiente (FELLOWS, P.J, 2019).

Dentre as enzimas que causam mudanças nas características dos alimentos, como perda de cor e textura, produção de sabor e aroma indesejável, bem como perda de nutrientes, está a lipooxigenase, polifenoloxidase, poligalacturonase e a clorofilase, além da catalase e peroxidase. As duas últimas são termos resistentes e, portanto, a concentração destas são indicativos para avaliar se o processamento de branqueamento foi efetivo ou não (FELLOWS, P.J, 2019).

São alguns dos fatores que afetam a eficiência do branqueamento:

- Tamanho e forma dos pedaços de alimentos;
- Condutividade térmica do alimento, influenciada principalmente pelo tipo, cultivo e grau de amadurecimento;
- Temperatura e método de aquecimento do branqueamento;
- Coeficiente convectivo de transferência de calor.

O branqueamento é um tipo de transferência de calor em regime transiente ou não-estacionário, envolvendo aquecimento convectivo da superfície do alimento até o interior dele. Além disso, a transferência de massa também é significativa neste método, tanto partindo para o alimento como também do alimento para o meio externo (FELLOWS, P.J, 2019).

4.3.5.1 Branqueadores a Vapor

Este método é comumente utilizado para produtos com uma área de corte grande, isto porque as perdas por lixiviação são menores quando comparado ao método de branqueamento utilizando água quente. Este método consiste basicamente em uma esteira onde o alimento é transportado através de uma atmosfera de vapor dentro de um túnel.

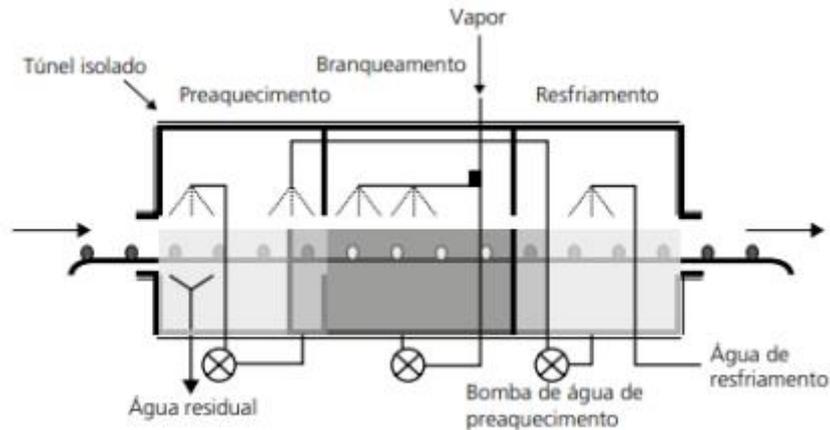
O tempo de residência é controlado pela velocidade da esteira e pelo comprimento da esteira. Normalmente os túneis têm cerca de 15 a 20 metros de comprimento e 1 a 1,5 m de largura.

A eficiência do processo varia de acordo com o equipamento utilizado para o processo de branqueamento. Por exemplo, quando utilizado jatos de água na entrada e saída da esteira a fim de minimizar a perda de vapor por condensação, a eficiência do consumo de energia gira em torno de 19%. Já em equipamentos que utilizam válvulas rotatórias ou selos hidrostáticos, a eficiência aumenta para 27%, aproximadamente. Por fim, equipamentos capazes de reutilizar o vapor por meio de uma válvula Venturi, têm a sua eficiência aumentada para 31% (SCOTT ET AL., 1981).

Com o intuito de aperfeiçoar o processo foi desenvolvido um método de branqueamento rápido individual (Individual Quick Blanching - IQB). Neste método são empregados dois estágios, sendo que no primeiro o alimento é aquecido em uma camada única com temperatura suficiente para garantir o aumento da temperatura no centro de cada seção necessária para que ocorra a inativação enzimática (ABCO, 2016). É importante submeter os alimentos a esse primeiro estágio para reduzir o consumo de vapor bem como reduzir o tempo de aquecimento. Além disso, os aquecimentos mais curtos aumentam a eficiência de 86 a 91%.

O baixo consumo de energia se deve ao fato de que o resfriamento é feito em multiestágio contracorrente, onde a água de resfriamento absorve o calor do alimento e logo em seguida é bombeada para uma seção de pré-aquecimento, fazendo o aquecimento do produto que está entrando no equipamento (JOHNSON, 2011). No entanto, o produto pré-aquecido ainda necessita de uma adição de calor na seção de branqueamento. Por fim, na seção de resfriamento, uma névoa é aplicada por meio de spray com o objetivo de saturar o ar frio de umidade. A saturação do ar faz com que diminui a perda de água por evaporação e reduz a quantidade de efluente gerado. A água de resfriamento ainda pode ser utilizada para a lavagem do produto que entra no branqueador, diminuindo o consumo de água.

Figura 13 - Branqueador a vapor com resfriamento em contracorrente.



Fonte: (CABINPLANT, 2016).

4.3.5.2 Branqueadores a Água Quente

Esta configuração de equipamento mantém o alimento em água quente entre 70 e 100°C por um tempo determinado e logo em seguida os alimentos passam por um processo de remoção da água e resfriamento. Este tipo de branqueador possui um custo total menor quando comparado com o de vapor, além de promover um aquecimento mais uniforme e ocupar um espaço menor. Entretanto, devem-se levar em consideração as desvantagens deste tipo de equipamento que envolve um maior volume de efluente gerado, risco de contaminação do alimento e turbulências que podem danificar os alimentos (FELLOWS, P.J, 2019).

Uma das configurações mais conhecidas para branqueadores à água quente é o de tambor rotatório. O alimento entra no tambor que gira de forma lenta, sendo que parte fica submerso em água. Neste tipo de equipamento, o tempo de aquecimento é determinado pela velocidade de rotação e o comprimento do tambor (LYCO, 2016).

Já os branqueadores tubulares consistem em um tubo contínuo, com isolamento e ponto de carga e descarga. A água quente recircula por dentro do tubo e o alimento é transportado por ele. Neste caso, o tempo de residência é determinado pelo comprimento do tubo e pela velocidade da água (LYCO, 2016).

Figura 14 - Branqueador de água quente.



Fonte: (LYCO, 2016).

4.3.5.3 Micro-Ondas

No processo de branqueamento por micro-ondas, o material absorve energia das micro-ondas, convertendo-as em calor por meio do aquecimento dielétrico resultante da rotação do dipolo molecular e agitação dos íons carregados sob um campo elétrico. No caso de materiais com alto teor de água, as moléculas dipolares se alinham na direção do campo eletromagnético. O aquecimento por meio de micro-ondas não ocorre somente na superfície dos alimentos, mas também em seu interior de forma que o gradiente térmico seja mais homogêneo e por este motivo, reduz o tempo de processamento quando comparado a métodos convencionais (FELLOWS, P.J, 2019).

DEVECE (1999) realizou um estudo sobre o branqueamento de cogumelos por meio de micro-ondas. *A priori*, o estudo foi realizado com cogumelos inteiros, onde o tratamento se mostrou inadequado visto que o gradiente de temperatura no interior do alimento foi grande.

Uma maneira encontrada para resolver este problema foi a combinação do aquecimento por micro-ondas a 85°C em diferentes tempos pré-determinados, seguido por um processo de banho-maria a 92°C por 20 segundos. Este método de tratamento foi capaz de inativar a peroxidase em 2 minutos, enquanto que o tratamento convencional utilizando água quente precisou de 6 minutos para inativar a enzima. Além disso, o escurecimento e a perda de nutrientes foram significativamente menores nas amostras branqueadas por meio de micro-ondas (DEVECE, 1999).

Outras configurações também foram desenvolvidas para branqueadores. Estas novas configurações propostas têm algumas vantagens quando comparadas com as configurações convencionais, como por exemplo promover um aquecimento mais rápido e uniforme, conseqüentemente reduzindo o tempo de processamento e as perdas de vitaminas e outros compostos solúveis. Além disso, promovem a redução de efluente de forma considerável. Os branqueadores de tambor rotatório, por exemplo, reduzem o consumo de água e energia, além de ter um custo total e de manutenção menores quando comparado ao de vapor de túnel (WILLIAMS, 1986). Já o branqueador de leite fluidizado, fluidiza e aquece o alimento com o emprego de vapor e ar. Essa configuração promove a circulação contínua e uniforme do alimento até o final do processo.

4.3.6 Método Sous-Vide

A técnica *sous-vide* pode ser descrita como o cozimento de alimentos selados a vácuo em banho-maria sob condições controladas de temperatura e tempo (SCHELLEKENS, 1996). Este processo é estudado pelos cientistas desde 1990 e um dos motivos é prolongar a vida útil dos alimentos (CF. MOSSEL AND STRUIJK, 1991; OHLSSON, 1994; SCHELLEKENS, 1996).

Outra característica desse método torna-o diferente de outros métodos de cozimento, sendo: os alimentos crus, após serem selados, são submetidos ao cozimento sob temperatura controlada e isto permite um controle maior do cozimento comparado aos outros métodos, os alimentos - mesmo que não estejam totalmente cozidos - podem ser considerados seguros dado que podem ser pasteurizados (BALDWIN, 2008, 2010).

