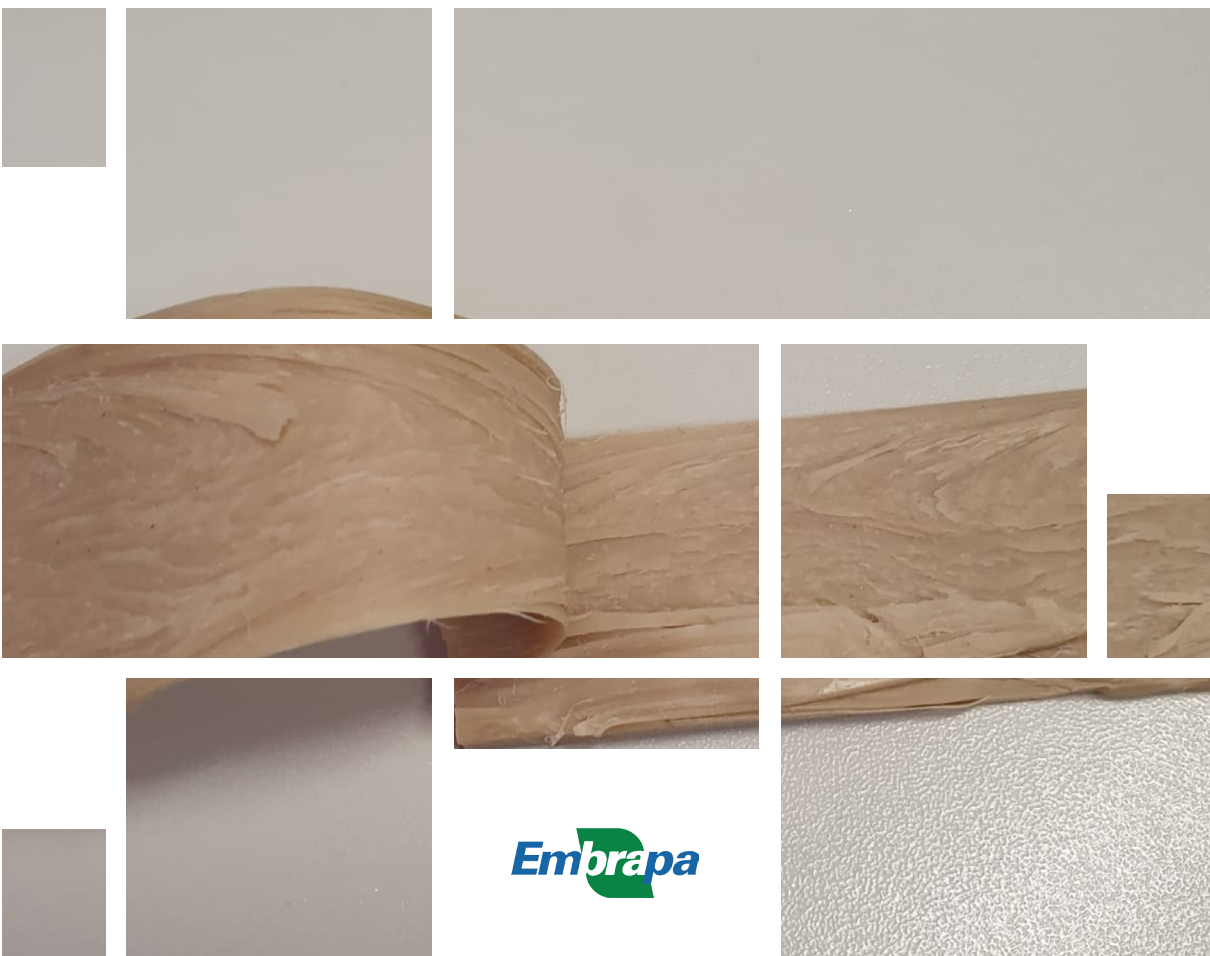


Tecnologias de Texturização de Proteínas Vegetais



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria de Alimentos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 144

Tecnologias de Texturização de Proteínas Vegetais

Melicia Cintia Galdeano

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroindústria de Alimentos
Avenida das Américas, 29.501 - Guaratiba
CEP 23.020-470, Rio de Janeiro, RJ
Fone: +55 (21) 3622-9600
Fax: +55 (21) 3622-9713
www.embrapa.br/agroindustria-de-alimentos
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações e Editoração
da Embrapa Agroindústria de Alimentos

Presidente
Karina Maria Olbrich dos Santos

Secretária-executiva
Virgínia Martins da Matta

Membros
*André Luis do Nascimento Gomes, Celma
Rivanda Machado de Araujo, Daniela De Grandi
Castro Freitas de Sá, Elizabete Alves de Almeida
Soares, Janice Ribeiro Lima, Leda Maria Fortes
Gottschalk, Marcos de Oliveira Moulin, Melicia
Cintia Galdeano e Otniel Freitas-Silva*

Supervisão editorial
Janice Ribeiro Lima

Revisão de texto
Marianna Ramos dos Anjos

Normalização bibliográfica
Celma Rivanda Machado de Araujo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
André Luis do Nascimento Gomes

Foto da capa
Melicia Cintia Galdeano

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria de Alimentos

Galdeano, Melicia Cintia.

Tecnologias de texturização de proteínas vegetais / Melicia Cintia Galdeano. -
Rio de Janeiro : Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2022.