Além disso, a selagem também acrescenta alguns benefícios como a transferência de calor da água ou vapor é transferida de uma forma mais homogênea para os alimentos. Essa operação reduz o risco de contaminação quando armazenados, inibe os sabores indesejáveis ocasionados pela oxidação, evita perda dos voláteis de sabor e umidade durante o cozimento (CHURCH E PARSONS, 2000), reduz o crescimento bacteriano aeróbico e reduz a perda de nutrientes dos alimentos vegetais quando comparado ao método de cozimento feito com água.

Um estudo conduzido por (GÓMEZ ET AL., 2019), teve como objetivo comparar a aplicação do método em carne bovina e produtos análogos à carne, com o intuito de comparar os resultados posteriormente. O estudo concluiu que a aplicabilidade do método para produtos vegetais é totalmente viável assim como para produtos de origem animal, visto que, permite originar produtos com propriedades físicas e sensoriais semelhantes aos produtos cárneos.

Entretanto, apesar de ser um estudo com informações preliminares, ainda se faz necessário outras pesquisas, principalmente com o objetivo de avaliar a qualidade nutricional e aceitabilidade do consumidor.

4.3.7 Método Ultrassom

O método consiste na emissão de ondas de pressão ultrassônica sobre os alimentos. Somente ondas de alta intensidade são capazes de induzir alterações estruturais, mecânicas, físicas e bioquímicas nos alimentos. Quando as ondas atingem a superfície do alimento de forma perpendicular, resulta em uma onda de compressão. Enquanto que, quando a onda atinge a superfície de forma paralela, resulta em uma onda de cisalhamento (BAUMANN ET AL. 2005; BERMÚDEZ-AGUIRRE ET AL., 2009a,b; GUERRERO ET AL., 2001).

O efeito de inativação dos microrganismos por meio do ultrassom depende da frequência e intensidade das ondas e da composição dos alimentos. Além disso, outro parâmetro que influencia de forma significativa no processo é a pressão. Quando esta é alterada de forma rápida, acontece um fenômeno chamado “cavitação acústica”, que consiste na formação de bolhas que liberam uma grande quantidade de energia altamente concentrada (ALZAMORA ET AL., 2011). Estas bolhas, por estarem em alta temperatura e alta pressão, quando entram em colapso produzem radicais hidróxidos, levando a formação de ligações cruzadas entre as moléculas de proteínas, aquecimento e estreitamento das membranas celulares sendo que todos esses efeitos causam efeito letal sobre os microrganismos.

Entretanto, apesar do ultrassom apresentar efeitos antimicrobianos, este processo não é utilizado para conservar alimentos. Isso se deve à alta resistência da maioria dos microrganismos e enzimas que necessita de muito tempo e muita intensidade para que seja efetivo o que leva a alterações indesejáveis na textura e outras características dos alimentos (FENG ET AL. 2008).

Por esse motivo, identificou-se a oportunidade de combinar o método de ultrassom com outros métodos para minimizar os impactos nos alimentos. Por exemplo, a ultrassom de alta potência combinada com pressão levemente alterada, a manossoinicação e com tratamento por aquecimento leve, a termossonicação, reduzem a quantidade de aquecimento necessário para a inativação dos microrganismos, conseqüentemente diminuindo os danos causados por esterilização e pasteurização (LEE ET AL. 2003; PIYASENA ET AL. 2003; RASO E BARBOSA-CANOVAS, 2003). O equipamento utilizado para este método, conhecido como

sonicação, consiste em um gerador de ultrassom, normalmente um transdutor piezoelétrico submerso no líquido. A frequência geralmente utilizada para a inativação microbiana é em torno de 20 kHz.

4.3.7.1 Efeitos do Ultrassom nos Alimentos e Micro-organismos

Diferente dos métodos de branqueamento, a ultrassom tem pouca influência sobre micromoléculas dos alimentos, como aquelas responsáveis pela coloração e sabor, bem como sobre as vitaminas. Sua maior influência se dá sobre as macromoléculas, levando, por exemplo, a desnaturação da proteína entre outros efeitos. No entanto, em alguns casos esse efeitos são favoráveis, como por exemplo, a exposição prolongada da carne bovina ao ultrassom, libera proteínas microfibrilares, resultando no amaciamento dos tecidos da carne e a melhora da ligação com a molécula de água (MCCLEMENTS, 1995).

4.4 BENEFICIAMENTO DE VITAMINA B EM ALIMENTOS PROCESSADOS

As vitaminas do Complexo B: tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido fólico (B9) e vitamina B12, são de extrema importância para o organismo humano considerando que tem grande relevância nas reações de catabolismo dos macronutrientes, que por sua vez são responsáveis por produzir energia para o organismo (VIEIRA, 2011).

A suplementação de vitaminas do complexo B, em especial a vitamina B12 em produtos *plant-based* desenvolvidos principalmente para o público vegetariano e vegano é de extrema importância porque a deficiência desse micronutriente é um dos principais riscos da dieta sem produtos cárneos incluídos (COUCEIRO, P ET AL., 2008). A deficiência dessa vitamina pode trazer várias complicações à saúde dos indivíduos como manifestações neurológicas, hematológicas e clínicas, como diminuição da hemoglobina, anemia, danos ao sistema nervoso central e fraqueza (PANIZ, C ET AL., 2005) e sabe-se que a principal fonte natural de vitamina B12 na dieta humana restringe-se a alimentos de origem animal (GILLHAM, B ET AL., 1997; HERRMANN, W ET AL., 2003; LORENZI, T.F ET AL., 1992).

As vitaminas do complexo B precisam ser obtidas por meio da alimentação, visto que não são sintetizadas pelo organismo. Portanto, alimentos de origem vegetal e fungos devem ser utilizados como uma das fontes destas vitaminas (DANTAS ET AL., 2012).

O uso de microalgas vem sendo bastante abordado na literatura quando se trata de aumentar o valor nutricional de produtos análogos à carne. Isto porque, nas microalgas, é possível

encontrar quase todos os tipos de vitaminas. Em relação às vitaminas do complexo B, os valores de vitaminas B1 e B2 encontrados nas microalgas são superiores aos valores encontrados no espinafre e no fígado bovino, por exemplo (BECKER, 2013). Além disso, apesar da vitamina B12 ser encontrada principalmente no solo, a carne bovina é vista como a principal fonte deste nutriente. Entretanto, a microalga *Chlorella sp.* também contém um alto teor de vitamina B12 na sua composição (KITAKA-KATSURA, FUJITA ET AL., 2002). Inclusive, alguns estudos clínicos apontam que o nível de vitamina B12 no organismo de veganos que suplementaram com *Chlorella sp.* é duas vezes maior do que daqueles que não o fizeram (WATANABE, 2007). Então, com base nestas informações levou-se à conclusão que a *Chlorella sp.* é uma opção para a indústria de alimentos quando se trata de beneficiamento de vitamina B em produtos análogos à carne.

Porém, deve-se tomar cuidado porque a incorporação de microalga acima de 50% de peso seco é capaz de afetar a estrutura de produtos análogos à carne que foram extrusados (GRAHL ET AL., 2018). Outro ponto preocupante para a indústria quando se trata da incorporação de microalgas em produtos fontes *vegans* é a alteração da cor do produto. Por exemplo, quando utilizadas microalgas foto autotróficas *Arthrospira platensis* (Spirulina), o produto final apresentou uma cor verde escura, sendo esta uma das principais barreiras para utilizá-la como ingrediente alimentar (BECKER, 2007). Por outro lado, outras espécies quando submetidas a cultivo controlado podem sintetizar e acumular diferentes pigmentos, como por exemplo, carotenóides que resultam em uma biomassa de cor amarelo-claro (CAPORGNO, HABERKORN, BOCKER, & MATHYS, 2019; HU, NAGARAJAN, ZHANG, CHANG, & LEE, 2018).

A levedura de cerveja também é rica em vitamina B. Entretanto, essa fonte de vitamina B é menos aceita devido ao sabor amargo que lhe é característico. Porém, com a intencionalidade de alterar o sabor da levedura para que esta se tornasse uma opção para a indústria de alimentos e para evitar o descarte desse material tão rico em nutrientes, DWIVED E GIBSON (1970) desenvolveram um processo para desamargar a levedura, o que tornou possível realizar estudos incrementando este material como ingrediente.

Ao utilizar levedura de cerveja nestes preparados, deve-se tomar cuidado com a quantidade de temperos utilizados, dado que, muitos destes podem intensificar o sabor amargo da levedura. No entanto, um aliado para reduzir o sabor indesejado é o glutamato monossódico (DWIVED E GIBSON, 1970).

4.5 USO DE TRANSGLUTAMINASE PARA RETICULAÇÃO DE PROTEÍNAS E POSSÍVEL APLICAÇÃO EM PRODUTOS *PLANT E FUNGI-BASED*

A Transglutaminase é uma proteína pertencente a uma família de enzimas que catalisam reações de acil-transferência, deamidações e ligações cruzadas intra e intermoleculares entre proteínas e peptídeos (GRIFFIN; CASADIO; BERGAMINI, 2002; STROP, 2014).

As Transglutaminases (TGAs) foram descobertas em 1957 por meio de um estudo onde o objetivo era analisar a atividade de aminas de baixo peso molecular introduzidas em proteínas no fígado de porquinho-da-índia (MYCEK et al., 1959; KLOCK C.; KHOSLA C., 2012). A partir deste estudo, a Transglutaminase vem sendo encontrada em vários outros organismos com diversas finalidades (LORAND; GRAHAM, 2003; RICKERT et al., 2015). As TGAs podem ter origem animal ou microbiana, sendo a maior diferença entre elas o fato das TGAs de origem animal ser dependente de Ca^{2+} enquanto que a microbiana é independente de Ca^{2+} .

4.5.1 *Transglutaminase Animal (aTGA)*

Após aproximadamente duas décadas da descoberta das TGAs em testes realizados com porquinhos-da-Índia, foram realizados estudos também utilizando fator XIII da coagulação bovina (KURTH, 1983). No entanto, descobriu-se ser inviável obter esta enzima de fonte animal em escala industrial haja vista a produção limitada e a dificuldade de purificação (ZHU et al., 1995).

4.5.1.1 *Principais aTGAs*

Dentro deste grupo pode-se citar o fator XIII de coagulação sanguínea (LORAND, 2001; PANVEL STROP, 2014), bem como a proteína transglutaminase dois (TG2) que se encontra no organismo dos seres humanos e tem como função levar as células à apoptose (CHEN; MEHTA, 1999; RICKERT et al., 2016) e inibir o processo de adipogênese (MYNENI; MELINO; KAARTINEN, 2015).

A TG2 é encontrada em diversos tecidos e órgãos do corpo humano, como por exemplo, fígado, intestino, coração e células sanguíneas, como nos eritrócitos. Também podem ser encontradas no citosol, mitocôndria e no núcleo. Esta se liga à fibronectina promovendo aderência celular e motilidade, além de está relacionada também à doença celíaca (CORNELIUS KLOCK., 2012; STROP., 2014).

4.5.2 Transglutaminase Microbiana

Já a Transglutaminase microbiana (mTGA ou mTGASE) foi encontrada pela primeira vez no *Streptovercillium mobaraense* (ANDO et al., 1989), depois sendo identificada também em espécies do mesmo gênero e de outros gêneros também, como nos *Bacillus* e *Streptomyces* (NAGY; SZAKACS, 2008).

Abaixo se encontra descritos alguns micro-organismos conhecidos por serem produtores de transglutaminase, bem como parâmetros que são capazes de influenciar nas atividades destes (tabela 1). Outro parâmetro capaz de influenciar na atividade é a concentração de sais no meio, por exemplo, um meio com íons de KCl e NaCl aumentam a atividade, enquanto a presença de CaCl₂ reduz a atividade (KUTMEYER et al., 2005).

Tabela 1 - Características bioquímicas de algumas mTGs.

Micro-organismo	pH ótimo de atividade	Temperatura ótima de atividade (°C)	Referência
<i>Stremitovercillium mobareense</i>	6,5 - 7	28 - 32	(MEIYING et al., 2002)
<i>Streptomyces hygrosopicus</i>	6 - 7	37 - 45	(CUI et al., 2007)
<i>Bacillus subtilis</i>	8,2	60	(SUSUKI, et al., 2000)
<i>Bacillus circulans</i>	7	47	(SOARES et al., 2003)

Fonte: KUTMEYER et al., 2005.

Conforme dito anteriormente, as mTGASE são independentes de Ca²⁺. Por este motivo, a reação de acil-transferência se dá pela interação da cadeia lateral de glutamina e a amina primária na presença de mTGASE, liberando, portanto, uma molécula de amoníaco. Algumas das principais funções dessas enzimas são a de auxiliar na reticulação de proteínas dos endosporos (KOBAYASHI et al., 1996; RAGKOUSI; SETLOW., 2004; ZILHÃO et al., 2005).

4.5.3 Uso da Transglutaminase na Indústria de Alimentos

Dos dois tipos de enzimas descritos acima, a transglutaminase microbiana é a utilizada pela indústria. Isto porque possui uma menor massa molecular, baixo custo de produção e atividade em uma ampla faixa de pH e temperatura (YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

Além disso, testes de toxicidade foram feitos com a mTGASE provando que esta enzima é segura para consumo, além de não possuir nenhum traço carcinogênico e nem toxicológico (K.

BERNARD, S. TSUBUKU, S. SHIOYA, 1998).

Dentro da indústria de alimentos, seu principal uso é para alterar a textura da carne, bem como a melhorar o encorpamento de produtos derivados do leite e na elasticidade de massas a base de farinha (KIELISZEK; MISIEWICZ, 2014), tendo também potencial para melhorar o valor nutricional dos alimentos, auxiliando na adição de aminoácidos indispensáveis em uma dieta equilibrada (IKURA et al., 1985).

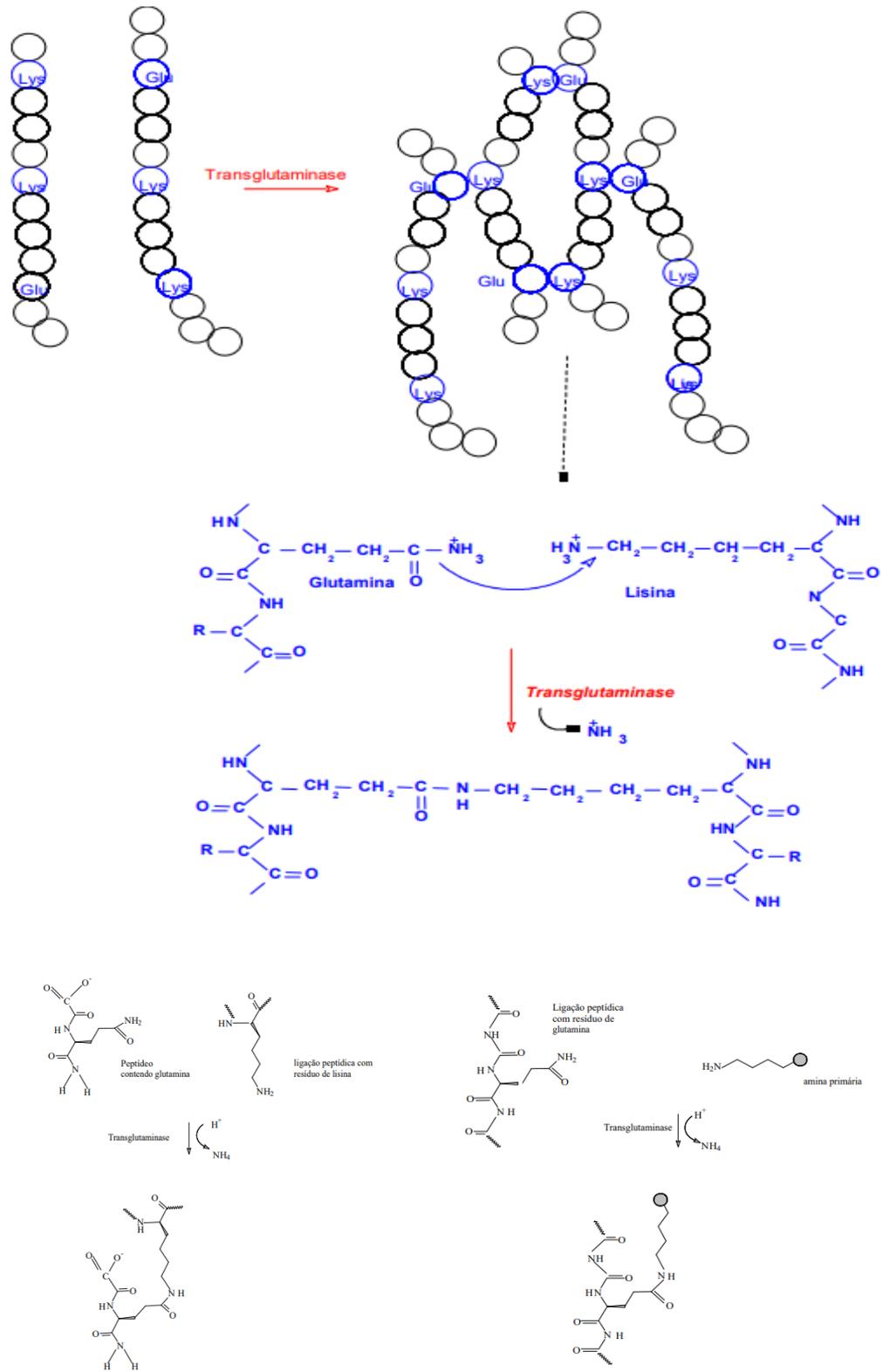
4.5.3.1 Mecanismo de Reação da mTGASE

Os mecanismos de reação da Transglutaminase podem ser atribuídos a basicamente três reações:

1). Atuar como catalisador na reação de acil-transferência a partir do deslocamento dos grupos γ -carboxiamida derivados dos resíduos de glutamina ligados às moléculas de proteínas. Essa reação tem como função adicionar lisina às proteínas resultando na melhora da cadeia de aminoácidos (PAYNE, 2000b).