PDF (26 p.) : il. color. (Documentos / Embrapa Agroindústria de Alimentos, ISSN
1516-8247 ; 144).

1. Tecnologia de alimento. 2. Produto de origem vegetal. 3. Textura. 4. Análogos
cárneos. 5. Anisotropia. 6. Fibrilados. I. Título. II. Embrapa Agroindústria de
Alimentos. III. Série.

CDD (23. ed.) 664.3

© Embrapa, 2022

Celma Rivanda Machado de Araujo (CRB-07/5517)

Autor

Melicia Cintia Galdeano

Farmacêutica-bioquímica, doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

Apresentação

Os análogos de produtos de origem animal, também conhecidos como “*plant based*”, são aqueles elaborados com ingredientes vegetais e destinados tanto para um público específico, como o vegetariano ou vegano, quanto para o público interessado em reduzir o consumo de proteína animal, como o consumidor *flexitariano*.

Esses produtos vêm apresentando rápido crescimento de mercado e atraindo a atenção de muitas empresas processadoras de alimentos. Um dos ingredientes-chave para a obtenção de análogos cárneos é a proteína vegetal texturizada. Ela fornece ao produto uma textura que se assemelha à da carne. Seu comportamento no produto processado está relacionado à presença de estruturas esponjosas ou fibrosas que são resultantes do tipo de processamento utilizado para a texturização.

Esta publicação apresenta as diferentes rotas tecnológicas existentes para a texturização de proteínas vegetais, suas vantagens e limitações. Espera-se que este documento auxilie pesquisadores, pós-graduandos e profissionais da área na compreensão das diferenças entre os ingredientes texturizados vegetais disponíveis no mercado, e possa, também, ajudar às empresas processadoras de alimentos no direcionamento da aplicação em produtos alimentícios.

Edna Maria Morais Oliveira

Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria de Alimentos

Sumário

Introdução.....	9
Texturização de proteínas vegetais	10
Fiação úmida.....	11
Eletrofiação	12
<i>Shear cell</i> e <i>Couette cell</i> (células de cisalhamento)	13
<i>Freeze structuring</i> (estruturção por congelamento)	14
Extrusão termoplástica	15
Extrusão com baixa umidade	15
Extrusão úmida	18
Considerações finais	21
Referências	22

Introdução

Os produtos *plant-based* (em tradução livre, à base de plantas) representam um mercado em expansão no Brasil e no mundo. São produtos que se assemelham em aparência e textura a produtos de origem animal, mas elaborados à base de vegetais (Figura 1).

O consumo de fontes proteicas vegetais, em substituição aos alimentos de origem animal, não é novidade e é amplamente difundido entre vegetarianos e veganos no mundo todo e, nos últimos anos, está sendo também impulsionado pelos consumidores *flexitarianos*, que são os indivíduos que optam em reduzir o consumo de produtos de origem animal, sem, no entanto, deixar de consumi-los. E, por não deixar de comer produtos de origem animal, são mais exigentes quanto à aparência, sabor, aroma e textura.



Foto: Kacijah Suleiman

Figura 1. Hambúrguer feito à base de proteína vegetal.

A demanda por produtos *plant-based* traz desafios de caráter tecnológico, sensorial e de ordem nutricional para o setor produtivo, sendo que a textura destes produtos, mimetizando os similares de origem animal, configura um dos principais requisitos do consumidor. Não é à toa que a proteína vegetal texturizada se tornou um ingrediente-chave para a obtenção de análogos cárneos com características que agradam ao consumidor. Hoje o mercado tem proteínas vegetais texturizadas com boas propriedades tecnológicas e funcionais, fazendo com que análogos cárneos feitos a partir destes ingredientes se aproximem em textura aos similares contendo a proteína animal.

Neste documento, será apresentada uma visão geral das principais tecnologias de texturização nas quais as proteínas vegetais podem ser usadas como material de partida para a obtenção de ingredientes/produtos com texturas que mimetizem a carne animal. Baseado no que está disponível na literatura, serão apresentados os mecanismos de ação das rotas tecnológicas, suas vantagens e limitações e as características dos ingredientes obtidos.

Texturização de proteínas vegetais

Estudos com consumidores indicam que a textura é o principal requisito na obtenção de substitutos cárneos. Uma propriedade característica da carne animal é sua anisotropia estrutural, que é a tendência de um material em exibir diferentes propriedades físicas dependendo da sua orientação ou posição. Análogos cárneos de alta qualidade devem fornecer essa anisotropia estrutural da carne animal (Dekkers et al., 2018a; Mattice; Marangoni, 2020).

O núcleo do desenvolvimento de produtos à base de plantas com texturas semelhantes à carne é a proteína. A adequação da fonte proteica para texturização depende principalmente do seu potencial econômico e da sua funcionalidade. Isolados e concentrados proteicos são os principais ingredientes utilizados para este fim. As fontes de proteína mais utilizadas para a texturização são a soja e o trigo, enquanto outras fontes como ervilha, lentilha, grão-de-bico, tremoço, arroz e amendoim também estão sendo cada vez mais utilizadas (Anjum et al., 2011; Fang et al., 2014; Grabowska et al., 2014; Osen et al., 2014; Arueya et al., 2017; Dekkers et al., 2018; Li et al., 2018; Wang et al., 2019).