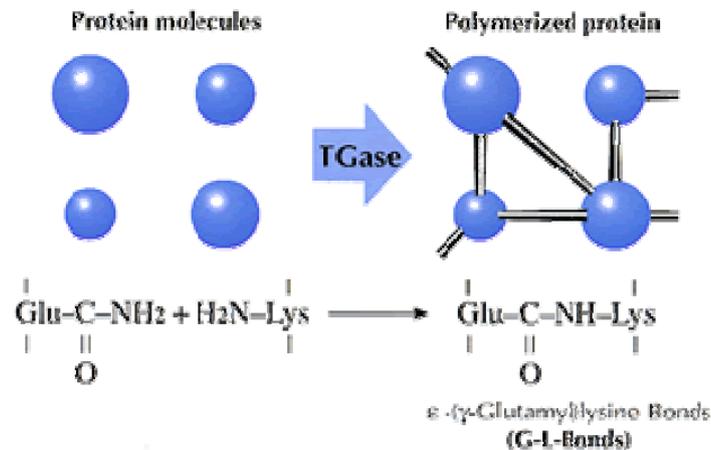
2). Formação de ligações cruzadas inter e intramoleculares entre as proteínas de ϵ -(γ -Glu)Lys a partir de resíduos de lisina presentes no meio reacional (ANON, 1996). Diferentemente das enzimas proteases e amilases, a reação catalisada pela transglutaminase faz a união entre pequenos substratos de proteína por meio da ligação cruzada. Um estudo realizado por Kuraishi et al. (1997) comprovou que produtos processados possuíam um nível mais alto de ligações ϵ -(γ -Glu)Lys do que em suas matérias-primas, fato que comprova a ação da transglutaminase como responsável pela união de moléculas de proteínas.

Figura 15 - Mecanismo de reação da mTGASE.



Fonte: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DA TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA EM ALIMENTOS, 2005.

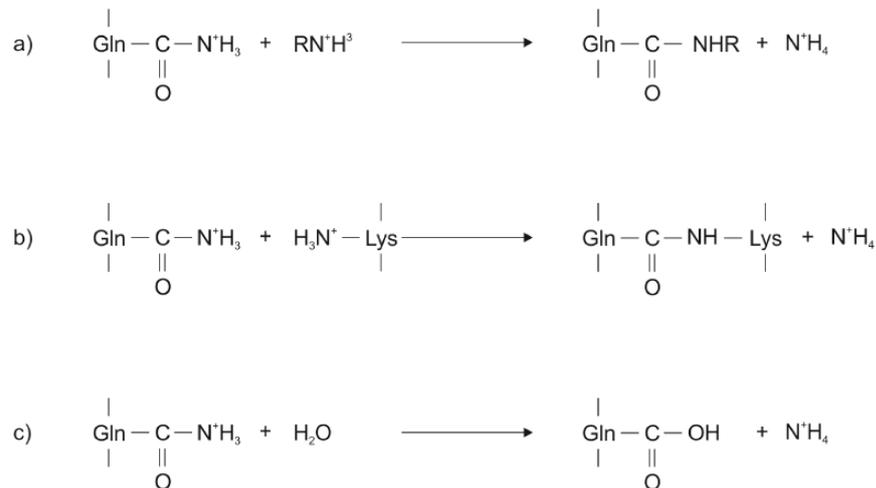
Figura 16 - Reação de polimerização de proteínas.



Fonte: AJINOMOTO Europe Sales GmbH, 2004.

3). A transglutaminase também provoca uma reação denominada deamidação. Esta utiliza as moléculas de água presentes no meio reacional quando todas as aminas primárias já foram utilizadas.

Figura 17 - Reações que ocorrem na presença de transglutaminase. (a) reação de acil-transferência (b) Reação de cross-linking. (c) Reação de deamidação.



Fonte: BONFIM, ROSIANE COSTA ET AL. (2015)

Apesar de a transglutaminase ser conhecida por diversos setores da indústria devido a sua eficiência, ainda é um produto muito caro. Isso porque tem apenas a *S. mobaraense* como principal produtora desta enzima. Mas pesquisadores vêm trabalhando em busca de novas fontes para produzir mTGASE em escala industrial, como por exemplo a partir da *Streptomyces*

lividans (LIN et al., 2006), *Escherichia coli* (RICKERT et al., 2015) e *Pichia pastoris* (BURCU GUNDUZ, 2012).

4.5.4 Uso da mTransglutaminase em Alimentos à Base de Cereais e Vegetais

Considerando a crescente demanda por produtos de origem vegetal, visto que são produtos de preço competitivo, seguros, de fácil armazenamento, se faz relevante o estudo referente ao uso de mTGASE nesses produtos.

Tomando como exemplo o uso de Transglutaminase na produção de tofu, esta fez com que a duração do derivado de soja aumentasse de 2 a 4 dias em temperatura de 10°C para 6 meses a 25°C, preservando a dureza e o sabor suave, resultando ainda em um produto mais estável e mais fácil de ser comercializado embalado. Além disso, a mTGASE foi responsável por dar uma maior resistência ao calor. Além disso, um estudo realizado apontou que o tofu sem uso da enzima, quando cozido, perde cerca de 35% do seu peso, enquanto que quando utilizou a enzima, a perda de peso reduziu para 15% (KWAN,S.W.;EASA,A.M, 2003).

Outras fontes de proteína vegetal estão sendo estudadas após a incorporação da Transglutaminase, como por exemplo, proteína de soja, proteína do trigo, proteína da ervilha, proteína de arroz, girassol e tremoço. Estes estudos além de terem como objetivo avaliar a melhora de algumas características como a textura do produto final, também tiveram como objetivo avaliar a introdução de aminoácidos na composição dos produtos com base em proteínas vegetais (YOKOYAMA,K.;NIO,N.;KIKUCHI,Y, 2004). Os estudos ainda estão bastante concentrados nas proteínas de soja e de trigo. Isso não se deve somente pela maior disponibilidade destas matérias primas, mas também pela adequação como substratos pela reação enzimática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cogumelos são uma das alternativas para produzir alimentos análogos à carne. Isto se deve principalmente por ser altamente nutritivos, além de ser possível trabalhar sua textura e demais propriedades a partir de métodos de operações unitárias. Atualmente, o padrão de consumo da população vem sofrendo alterações e uma das principais mudanças observadas é a tendência à diminuição do consumo de produtos cárneos.

Além disso, desenvolver produtos a partir de cogumelos também é vantajoso porque além de ser fontes de proteínas, também são ricos em fibras alimentares, vitaminas, aminoácidos e

possuírem um teor reduzido de lipídeos. Ademais, os cogumelos também apresentam em sua composição compostos antioxidantes, como os ácidos fenólicos e flavonoides.

O método mais utilizado atualmente pela indústria alimentícia para produzir alimentos semelhantes à carne é a extrusão a alta umidade em conjunto com uma placa disjuntora ao final da extrusora e anterior ao resfriador. Já o método menos favorável para o processamento é do ultrassom, dado que, para ser efetivo precisam ser utilizadas altas potências e isso levaria a alterações indesejáveis nas características dos alimentos. Em relação ao beneficiamento de vitamina B, apesar dos cogumelos já serem considerados como fonte de vitamina B2, o uso de microalgas foi o que se mostrou mais relevante, considerando que a quantidade de vitaminas presentes nesse material é superior a outros produtos como espinafre e fígado bovino, sendo que ambos são os alimentos mais citados quando se trata de fonte de vitamina B. Entretanto, devem-se estudar métodos para retirar a coloração esverdeada das microalgas a fim de evitar o impacto na cor do produto final.

O presente estudo aponta a mTGASE como a melhor opção dentre os tipos de Transglutaminase para serem utilizadas nos produtos à base de cogumelos. Além de já ser o tipo mais encontrado na indústria, a mTGASE também aumenta a vida útil dos produtos e reduz a perda de peso quando estes são submetidos a tratamento térmico.