As rotas de processamento para criar texturas a partir de proteínas vegetais podem ser divididas em abordagens *bottom-up* e *top-down* (Dekkers et al., 2018a). A abordagem *bottom-up* (de baixo para cima) começa com a formação de componentes estruturais a partir de componentes individuais, que são

então montados em estruturas maiores. As principais técnicas *bottom-up* em que a proteína vegetal é estruturada para a formação de um análogo cárneo são a fiação úmida e a eletrofiação. Em contrapartida, na estratégia *top-down* (de cima para baixo), produtos fibrosos anisotrópicos a partir de proteínas vegetais são criados pela aplicação de cisalhamento, sendo as técnicas de estruturação por congelamento (*freeze structuring*), tecnologia *shear cell* e extrusão termoplástica as suas principais representantes. O tipo de textura formada (estruturas esponjosas, estriadas e/ou fibrosas) depende da técnica empregada e será apresentada com mais detalhes em cada subseção.

Fiação úmida

A fiação úmida de proteínas vegetais para formar estruturas fibrosas foi descrita pela primeira vez na década de 1950. As fibras são produzidas a partir de uma solução proteica, usando um molde contendo centenas de furos ou bicos modeladores (Gallant et al., 1984; Sha; Xiong, 2020). O processo consiste em bombear a solução alcalina de proteína pelo molde em um banho de coagulação contendo ácido e sal, o que resulta na precipitação e solidificação da proteína para formar as fibrilas, isto é, as finas fibras insolúveis (Rampon et al., 1999). Uma das etapas mais importantes dessa técnica é a preparação da solução proteica em que as macromoléculas são desdobradas e desnaturadas. As fibras produzidas são neutralizadas, lavadas, centrifugadas e imersas em ligantes. Sua espessura é da ordem do tamanho dos orifícios do molde, geralmente centenas de micrômetros (Tolstoguzov, 1988, 1993).

Estudos mostraram a possibilidade de produção de fibras proteicas de grau alimentício por fiação úmida para uso como extensores cárneos a partir de soja, zeína, ervilha e fava (Gallant et al., 1984; Rampon et al., 1999). No entanto, esta técnica gera grandes fluxos de efluentes como resultado dos banhos de coagulação e lavagem. Além disso, a necessidade do uso de aditivos químicos, a dificuldade de garantir a segurança microbiológica devido ao alto teor de umidade e a complexidade da montagem de fibras simples em um produto alimentício em escala industrial também são citados como importantes barreiras dessa tecnologia (Krintiras et al., 2015). O número limitado de pesquisas sobre fiação úmida para alimentos é uma indicação de que as desvantagens do processo superam seus benefícios.

Eletrificação

A eletrificação é uma técnica na qual se aplica alta voltagem para obter fibras a partir de soluções poliméricas. Permite a produção de fibrilas muito finas (aproximadamente 100 nm), evitando o uso de calor ou solventes agressivos (Miyoshi et al., 2005; Dekkers et al., 2018a).

Para que o processo ocorra, são necessários quatro componentes principais: uma fonte de alta tensão (1-30 kV), uma agulha ou capilar de aço inoxidável de ponta cega, uma bomba de infusão e um eletrodo aterrado. A solução polimérica é empurrada através da agulha (ou capilar) que possui um potencial elétrico em relação ao eletrodo (Dekkers et al., 2018a). Na ponta da agulha ou capilar, a superfície da gota é distorcida por forças eletrostáticas em uma forma cônica conhecida como cone de Taylor. Quando a força eletrostática neutraliza a tensão superficial, o polímero carregado é ejetado da ponta do cone de Taylor. O solvente no qual os polímeros são imersos evapora durante o processo de fiação, resultando em fibrilas secas (Schiffman; Schauer, 2008; Nieuwland et al., 2014).

A solução polimérica desempenha um papel crucial na eletrificação. Os polímeros precisam ser altamente solúveis e capazes de emaranhar, enquanto a solução deve ter a condutividade, viscosidade e tensão superficial corretas. Somente nestas condições, a solução formará o cone de Taylor (Schiffman; Schauer, 2008). Esses requisitos geralmente não são atendidos pela maioria das proteínas vegetais que, uma vez que estão em seu estado nativo globular e, após a desnaturação, formam agregados insolúveis. No entanto, a zeína (que é solúvel em etanol a 70%) e a proteína isolada de amaranto podem ser eletrificadas em fibras ultrafinas (Miyoshi et al., 2005; Aceituno-Medina et al., 2013; Dekkers et al., 2018a).

As fibras de grau alimentício obtidas por eletrificação são usadas principalmente como carreadores de componentes bioativos. Recentemente, embora ainda seja um campo pouco explorado, fibras eletrificadas de proteínas vegetais de soja e milho estão sendo utilizadas para a produção de análogos cárneos (Nieuwland et al., 2014; Librán et al., 2017). Até há pouco tempo, a tecnologia permanecia em escala de laboratório, no entanto, recentemente estão sendo construídas plantas piloto e industriais de alto desempenho, o que vem aumentando o interesse pela tecnologia.

***Shear cell* e *Couette cell* (células de cisalhamento)**

A tecnologia *shear cell* foi introduzida há uma década para criar estruturas anisotrópicas em proteínas de soja e glúten (Grabowska et al., 2014) e, posteriormente, estendida para outras proteínas.

Foram desenvolvidos dispositivos de cisalhamento inspirados no projeto de reômetros nos quais o cisalhamento intensivo pode ser aplicado em um dispositivo do tipo cone-em-cone (*shear cell*) ou em um dispositivo com uma geometria de cilindro concêntrico (*couette cell*). O cone superior é estacionário, enquanto o cone inferior gira. Devido a uma combinação de cisalhamento e calor, as proteínas são alinhadas formando as estruturas fibrosas. O sistema é pressurizado, permitindo processar materiais com alta umidade sob altas temperaturas (até 150 °C) sem evaporação da umidade (Grabowska et al., 2014, 2016; Krintiras et al., 2014, 2015; Sha; Xiong, 2020).

O processo é baseado na dispersão de misturas de proteínas (20% a 40% em massa) em solução de NaCl (1% em massa). A proteína pré-hidratada é colocada na zona de cisalhamento e processada sob certas condições operacionais (temperatura entre 90 °C e 140 °C, velocidade de rotação entre 5 rpm e 50 rpm e tempo de processo entre 5 min e 20 min) com cisalhamento constante até a formação das estruturas fibrosas (Grabowska et al., 2014, 2016; Krintiras et al., 2015; Schreuders et al., 2019; Sha; Xiong, 2020).

A formação de estrutura anisotrópica induzida pela célula de cisalhamento ocorre apenas se os materiais atenderem a dois requisitos. Primeiro, o material deve consistir em pelo menos duas fases, uma vez que a formação da estrutura é baseada na existência de fases separadas. Durante o processamento, as duas fases são deformadas e alinhadas, levando à formação de zonas alinhadas e estratificadas até a obtenção do material fibroso. Segundo, as fases devem ter uma viscosidade suficientemente alta para permitir a deformação e o alinhamento após o cisalhamento e a manutenção da estrutura durante o resfriamento. A alta viscosidade favorece a formação de estruturas anisotrópicas, pois permite a transferência de tensão de cisalhamento em cada fase individual (Schreuders et al., 2019).

A tecnologia já foi testada em várias misturas de proteínas vegetais, como isolados e concentrados de soja, glúten de trigo e proteína de ervilha, combinadas com ingredientes secundários (Grabowska et al., 2014, 2016; Krintiras et al., 2014, 2015; Dekkers et al., 2018a; 2018c; Schreuders et al., 2019; Sha; Xiong, 2020). Proteínas isoladas processadas sem mistura com outros ingredientes proteicos formam apenas estruturas em camadas, sem indicação de anisotropia (Dekkers et al., 2016, 2018b), mas, quando combinada com outras proteínas, podem produzir estruturas anisotrópicas.

Isto porque, como já mencionado, o mecanismo de formação está ligado à existência de fases distintas (Krintiras et al., 2014, 2015). Por outro lado, concentrados proteicos são excelentes estruturantes, pois obedecem naturalmente a esse requisito em função de serem constituídos por proteínas e componentes secundários (como os carboidratos), que dificilmente se misturam em escala molecular (Manski et al., 2007; Grabowska et al., 2014, 2016; Dekkers et al., 2016).

As tecnologias de *shear cell* e de *couette cell* podem ser aplicadas a uma variedade de proteínas vegetais para criar estruturas anisotrópicas, no entanto, embora a escalabilidade da tecnologia *shear cell* seja limitada, o processo *couette cell* tem sido explorado como uma alternativa escalonável. O tipo de cilindro usado na tecnologia *couette cell* favorece o aumento da espessura e capacidade de produção simplesmente pelo aumento de tamanho e do comprimento dos cilindros. Além disso, a capacidade da tecnologia *couette cell* de operar em modo contínuo é muito promissora (Jones, 2016).

Freeze structuring (estruturção por congelamento)

As primeiras patentes sobre texturização por congelamento surgiram na década de 1970, no entanto, há relatos de que no Japão do século XVI a técnica já era empregada na produção de *tofu* (Lawrence; Jelen, 1982).

A técnica envolve o congelamento de uma solução proteica para gerar estrutura fibrosa (Yuliarti et al., 2020). O crescimento dos cristais de gelo (em formato de agulhas) força o material proteico em todas as direções, induzindo a separação e compactação da proteína. A remoção de calor unidirecionalmente leva ao alinhamento das agulhas de cristal de gelo. O produto congelado é desidratado para obter uma microestrutura com orientação paralela em forma de folha. Essas folhas são conectadas criando um produto coeso com estruturas anisotrópicas. A fonte de proteína (de boa solubilidade), temperatura e velocidade de congelamento afetam o tamanho das agulhas de cristal de gelo formadas e, conseqüentemente, a formação da estrutura fibrosa (Meade et al., 2005; Yuliarti et al., 2020).

Além das proteínas da soja e do glúten, a proteína da ervilha também é capaz de formar estruturas fibrosas por esta técnica. *Nuggets* vegetais feitos a partir de misturas de proteína de ervilha e trigo texturizadas por estruturação por congelamento apresentaram perfis de textura semelhantes à de um produto comercial à base de proteína animal (Yuliarti et al., 2020).

A estruturação por congelamento tem baixa eficiência energética e isso impediu a aplicação em escala comercial até agora, embora já haja algum interesse no contexto da gastronomia molecular, bem como potencial para implementação em indústrias de pequena escala, onde o investimento em outros métodos de texturização, como a extrusão termoplástica, representa um alto custo (Dekkers et al., 2018a; Yuliarti et al., 2020).