Por fim, uma sugestão para os próximos trabalhos seria produzir alimentos a base de cogumelos enriquecidos com microalgas, com adição de mTGASE com o intuito de melhorar a textura do produto utilizando o método de processamento de extrusão a alta umidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCO, 2016. **High efficiency blancher/cookers**. ABCO Industries Ltd. Disponível em: www.abco.ca/blanchers.html. Acesso em: Agosto de 2022.
- ACTON, J. C., & DICK, R. L. (1984, Junho). **Protein-protein interaction in processed meats**. Paper presented at the 37th Reciprocal Meat Conference, Lubbock, TX.
- AGUILERA, J. M., KOSIKOWSKI, F. V., & HOOD, L. F. (2007). **ULTRASTRUCTURE OF SOY PROTEIN FIBERS FRACTURED BY VARIOUS TEXTURE MEASURING DEVICES**. *Journal of Texture Studies*, 6(4), 549–554. doi:10.1111/j.1745-4603.1975.tb01428.x
- AKBARIRAD, H.; KAZEMEINI, S. M.; SHARIATY, M. A. **Deterioration and some of applied preservation techniques for common mushrooms (*Agaricus bisporus*, followed by *Lentinus edodes*, *Pleurotus spp*)**. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, v. 2, n. 6, p. 2398–2402, 2013.
- ALZAMORA, S.M., GUERRERO, S.N., SCHENK, M., RAFFELLINI, S., LÓPEZ-MALO, A., 2011. **Inactivation of microorganisms**.
- AMAZONAS, M. A. de A. **Curso cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais. In: IMPORTÂNCIA do uso de cogumelos: aspectos nutricionais e medicinais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.169 p. Apostila.
- FENG, H., BARBOSA-CANOVAS, G.V., WEISS, J. (EDS). **Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing**. Springer Publications, New York, NY, pp. 321-343.
- ANDO, H. et al. **Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms**. *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 53, n. February 2015, p. 2613–2617, 1989.
- ANON. **TGase: Transglutaminase and applications**. In: Ajinomoto Corporation Folder, 1996.
- BALASUNDRAM N., SUNDRAM K., SAMMAN S, (2006). **Phenolic compounds in plants and agri industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses**. *Food Chemistry* 99: 191-203
- BALDWIN, Douglas E. **Sous vide cooking: A review**. Sciverse ScienceDirect, Colorado, v. 1, 2012.
- BALDWIN, D.E., 2010. **Sous Vide for the Home Cook. Paradox Press**.
- BELITZ, H.-D., GROSCH, W., SCHIEBERLE, P., 2004. *Food Chemistry*, third ed. Springer.
- BALDWIN, D.E., 2008. **A Practical Guide to Sous Vide Cooking**. Disponível em: <http://www.douglasbaldwin.com/sous-vide.html>. Acesso em: Agosto de 2022.
- BARROS, L.; BAPTISTA, P.; CORREIA, D. M.; CASAL, S.; OLIVEIRA, B.; FERREIRA, I. C. F. R. **Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible**

mushrooms from Northeast Portugal. Food Chemistry, v. 105, n. 1, p. 140–145, 2007a.

BENAVENTE-GARCIA, O., CASTILLO, J., MARIN, F. R., ORTUNO, A., & DEL RIO, J. A. (1997). **Uses and properties of citrus flavonoids.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45, 4505–4515.

BERNARD, B. K., S. TSUBUKU, AND S. SHIOYA (1998). **Acute toxicity and genotoxicity studies of a microbial transglutaminase.** Int. J. Toxicol. 17: 703-721.

BONFIM, R. C., MACHADO, J. DA S., MATHIAS, S. P., & ROSENTHAL, A. (2015). **Aplicação de transglutaminase microbiana em produtos cárneos processados com teor reduzido de sódio.** Ciência Rural, 45(6), 1133–1138. doi:10.1590/0103-8478cr20131440

BRAVO, L. (1998). **Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance.** Nutrition Reviews, 56317, 333.

BRENNAN, M., LE PORT, G., & GORMLEY, R. (2000). **Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms.** LWT - Food Science and Technology, 33(4), 285–289. doi:10.1006/fstl.2000.0657

BAUMANN, A.R., MARTIN, S.E., FENG, H., 2005. **Power ultra-sound treatment of Listeria monocytogenes in apple cider.** J. Food Prot. 68 (11), 2333-2340.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D., CORRADINI, M.G., MAWSON, R., BARBO-SA-CÁNOVAS, G.V., 2009A. **Modeling the inactivation of Listeria innocua in raw whole milk treated under thermosonication.** Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 10 (2), 172-178, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2008.11.005>

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D., MAWSON, R., VERSTEEG, K., BARBOSA--CÁNOVAS, G.V., 2009B. **Composition parameters, physico-chemical characteristics and shelf-life of whole milk after thermal and thermosonication treatments.** J. Food Qual. 32, 283-302.

BOWSER, T.J., WECKLER, P.R., JAYASEKARA, R., 2003. **Design parameters for operation of a steam injection heater without water hammer when processing viscous food and agricultural products.** Appl. Eng. Agric. 19 (4), 447-451, <http://dx.doi.org/10.13031/2013.14912>

CAPORGNO, M. P., HABERKORN, I., BÖCKER, L., & MATHYS, A. (2019). **Cultivation of Chlorella protothecoides under different growth modes and its utilisation in oil/water emulsions.** Bioresource Technology, 121476. doi:10.1016/j.biortech.2019.12147

CAPORGNO, MARTÍN P. et al. **Extruded meat analogues based on yellow, heterotrophically cultivated Auxenochlorella protothecoides microalgae.** Innovative Food Science and Emerging Technologies, [s. l.], 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102275>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856419313773>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CHANG, S. T.; WASSER, S. P. **The Role of Culinary-Medicinal Mushrooms on Human Welfare with a Pyramid Model for Human Health.** International Journal of Medicinal Mushrooms, v. 14, n. 2, p. 95–134, 2012.

CHARNEY, J., & TOMARELLI, R. M. (1947). **A Colorimetric Method For The Determination Of The Proteolytic Activity Of Duodenal Juice.** *Journal of Biological Chemistry*, 171(2), 501–505. doi:10.1016/s0021-9258(17)41059-3

CHEFTEL, J. C., M. KITAGAWA, AND C. QUEGUINER. 1992. **New protein texturization processes by extrusion cooking at high moisture levels.** *Food Reviews International* 8 (2):235–75. doi: 10.1080/7559129209540940.

CHEN, J. S.; MEHTA, K. **Tissue transglutaminase: an enzyme with a split personality.** *The international journal of biochemistry & cell biology*, v. 31, n. 8, p. 817–36, ago. 1999.

CHEUNG, P. C. **Nutritional value and health benefits of mushrooms.** In: *Mushrooms as functional foods.* New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. p. 279.

CHURCH, I. J., & PARSONS, A. L. (2000). **The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and sous vide methods.** *International Journal of Food Science and Technology*, 35(2), 155–162. doi:10.1046/j.1365-2621.2000.00361.x

COHEN, N.; COHEN, J.; ASATIANI, M. D.; VARSHNEY, V. K.; YU, H.-T.; YANG, Y.-C.; LI, Y.-H.; MAU, J.-L.; WASSER, S. P. **Chemical composition and nutritional and medicinal value of fruit bodies and submerged cultured mycelia of culinary-medicinal higher basidiomycetes mushrooms.** *International journal of medicinal mushrooms*, v. 16, n. 3, p. 273–91, 2014.

COIMBRA, Victor Rafael, 2013. **Fungos Agaricoides (Agaricales, Basidiomycota) da reserva biológica saltinho, Pernambuco: Diversidade e Aspectos Moleculares.**

COUCEIRO P, SLYWITCH E, LENZ F. **Padrão Alimentar da Dieta Vegetariana**[Sl.:sn.]; 2008 6(3).

CORNET, S. H. V., SNEL, S. J. E., LESSCHEN, J., VAN DER GOOT, A. J., & VAN DER SMAN, R. G. M. (2021A). **Enhancing the water holding capacity of model meat analogues through marinade composition.** *Journal of Food Engineering*, 290. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110283>

DANTAS, J. I. A. ET. AL. **Biossíntese de vitaminas em frutos e hortaliças.** *Agropecuária científica no semiárido, Campinas*, v. 8, n. 4, p. 22-37, 2012. Disponível em: . Acesso em: 15 abr. 2017.

DEVECE, C., RODRÍGUEZ-LÓPEZ, J. N., FENOLL, J. T., CATALÁ, J. M., DE LOS REYES, E., & GARCÍA-CÁNOVAS, F. (1999). **Enzyme inactivation analysis for industrial blanching applications: comparison of microwave, conventional, and combination heat treatments on mushroom polyphenoloxidase activity.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(11), 4506–4511.

DUBE, M., SCHÄFER, C., NEIDHART, S. ET AL. **Texturização e modificação de proteínas vegetais para aplicações alimentícias utilizando transglutaminase microbiana.** *Eur Food Res Technol* 225, 287–299 (2007).

EL-DASH, A. A. **Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses.** In: POMERANZ, Y.; MUNCK, L. (Ed.). *Cereals - a renewable resource: theory and practice.* Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.

165-216.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de Cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: Biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.** Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1077728/1/Producao-de-COGUMELOS-por-meio-de-tecnologia-chinesa-modificada-ed-03-2017-corrigido-em-21-de-junho-de-2022.pdf>>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.

FANG, Y., ZHANG, B., WIE, Y., 2014. **Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking.** J. Food Eng. 121, 32–38.

FELLOWS PJ (2006). **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática.** 2. ed. 227- 233. - Artmed, 2006.

FELLOWS, P J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** Grupo A, 2019. 9788582715260. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582715260/>. Acesso em: 11 ago. 2022.