Extrusão termoplástica

A extrusão termoplástica é um processo termomecânico que tem sido utilizado no processamento de alimentos há vários anos e, desde a década de 1960, tem sido empregada para texturizar proteínas vegetais e criar texturas semelhantes às da carne animal (Harper, 1990). A extrusão é, sem dúvida, a tecnologia mais amplamente aplicada para a produção comercial de análogos cárneos.

O cozimento por extrusão é considerado um processo de alta temperatura e curto tempo (HTST). O material é exposto a uma combinação de parâmetros, incluindo calor, energia mecânica, pressão e umidade, resultando em transformações moleculares que influenciam a qualidade do produto. Durante a extrusão, a proteína sofre quatro estágios principais de mudanças conformacionais: (i) desdobramento das cadeias moleculares (desnaturação da proteína), (ii) orientação da cadeia (alinhamento das macromoléculas na direção do fluxo), (iii) agregação e (iv) reticulação (formação de rede tridimensional irreversível que mantém a forma do produto) (Camire, 1991; Bouvier; Campanella, 2014; Kinney et al., 2019).

O processo de extrusão para obtenção de ingredientes texturizados é dividido em duas categorias, dependendo da quantidade de água adicionada: (i) extrusão a seco, que ocorre em condições de baixa umidade (10% a 35%) e (ii) extrusão úmida, que ocorre em condições de alta umidade (40% a 80%) (Guyoni et al., 2022). A tecnologia de extrusão de baixa umidade foi desenvolvida antes da tecnologia de extrusão de alta umidade. Ambas as tecnologias já são aplicadas em larga escala na obtenção de produtos proteicos análogos cárneos e, por isso, serão discutidas mais detalhadamente.

Extrusão com baixa umidade

O lançamento de produtos texturizados na década de 1960 iniciou-se com a produção de proteína vegetal texturizada seca, produzida por cozimento convencional por extrusão de baixa umidade, a partir de farinha de soja desengordurada ou concentrado proteico de soja (Guy, 2001) e, posteriormente, estendida a outras proteínas.

Para obter o produto texturizado, a formulação é processada com baixa umidade usando extrusor de rosca única. No entanto, extrusores de dupla rosca também podem ser utilizados (Kinney et al., 2019). A plastificação térmica das proteínas em baixos teores de umidade (< 35%) requer altas temperaturas (> 150 °C) e alto cisalhamento. A velocidade do parafuso normalmente superior a 380 rpm é necessária dependendo da relação comprimento/diâmetro do parafuso (Zhang et al., 2019). Após serem desnaturadas no canhão, as proteínas são expandidas rapidamente na seção da matriz. A matriz é mais curta que a utilizada na tecnologia de extrusão de alta umidade e a temperatura costuma ser superior a 120 °C (Samard et al., 2019). As características do produto acabado dependem das condições do processo dentro do extrusor e dos bicos intercambiáveis do cabeçote da matriz. Após a extrusão, a proteína texturizada é seca, embalada e vendida como ingrediente acabado (Kinney et al., 2019; Samard et al., 2019).

Como mencionado anteriormente, durante a extrusão, as moléculas de proteína são inicialmente desdobradas, realinhadas e finalmente reconectadas. O processo de quebra e formação de novas interações tem sido amplamente estudado (Samard et al., 2019). As estruturas nativas das proteínas, ou seja, as configurações secundária e terciária, são estabilizadas por ligações não covalentes, de hidrogênio, iônicas, dissulfeto e não polares, bem como forças mais fracas e menos definidas. As ligações dissulfeto são as únicas ligações covalentes envolvidas na estabilização da estrutura terciária nativa da maioria das proteínas. O cisalhamento e a energia térmica dentro do extrusor levam à quebra de ligações não covalentes e dissulfeto, permitindo o desdobramento das proteínas. As novas ligações químicas são formadas principalmente na seção da matriz. No geral, as interações hidrofóbicas, ligações de hidrogênio, ligações dissulfeto e suas interações mantêm coletivamente a estrutura do extrusado proteico, e a contribuição das ligações não covalentes supera as das ligações covalentes (Chen et al., 2011; Shah, 2013).

As proteínas texturizadas produzidas por extrusão de baixa umidade têm formatos diferenciados (Figura 2) e apresentam textura macia, elástica e esponjosa e dificilmente apresentam uma orientação fibrosa (Osen; Schweiggert-Weisz, 2016; Dekkers et al., 2018a). Esses produtos requerem reidratação antes do consumo e são comumente usados como extensores cárneos (Riaz, 2005). Uma vantagem do produto é que ele pode absorver água e outros líquidos e, portanto, tende a assumir os sabores de outros ingredientes com os quais é misturado (Kinney et al., 2019).



Foto: Melicia Cintia Galdeano

Figura 2. Diferentes formatos de texturizados produzidos por extrusão seca.

Os isolados e concentrados proteicos de soja e as farinhas desengorduradas são as matérias-primas mais utilizadas para este fim. Os produtos de proteína de soja são populares devido ao seu baixo preço e a suas propriedades funcionais versáteis (Dahl; Villota, 1991; Joshi; Kumar, 2015). Além da soja, o glúten de trigo (Samard et al., 2019), a proteína de ervilha (Alonso et al., 2000; Beck et al., 2017) e o grão-de-bico (Anjum et al., 2011) também podem ser texturizados sob condições de baixa umidade.

As condições de processamento utilizadas no cozimento por extrusão com baixa umidade melhoram a qualidade nutricional das proteínas, pois inativam parcial ou totalmente vários compostos antinutricionais. O processamento também reduz os níveis de açúcares causadores de flatulência (oligossacarídeos), remove o sabor amargo das leguminosas e melhora a digestibilidade das proteínas (Höglund et al., 2018). No entanto, o processo pode favorecer a reação de *Maillard* levando à perda de aminoácidos, em especial da lisina (Ilo; Berghofer, 2003; Corredig et al., 2020).

A proteína vegetal texturizada obtida por extrusão de baixa umidade é o principal produto disponível no mercado atualmente, apresentando uma vida de prateleira longa. Sua qualidade melhorou muito nos últimos 40 anos, porém, ainda não consegue mimetizar a aparência e a textura da carne de músculo fibroso (Osen et al., 2014; Joshi; Kumar, 2015).

Extrusão úmida

A extrusão úmida é uma tecnologia relativamente nova – surgida nos anos 80 – que leva a novas possibilidades para texturizar proteínas vegetais criando substitutos cárneos de alta qualidade. O produto obtido é caracterizado por estruturas anisotrópicas com textura fibrosa e estriada que proporciona uma sensação na boca semelhante à da carne. O produto texturizado, também chamado de fibrilado, pode ser consumido diretamente ou triturado para se tornar ingrediente em produtos processados (Figura 3) (Wild et al., 2014; Wild, 2016).

A extrusão úmida envolve principalmente extrusores de rosca dupla, pois possuem propriedades de transporte superiores em comparação aos extrusores de rosca simples. Os extrusores devem ter alta relação comprimento/diâmetro (entre 25 e 40) e permitir um tempo mínimo de residência de 150 segundos no canhão (Bouvier; Campanella, 2014; Sha; Xiong, 2020). Ao contrário da proteína vegetal texturizada obtida por extrusão com baixa umidade, os produtos obtidos por extrusão úmida não são expandidos. Isso é conseguido com o uso de uma longa matriz de resfriamento para reduzir a temperatura da massa e evitar que a água evapore à pressão ambiente (Samard et al., 2019).

Foto: Melicia Cintia Galdeano

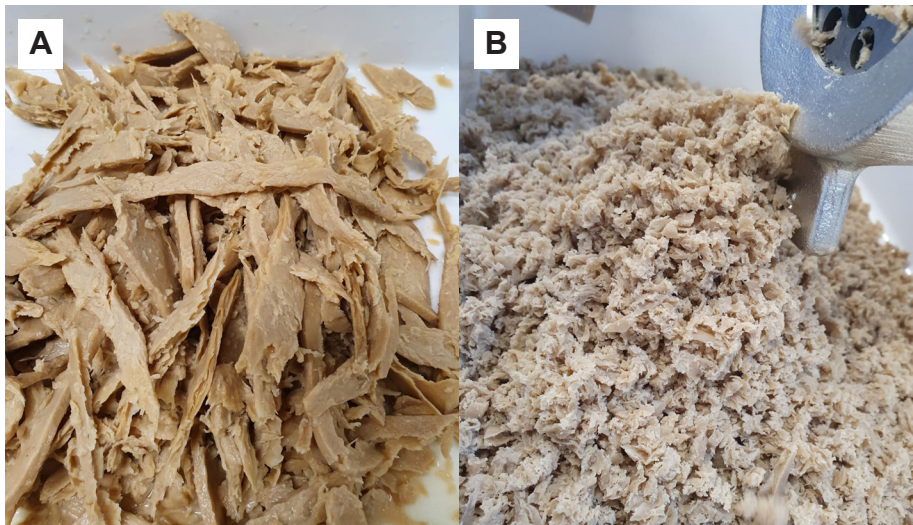


Figura 3. Texturizados de diferentes formatos obtidos por extrusão úmida. (A) desfiado, (B) moído.

Ingredientes com teores de proteína entre 50% e 95% (matéria seca) são as principais matérias-primas utilizadas no processo de extrusão com alta umidade. A farinha proteica e a água (em níveis de até 70% de umidade) entram no extrusor e a massa é aquecida a temperaturas entre 130 °C e 180 °C, movendo-se em direção à matriz de resfriamento. Na matriz, ocorre o alinhamento das proteínas na direção do fluxo (Lee et al., 2005). Essa combinação de aquecimento dentro do extrusor (plastificação de proteínas) e posterior resfriamento na matriz (solidificação de proteínas) resulta na formação de estruturas fibrosas anisotrópicas (Ilo; Berghofer, 2003; Dekkers et al., 2018a).

O teor de umidade é o mais importante fator para as características sensoriais do fibrilado formado. Produtos fibrosos são produzidos apenas com teores de umidade acima de 40% a 50% (Lin et al., 2002; Sha; Xiong, 2020). Em geral, com um teor de umidade próximo a 35%, nenhuma estrutura fibrosa é criada. Com um teor de umidade de 40%, a estrutura fibrosa começa a se formar, embora ainda incipiente e com textura seca e dura. Com um teor de umidade próximo a 50%, as interações proteína-proteína e proteína-água se tornam mais numerosas. Apenas com um teor de umidade em torno de 60% a 65% a proteína exibe uma orientação de fibra bem definida (Liu; Hsieh, 2008; Zhang et al., 2019). A estrutura fibrosa não é observada em produtos extrusados com umidade próxima a 70% e processados sob baixa temperatura (138 °C), pois a pressão da matriz e a temperatura do produto tornam-se muito baixas para a texturização (Lin et al., 2002).