FMC, 2016b. **Multimix cooking vessel, Food Machinery Company Ltd.** Disponível em: www.foodmc.co.uk/Products/1328-multimix.aspx (www.foodmc.co.uk > select ‘Industrial Cooking’ > ‘Electrically Heated Steam Jacketed Kettles’ > ‘Multimix’) (acesso em: Agosto de 2022).

FENG, H., YANG, W., HIELSCHER, T., 2008. **Power ultrasound.** Food Sci. Technol. Int. 14 (5), 433-436, <http://dx.doi.org/10.1177/1082013208098814>

FENG, H., YANG, W., 2011. **Ultrasonic processing.** Processing Technologies for Food. Institute of Food Technologists (IFT) Press/Wiley-Blackwell, Ames, IA, pp. 135-154.

FENG, H., YANG, W., HIELSCHER, T., 2008. **Power ultrasound.** Food Sci. Technol. Int. 14 (5), 433-436, <http://dx.doi.org/10.1177/1082013208098814>

FERNANDES, A., ANTONIO, A.L., OLIVEIRA, M.B.P.P., MARTINS, A. & FERREIRA, I.C.F.R. (2012). **Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: a review.** Food Chemistry. 135: 641-650

FRASER, R. Z., SHITUT, M., AGRAWAL, P., MENDES, O., & KLAPHOLZ, S. (2018). **Safety evaluation of soy leghemoglobin protein preparation derived from pichia pastoris, intended for use as a flavor catalyst in plant-based meat.** International Journal of Toxicology, 37(3), 241– 262. <https://doi.org/10.1177/1091581818766318>

FU, YUNLEI ET AL. **The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues.** Trends in Food Science & Technology , [s. l.], 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421002429>. Acesso em: 12 jul. 2022.

- FURLANI, R. P. Z., & GODOY, H. T. (2005). **Valor nutricional de cogumelos comestíveis: uma revisão.** Revista Do Instituto Adolfo Lutz, 64(2), 149–154. Disponível em: <<https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32976>>. Acesso em: 10 de agosto de 2022.
- GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; AND CULIOLI, J. (1984). **Ultrastructural Aspects of Spun Pea and Fababean Proteins.** *Food Structure*: Vol. 3 : No. 2 , Article 10. Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol3/iss2/10>
- GILLHAM, B.; PAPACHRISTODOULOU, D. K.; THOMAS, J. H. **Wills': biochemical basis of medicine.** 3. ed. Oxford: Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997. Cap. 22, p. 196-202
- GOMES, M. Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos (ANPC). **Agronegócio: Consumo e produção de cogumelos crescem no Brasil.** 29/01/2018. Disponível em: <https://www.anpccogumelos.org/singlepost/2018/01/29/Agronego%C3%B3cio-Consumo-e-produ%C3%A7%C3%A3o-de-cogumelos-cresce-no-Brasil>. Acesso em: 02 de Agosto de 2022. IBGE. Senso agropecuário de 2017. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017> Acessado em: 02 de agosto de 2022.
- GÓMEZ, I., IBAÑEZ, F. C., & BERIAIN, M. J. (2019). **Physicochemical and sensory properties of sous vide meat and meat analog products marinated and cooked at different temperaturetime combinations.** *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1693–1708. doi:10.1080/10942912.2019.1666869
- GRABOWSKA, K. J., S. TEKIDOU, R. M. BOOM, AND A. J. VAN DER GOOT. 2014. **Shear structuring as a new method to make anisotropic structures from soy-gluten blends.** *Food Research International (Ottawa, Ont.)* 64:743–51. doi: 10.1016/j.foodres.2014.08.010.
- GRABOWSKA, K. J., ZHU, S., DEKKERS, B. L., DE RUIJTER, N. C. A., GIETELING, J., & VAN DER GOOT, A. J. (2016). **Shear-induced structuring as a tool to make anisotropic materials using soy protein concentrate.** *Journal of Food Engineering*, 188, 77–86. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.05.01
- GRAHL, S., STRACK, M., MENSCHING, A., & MÖRLEIN, D. (2020). **Alternative protein sources in Western diets: Food product development and consumer acceptance of spirulina-filled pasta.** *Food Quality and Preference*, 84, 103933. doi:10.1016/j.foodqual.2020.10393.
- GIBSON, D. L., & DWIVEDI, B. K. (1970). **Production of Meat Substitutes from Spent Brewers' Yeast and Soy Protein.** *Canadian Institute of Food Technology Journal*, 3(3), 113–115. doi:10.1016/s0008-3860(70)74291-8
- GRIFFIN, M.; CASADIO, R.; BERGAMINI, C. M. **Transglutaminases: nature's biological glues.** *The Biochemical journal*, v. 368, n. Pt 2, p. 377–96, 1 dez. 2002.
- GUERRERO, S., LÓPEZ-MALO, A., ALZAMORA, S., 2001. **Effect of ultrasound on the survival of *Saccharomyces cerevisiae*: influence of temperature, pH and amplitude.** *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2 (1), 31-39, [http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00020-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00020-0)

- GÜNDÜZ, B., YILMAZ, R., & ÇALIK, P. (2012). **Recombinant transglutaminase production by metabolically engineered pichia pastoris**. *New Biotechnology*, 29, S80. doi:10.1016/j.nbt.2012.08.223
- HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G. M.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; PERALTA, R. M. **Phenolic compounds in fruits – an overview**. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 47, p. 2023-2044, 2012.
- HE, J.; EVANS, N.; LIU, H. SHAO, S. **A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes**. Aug. 2020. DOI: 10.1111/1541-4337.12610.
- HINE, P. J., S. W. TSUI, P. D. COATES, I. M. WARD, AND R. A. DUCKETT. 1997. **Measuring the development of fibre orientation during the melt extrusion of short glass fibre reinforced polypropylene**. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 28 (11): 949–58. doi: 10.1016/S1359-835X(97)00070-5.
- HERBACH KM, STINTZING F, CARLE R (2004A). **Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations**. *J Food Sci* 69:491–498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x>
- HERRMANN, W. et al. **Functional vitamin B12 deficiency and determination of holotranscobalamin in populations at risk**. *Clin Chem Lab Med*, v. 41, n. 11, p. 1478-88, 2003.
- HERRMANN, W. et al. **Vitamin B-12 status, particularly holotranscobalamin II and methylmalonic acid concentrations, and hyperhomocysteinemia in vegetarians**. *Am J Clin Nutr*, v. 78, n. 1, p. 131-6, 2003.
- HERRMANN, W.; GEISEL, J. **Vegetarian lifestyle and monitoring of vitamin B-12 status**. *Clin Chim Acta*, v. 326, n. 1-2, p. 47- 59, 2002.
- HOBBS, C. **Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing & culture**. Santa Cruz, CA: Botanica Press, 1995. 252 p. 1995.
- HUGHES, J. M., OISETH, S. K., PURSLOW, P. P., & WARNER, R. D. (2014). **A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness**. *Meat Science*, 98(3), 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.022>
- HU, J., NAGARAJAN, D., ZHANG, Q., CHANG, J.-S., & LEE, D.-J. (2018). **Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review**. *Biotechnology Advances*, 36(1), 54-67. doi: 10.1016/j.biotechadv.2017.09.009
- IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística. **Pesquisa de Opinião Pública sobre Vegetarianismo**. Disponível em: <
https://www.svb.org.br/images/Documentos/JOB_0416_VEGETARIANISMO.pdf>.
Acessado em: 02 de agosto de 2022.
- IGNATI, VOLFI, POPA V. I. (2011) **A critical review of methods 195 for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables**. *Food Chemistry* 126: 1821-1835.
- IKURA K., NASU T., YOKOTA H., SASAKI R. AND CHIBA H (1987). **Cloning of cDNA**

coding for guinea pig liver transglutaminase. *Agric. Biol. Chem.* 51, 957-961.

JIANG, T., LUO, Sh., CHEN, Q., SHEN, L., YING, T. 2010. **Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)**. *Food Chemistry*, 122, 761-767.

JOLIVET, S., ARPIN, N., WICHERS, H. J., & PELLON, G. (1998). ***Agaricus bisporus* browning: a review**. *Mycological Research*, 102(12), 1459–1483. doi:10.1017/s0953756298006248

JOHNSON, S., 2011. **Steam blanching vs water blanching: cost, efficiency and product quality**. Key Technologies Inc. Disponível em: www.key.net/products/turbo-flo-blancher/default.html (www.key.net > select 'Equipment' > 'TurboFlor blancher') (acesso em: agosto de 2022).

KALÁČ, P. **Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review**. *Food Chemistry*, v. 113, n. 1, p. 9–16, 2009.

KAYIN, N., ATALAY, D., TÜRKEN AKÇAY, T., & ERGE, H. S. (2019). **Color stability and change in bioactive compounds of red beet juice concentrate stored at different temperatures**. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5097–5106. doi:10.1007/s13197-019-03982-5

KAYODE, R. M. O.; OLAKULEHIN, T. F.; ADEDEJI, B. S.; AHMED, O.; ALIYU, T. H.; BADMOS, A. H. A. **Evaluation of amino acid and fatty acid profiles of commercially cultivated oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) grown on gmelina wood waste**. *Nigerian Food Journal*, v. 33, n. 1, p. 18–21, 2015.