A temperatura de cozimento também desempenha um papel importante na formação da estrutura fibrosa. A temperatura necessária para a texturização está na mesma faixa da temperatura de desnaturação das proteínas, o que faz com que a mistura proteína-água se plastifique dentro do extrusor. A estrutura fibrosa só é formada quando a temperatura é superior a 130 °C. Abaixo dessa temperatura, os produtos apresentam textura macia, sem estruturas fibrosas ou estriadas. Isso pode ser devido à fusão incompleta e ao desdobramento parcial das macromoléculas no extrusor. À medida que a temperatura aumenta, o grau de texturização aumenta e os extrusados passam a apresentar estruturas multicamadas fibrosas (Osen, 2014; Jones, 2016). No entanto, em temperaturas acima de 150 °C, as ligações dissulfeto recém-formadas podem ser rompidas, o que pode causar degradação da cadeia molecular da proteína e diminuir o grau de texturização. Pequenos buracos na superfície e escurecimento do produto também podem ser observados. Se a temperatura ultrapassar 160 °C, o extrusor fica instável e o extrusado apresenta dificuldade de estruturação (Liu; Hsieh, 2008; Zhang et al., 2019). No entanto, a melhor temperatura para texturização e/ou a faixa de temperatura para que ocorra a texturização da proteína dependem da matéria-prima e da configuração do equipamento.

Em relação à rotação das roscas, embora a literatura mostre que a alta rotação do parafuso resulta em menor grau de texturização, não há consenso sobre o que é baixo ou alto valor, pois depende da matéria-prima que está sendo texturizada e da configuração do equipamento. Enquanto alguns estudos relataram que a velocidade da rosca deve ser mantida entre 80 rpm e 100 rpm para um grau adequado de texturização, outros mostraram que a velocidade da rosca de 350 rpm resultou em boa texturização da proteína vegetal (Zhang et al., 2019).

Para obtenção de produtos com estruturas anisotrópicas bem definidas, a matriz de resfriamento é o componente essencial, pois permite o resfriamento da proteína, criando as estruturas novas. Na saída da matriz, o extrusado solidificado é moldado de acordo com a sua geometria. O produto obtido pela extrusão úmida não requer reidratação prévia para o consumo, pois não há perda de umidade durante o processamento (devido ao resfriamento dentro da matriz) (Lee et al., 2005).

As mudanças conformacionais da proteína que ocorrem no interior do extrusor são complexas e envolvem alteração de interações covalentes e não covalentes (Fischer, 2004). Como mencionado anteriormente, as forças que estabilizam as estruturas terciárias e quaternárias das proteínas nativas são enfraquecidas durante a extrusão. As proteínas se desdobram e se alinham com o fluxo de material em direção à matriz e novas ligações químicas são formadas (Camire, 1991). Similarmente ao que acontece na extrusão com baixa umidade, os pesquisadores atribuem às ligações dissulfeto, interações hidrofóbicas não específicas, eletrostáticas e interações de *van der Waals* como as principais responsáveis pela texturização e estabilização da rede tridimensional formada na extrusão úmida (Lee et al., 2005; Liu; Hsieh, 2007, 2008; Chen et al., 2011; Osen, 2014, 2015).

Os primeiros estudos sobre extrusão úmida foram limitados às proteínas de soja e glúten (Chen et al., 2010a, 2010b; Liu; Hsieh, 2007, 2008; Macdonald et al., 2009; Fang et al., 2014; Pietsch et al., 2019a, 2019b; Samard et al., 2019). Atualmente outras fontes proteicas estão sendo testadas com sucesso, como a ervilha (Osen et al., 2014; Jones, 2016), o amendoim (Wang et al., 2019) e o feijão (Arueya et al., 2017). Independentemente da cultura agrícola escolhida, os concentrados ou isolados proteicos são os principais ingredientes das formulações de texturização com alta umidade (Wild, 2016).

Similarmente à extrusão convencional de baixa umidade, a água e a baixa temperatura alcançada durante a extrusão úmida têm um efeito protetor sobre os aminoácidos, alguns nutrientes e substâncias bioativas (Lin et al., 2002; Macdonald et al., 2009).

O produto obtido pelo processo úmido possui alto conteúdo de água (>50%) e valores de atividade de água próximos a um, semelhante à carne. Embora o processo de extrusão tenha efeito bactericida, pode ocorrer recontaminação pós-extrusão. As condições de manuseio e armazenamento são semelhantes às dos produtos cárneos. O produto congelado pode ter uma vida útil que varia de 6 a 18 meses (Liu; Hsieh, 2008).

A alta similaridade alcançada pelos análogos de carne obtidos pela tecnologia de extrusão úmida quando comparada com a carne animal aumenta a expectativa de maior aceitação do consumidor e pode ajudar a desacelerar o consumo de proteína animal em direção a um fornecimento de proteína mais sustentável com base em proteínas vegetais. No entanto, atualmente, poucas empresas estão produzindo proteína texturizada úmida, o que pode estar relacionado ao alto custo do equipamento.