KWAN, S.W.; EASA, A.M. **Comparing physical properties of retort resistant gluconolactone treated with commercial transglutaminase enzyme or low levels of glucose**. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.*, v. 36, p.643-647, 2003.

KIELISZEK, M. AND MISIEWICZ, A. (2014). **Microbial Transglutaminase and Its Application in the Food Industry. A Review**. *Folia Microbiologica*, 59, 241-250. <https://doi.org/10.1007/s12223-013-0287-x>

KITAKA-KATSURA, H., FUJITA, T., WATANABE, F., & NAKANO, Y. (2002). **Purification and Characterization of a Corrinoid Compound from *Chlorella* Tablets as an Algal Health Food**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4994–4997. doi:10.1021/jf020345w

KLÖCK, C.; DIRAIMONDO, T.R.; KHOSLA, C. **Role of Transglutaminase 2 in Celiac Disease Pathogenesis**. *Semin Immunopathol*, v.34, n.4, p. 513-522, July 2012.

KOBAYASHI, K., Y. KUMAZAWA, K. MIWA, AND S. YAMANAKA. 1996. **ϵ -(γ -glutamyl)lysine crosslinks of spore coat proteins and transglutaminase activity in *Bacillus subtilis***. *FEMS Microbiol. Lett.* 144:157–160.52

KOSOWSKA, M., A. MAJCHER, M., & FORTUNA, T. (2017). **Volatile compounds in meat and meat products**. *Food Science and Technology*, 37(1), 1–7. doi:10.1590/1678-457x.08416

KRINTIRAS, G. A., GADEA DIAZ, J., VAN DER GOOT, A. J., STANKIEWICZ, A. I., & STEFANIDIS, G. D. (2016). **On the use of the Couette Cell technology for large scale production of textured soy-based meat replacers.** *Journal of Food Engineering*, 169, 205–213. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.08.02

KRINTIRAS, G. A., J. GOBEL, A. J. VAN DER GOOT, AND G. D. STEFANIDIS. 2015. **Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell.** *Journal of Food Engineering* 160:34–41. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.02.015.

KURAIISHI, C.; SAKAMOTO, J.; YAMAZAKI, K.; SUSU, Y.; KUHARA, C.; SOEDA, T. **Production on restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking.** *Journal of Food Science*. v. 62, n. 3, p.488-490, 1997.

KURAIISHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSU, Y. **Transglutaminase: its utilization in the food industry.** In: *Food Reviews International*, v. 17, p. 221-246, 2001.

KURTH, L. B. **Crosslinking of myosin and casein by the enzyme transglutaminase.** *Food Technology in Australia*. 1983; 35(9):420-423. <http://hdl.handle.net/102.100.100/284890?index=1>

KYRIAKOPOULOU, K., DEKKERS, B., & VAN DER GOOT, A. J. (2019). **Plant-based meat analogues.** In: *Sustainable Meat Production and Processing*, (Galanakis, C., Ed.), (pp. 103-126) Academic Press.

LAKHANPAL, T. N. **Prospects of mushrooms from the wild.** In: NAIR, M. C. *Advances in mushroom biotechnology*. Jodhpur: Scientific Publishers, 1994. p. 15-22.

LEE, D., HEINZ, V., KNORR, D., 2003. **Effects of combination treatments of nisin and high-intensity ultrasound with high pressure on the microbial inactivation in liquid whole egg.** *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4 (4), 387-393, [http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00039-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00039-0)

LIN Y-S, CHAO M-L, LIU C-H, TSENG M, CHU W-S (2006). **Cloning of the gene coding for transglutaminase from *Streptomyces platensis* and its expression in *Streptomyces lividans*.** *Process Biochem* 41:519–524

LORAND, L. **Factor XIII: structure, activation, and interactions with fibrinogen and fibrin.** *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 936, p. 291–311, jan. 2001.

LORAND, L.; GRAHAM, R. M. **Transglutaminases: crosslinking enzymes with pleiotropic functions.** *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, v. 4, n. 2, p. 140–156, 2003.

LORENZI, T. F. **Manual de hematologia: propedêutica e clínica.** Rio de Janeiro: MEDSI, 1992.

LUKASSE, L. J. S., & POLDERDIJK, J. J. (2003). **Predictive modelling of post-harvest quality evolution in perishables, applied to mushrooms.** *Journal of Food Engineering*, 59(2-3), 191–198. doi:10.1016/s0260-8774(02)00458-2.

LYCO, 2016. **Clean-flow rotary drum blancher.** Lyco Manufacturing Inc. Disponível em: <http://lycomfg.com/equip-ment/blanchers> (acesso em: agosto de 2022).

MAHAJAN, P. V.; OLIVEIRA, F. A. R.; MACEDO, I. **Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms.** Journal of Food Engineering, v. 84, n. 2, p. 281–288, 2008.

MANSKI, Julita M. et al. **Advances in structure formation of anisotropic proteinrich foods through novel processing concepts.** Trends in Food Science & Technology, [s. l.], 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224407001483>. Acesso em: 5 jul. 2022.

MANSKI, JM, VAN DER GOOT, AJ, BOOM, RM, 2007B. **Avanços na formação de estrutura de alimentos ricos em proteínas anisotrópicas por meio de novos processamentos conceitos.** Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos 18, 546e557. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.002>.

MANSKI, J. M., VAN DER ZALM, E. E. J., VAN DER GOOT, A. J., & BOOM, R. M. (2008). **Influence of process parameters on formation of fibrous materials from dense calcium caseinate dispersions and fat.** Food Hydrocolloids, 22(4), 587–600. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.02.006

MARCO JLM AND FELIX CR. 2007. **Purification and characterization of a β -glucanase produced by *Trichoderma harzianum* showin biocontrol potencial.** Braz Arch Biol Techn 1: 21–29

MCCLEMENTS, DAVID JULIAN ET AL. **The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs.** Food Science, [s. l.], 2021. DOI <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12771>. Acesso em: 1 ago. 2022.

MCHUGH, T., & AVENA-BUSTILLOS, R. (2019). **How plant-based meat and seafood are processed.** Food Technology, 73(10), 83.

MEPACO, 2016A. **Therma blend TM continuous cooker.** Disponível em: www.mepaco.net/food_processing_equipment_products/mixer_blender_food_processing_machines/food_processing_machines_170_thermablend_commercial_cookers (www.mepaco.net > select 'Pro-ducts' > 'Thermal processing' > 'Thermablend')

MEPACO, 2016B. **Continuous cooker.** Disponível em: www.mepaco.net/food_processing_equipment_products/food_manufacturing_thermal_processing/industrial_continuous_cooker (www.mepaco.net > select 'Products' > 'Thermal processing' > 'Continuous cookers')

MILES, P. G.; CHANG, S. T. **Mushroom biology: concise basics and current developments.** Singapore: World Scientific, 1997. 194 p.

MIZUNO, T.; WANG . G.; ZHANG, J.; KAWAGISHI, H.; NISHITOBA, T.; LI, J. **Reishi, *Ganoderma lucidum* and *Ganoderma tsugae*: bioactive substances and medicalefects.** Food Reviews International, v. 11, n. 1, p. 151-166, 1997.

MONTERO, L. M., ESCRIBANO, M. I., DE LA PLAZA, J. L., & MERODIO, C. (1995). **Chilling temperature storage induces changes in protein patterns and protease**

activity in cherimoya fruit. Postharvest Biology and Technology, 5(3), 251–260. doi:10.1016/0925-5214(94)00022-k

MOSSEL, D.A.A., STRUIJK, C.B., 1991. **Public health implication of refrigerated pasteurized (*sous-vide*) foods.** International Journal of Food Microbiology 13, 187–206.

MUKHOPADHYAY, R.; GUHA, A. K. **A comprehensive analysis of the nutritional quality of edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* grown in deproteinized whey medium.** LWT - Food Science and Technology, v. 61, n. 2, p. 339–345, 2015.

MYCEK, M. J. et al. **Amine incorporation into insulin as catalyzed by transglutaminase.** Archives of biochemistry and biophysics, v. 84, p. 528–40, out. 1959

MYNENI, V. D.; MELINO, G.; KAARTINEN, M. T. **Transglutaminase 2-a novel inhibitor of adipogenesis.** Cell death & disease, v. 6, p. e1868, jan. 2015.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. **Extraction and analysis of phenolics in food.** Journal of Chromatography A, v.1054, p.95-111, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>.

NAGY, V.; SZAKACS, G. **Production of transglutaminase by *Streptomyces* isolates in solid-state fermentation.** Letters in Applied Microbiology, v. 47, p. 122–127, 2008

OHLSSON, T., 1994. **Minimal processing–preservation methods of the future: an overview.** Trends in Food Science and Technology 5, 341–344.

PANIZ C, GROTO D, SCHMITT GC, VALENTINI J, SCHOTT KL, POMBLUM VJ, ET AL. **Fisiopatologia da Deficiência de Vitamina B12 e seu Diagnóstico Laboratorial.** Bras patol med lab; out 2005; vol.41, n°5:32-34.

PAYNE, T. **Propriedades Básicas da Transglutaminase.** In: Ajinomoto corporation Folder. 2000.b

PHAT, C., MOON, B., & LEE, C. (2016). **Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system.** Food Chemistry, 192, 1068–1077. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.11

PIYASENA, P., MOHAREB, E., MCKELLAR, R.C., 2003. **Inactivation of microbes using ultrasound: a review.** Int. J. Food Microbiol. 87 (3), 207-216, [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00075-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00075-8)

METICULOUS RESEARCH, 2022. **Plant based Food Market Worth \$95.52 Billion by 2029.** Disponível em: <https://www.meticulousresearch.com/pressrelease/53/plant-based-food-market-2029>. Acesso em: 02 de agosto de 2022.

UNICAMP, 2005. **Propriedades e aplicações da transglutaminase microbiana em alimentos.** 2005. Publicação (Doutorado) - UNICAMP, [S. l.], 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Juliana-Macedo-3/publication/49599899_Propriedades_e_aplicacoes_da_transglutaminase_microbiana_em_alimentos/links/004635229c9224d0d1000000/Propriedades-e-aplicacoes-da-transglutaminase-microbiana-em-alimentos.pdf. Acesso em: 1 ago. 2022.

RAGKOUSI, K., AND P. SETLOW. 2004. **Transglutaminase-mediated cross-linking of GerQ in the coats of *Bacillus subtilis* spores.** J. Bacteriol. 186:5567–5575.

RAMPON, V., ROBERT, P., NICOLAS, N., & DUFOUR, E. (1999). **Protein Structure and Network Orientation in Edible Films Prepared by Spinning Process.** Journal of Food Science, 64(2), 313–316. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15890.x>

RASO, J., BARBOSA-CANOVAS, G.V., 2003. **Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques.** Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 43 (3), 265-285, <http://dx.doi.org/10.1080/10408690390826527>

RICKERT, M. et al. **Production of soluble and active microbial transglutaminase in *Escherichia coli* for site-specific antibody drug conjugation.** Protein science: a publication of the Protein Society, 20 out. 2015.

ROP, O., MLCEK, J., & JURIKOVA, T. (2009). **Beta-glucans in higher fungi and their health effects.** Nutrition Reviews, 67(11), 624–631. doi:10.1111/j.1753-4887.2009.00230.x

RUBERT, Aline et al. **Vitaminas do complexo B: uma breve revisão.** Revista Jovens Pesquisadores , [s. l.], v. 7, ed. 1, p. 30-45, 2017. DOI 0.17058/rjp.v7i1.9332. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Vitaminas-do-complexo-B%3A-uma-breve-revis%C3%A3o-Rubert-Engel/b1ecb6f4249d33ad3b22335fb33bdd8618b3e583>. Acesso em: 12 jul. 2022.

SAMARD, S., B. Y. GU, AND G. H. RYU. 2019. **Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues.** Journal of the Science of Food and Agriculture 99 (11):4922–31. doi: 10.1002/jsfa.9722.

SCHOU, M., GROSSOWICZ, N., LAJTHA, A., & WAELSCH, H. (1951). **Enzymatic Formation of Glutamohydroxamic Acid from Glutamine in Mammalian Tissue.** Nature, 167(4255), 818–819. doi:10.1038/167818a0

SCHELLEKENS, M., 1996. **New research issues in sous-vide cooking.** Trends in Food Science and Technology 7, 256–262.

SCHREUDERS, F. K. G., DEKKERS, B. L., BODNAR, I., ERNI, P., BOOM, R. M., & VAN DER GOOT, A. J. (2019A). **Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation.** Journal of Food Engineering, 261, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.022>

SCOTT, E.P., CARROAD, P.A., RUMSEY, T.R., HORN, J., BUHLERT, J., ROSE, W.W., 1981. **Energy consumption in steam blanchers.** J. Food Process Eng. 5 (2), 77-88, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4530.1981.tb00263.x>

SKINNER, M.; HUNTER, D. **Bioactives in Fruit: Health Benefits and Functional Foods.** New Delhi: John Wiley & Sons, 2013.

S. RAJARATHNAM, ZAKIA BANO & M. V. PATWARDHAN (1986). **Nutrition of the mushroom *Pleurotus flabellatus* during its growth on paddy straw substrate.** Journal of Horticultural Science, 61:2, 223-232, DOI: 10.1080/14620316.1986.11515694

STROP, P. **Versatility of microbial transglutaminase**. *Bioconjugate Chemistry*, v. 25, p. 855–862, 2014.

SUDHEEP, N.M. AND, SRIDHAR, K.R. (2014). **Nutritional composition of two wild mushrooms consumed by the tribals of the Western Ghats of India**. *Mycology* 5(2): 64–72.

SÜHNEL, JIMENA. **Uso e avaliação de transglutaminase em reestruturado de peixe obtido com aparas de tilápia** (*Oreochromis* sp). 2017. Dissertação (Pós-graduação em ciência dos alimentos) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, [S. l.], 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103193/242951.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 1 ago. 2022.

Sun, X. D., & Holley, R. A. (2011). **Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(1), 33–51. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00137.x>

SYNYTSYA, A.; MÍČKOVÁ, K.; SYNYTSYA, A.; JABLONSKÝ, I.; SPĚVÁČEK, J.; ERBAN, V.; KOVÁŘÍKOVÁ, E.; ČOPÍKOVÁ, J. **Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity**. *Carbohydrate Polymers*, v. 76, n. 4, p. 548–556, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEHRANI, Mostafa Mazaheri et al. **Application of genetic algorithm to optimize extrusion condition for soy-based meat analogue texturization**. *J Food Sci Technol*, [s. l.], 2017. DOI 10.1007/s13197-017-2524-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-017-2524-9>. Acesso em: 5 jul. 2022.

TOLDRA, F. (2017). **Lawrie’s meat science** (8th ed.). Woodhead Publishing

Tolstoguzov, V. B. (1993). **Thermoplastic extrusion-the mechanism of the formation of extrudate structure and properties**. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, 70(4), 417–424. doi:10.1007/bf02552717

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L., & HAARD, N. F. (1981). **Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables**. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(1), 49–127. doi:10.1080/10408398109527312

VALADÃO, ROMULO CARDOSO. **Produção de Transglutaminase Microbiana e Aplicação em Pão Sem Glúten**. 2014. Tese (Doutorado) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/3343/2/2014%20%20Romulo%20Cardoso%20Valad%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2022.

VIEIRA, B. D. T. N. **Determinação simultânea das vitaminas do complexo B em carne de bovino por HPLC**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: . Acesso em: 15 mar. 2017.

VILLARES, A.; MATEO-VIVARACHO, L.; GUILLAMÓN, E. **Structural features and**

healthy properties of polysaccharides occurring in mushrooms. Agriculture, v. 2, n. 4, p. 452-471, 2012.

YOKOYAMA, K., NIO, N., & KIKUCHI, Y. (2004). **Properties and applications of microbial transglutaminase.** Applied Microbiology and Biotechnology, 64(4), 447–454. doi:10.1007/s00253-003-1539-5

YOKOYAMA,K.;NIO,N.;KIKUCHI,Y. **Properties and application of microbial transglutaminase.** Appl.MicrobialBiotechnol.,v.64,p.447-454,2004.

YU, T. Y., MORTON, J. D., CLERENS, S., & DYER, J. M. (2017). **Cooking induced protein modifications in meat.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(1), 141–159. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12243>

ZAHARI, I., FERAWATI, F., HELSTAD, A., AHLSTROM, C., OSTBRING, K., RAYNER, M., & PURHAGEN, J. K. (2020). **Development of high moisture meat analogues with hemp and soy protein using extrusion cooking.** Foods, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060772>

ZHU, Y. et al. **Microbial transglutaminase – a review of its production and application in food processing.** Applied Microbiology and Biotechnology, Heidelberg, v.44, p.277- 282, 1995.

ZILHAO, R., ISTICATO, R., MARTINS, L. O., STEIL, L., VOLKER, U., RICCA, E., HENRIQUES, A. O. (2005). **Assembly and Function of a Spore Coat-Associated Transglutaminase of *Bacillus subtilis*.** Journal of Bacteriology, 187(22), 7753–7764. doi:10.1128/jb.187.22.7753-7764.2005

WANG XM, ZHANG J, WU LH, ZHAO YL, TAO L, LI JQ, WANG YZ , LIU HG. 2014. **A mini review of chemical composition and nutritional value of edible wild grown mushroom from China.** Food Chemistry 151, 279–285.

WATANABE, F. (2007). **Vitamin B12 Sources and Bioavailability.** Experimental Biology and Medicine, 232(10), 1266–1274. doi:10.3181/0703-mr-67

WILLIAMS DC, LIM MH, CHEN AO, PANGBORN RM, WHITAKER JR (1986). **Blanching of vegetables for freezing: which indicator enzyme to choose.** Food Technol 40(6):130–140