As tecnologias de extrusão a seco e úmida possuem diferentes requisitos de processamento que são decisivos para a qualidade dos produtos. No entanto, a escolha de uma ou outra técnica depende de fatores que incluem recursos de infraestrutura, preço do produto acabado e nível de exigência do cliente.

Considerações finais

Apesar de sua crescente popularidade, infelizmente, os análogos cárneos disponíveis comercialmente ainda não atendem a todas as exigências dos consumidores ou são muito caros. Inovações em tecnologias de processamento e formulações podem contribuir para solucionar desafios tecnológicos e ampliar a oferta de produtos e, conseqüentemente, reduzir seu custo. As estratégias *bottom-up* têm o potencial de imitar a carne mais de perto, enquanto as estratégias *top-down* são mais robustas, escalonáveis e têm melhor eficiência dos recursos utilizados. Ingrediente e tipo de equipamento utilizado, qualidade do produto, robustez do processo, escalabilidade e impacto ambiental são os principais parâmetros para comparar os pontos fortes e fracos de cada técnica.

Referências

- ACEITUNO-MEDINA, M.; LOPEZ-RUBIO, A.; MENDOZA, S.; LAGARON, M. Development of novel ultrathin structures based in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) protein isolate through electrospinning. **Food hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p.289-298, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.009>.
- AKDOGAN, H. High moisture food extrusion. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 34, n. 3, p.195-207, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00256.x>.
- ALONSO, R.; ORÚE, E.; ZABALZA, M. J.; GRANT, G.; MARZO, F. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 3, p.397-403, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200002\)80:3<397::AID-JSFA542>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200002)80:3<397::AID-JSFA542>3.0.CO;2-3).
- ANJUM, F. M.; NAEEM, A.; KHAN, M. I.; NADEEM, M.; RAI, M. A. Development of texturized vegetable protein using indigenous sources. **Pakistan Journal of Food Sciences**, v. 21, n. 1/4, p.33-44, 2011. https://kipdf.com/development-of-texturized-vegetable-protein-using-indigenous-sources_5adf62f77f8b9a10278b4618.html. Acesso em: 26 nov. 2020.
- ARUEYA, G. L.; OWOSEN, B. S.; OLATOYE, K. K. Development of texturized vegetable protein from lima bean (*Phaseolus lunatus*) and african oil bean seed [*Pentaclethra crophylla*] (Benth): optimization approach. **Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology**, v. 21, n. 1, p.61-68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1515/auaft-2017-0007>.
- BECK, S. M.; KNOERZER, K.; ARCOT, J. Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate' s expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). **Journal of Food Engineering**, v. 214, p.166-174, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.037>.
- BOUVIER, J.-M.; CAMPANELLA, O. H. **Extrusion processing technology: food and non-food biomaterials**. Chichester: Wiley, 2014. 536 p. *E-book*.
- CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 68, n. 3, p. 200-205, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02657770>.
- CHEN, F. L.; WEI, W. M.; ZHANG, B. Characterization of water state and distribution in textured soybean protein using DSC and NMR. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 3, p. 522-526, 2010a. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.040>.
- CHEN, F. L.; WEI, W. M.; ZHANG, B.; OJOKOH, A. O. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 2, p. 208-213, 2010b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.014>.
- CHEN, F. L.; WEI, Y. M.; ZHANG, B. Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 957-962, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.008>.
- CORREDIG, M.; YOUNG, N.; DALSGAARD, T. K. Food proteins: processing solutions and challenges. **Current Opinion in Food Science**, v. 35, p. 49-53, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.010>.
- DAHL, S R; VILLOTA, R. Twin-screw extrusion texturization of acid and alkali denatured soy proteins. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 4, p. 1002-1007, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb14627.x>.

- DEKKERS, B. L.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A.-J. Structuring processes for meat analogues. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 25-36, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>.
- DEKKERS, B. L.; EMIN, M. A.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A.-J. The phase properties of soy protein and wheat gluten in a blend for fibrous structure formation. **Food Hydrocolloids**, v. 79, p. 273-281, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.033>.
- DEKKERS, B. L.; HAMOEN, R.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A. -J. Understanding fiber formation in a concentrated soy protein isolate - Pectin blend. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 84-92, 2018c. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.014>.
- DEKKERS, B. L.; NIKIFORIDIS, C. V.; VAN DER GOOT, A.-J. Shear-induced fibrous structure formation from a pectin/SPI blend. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 36, p. 193-200, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.003>.
- FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 32-38, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.002>.
- FISCHER, T. Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour. **Eur. Food Research Technology**, v. 218, p. 128-132, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0810-4>.
- GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; CULIOLI, J. Ultrastructural aspects of spun pea and fababean proteins. **Food Microstructure**, v. 3, p. 175-183, 1984.
- GRABOWSKA, K. J.; ZHU, S.; DEKKERS, B. L.; DE RUIJTER, N. C. A.; GIETELING, J.; VAN DER GOOT, A.-J.; Shear-induced structuring as a tool to make anisotropic materials using soy protein concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 77-86, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.010>.
- GRABOWSKA, K. J.; TEKIDOU, R.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A.-J. Shear structuring as a new method to make anisotropic structures from soy-gluten blends. **Food Research International**, v. 64, p. 743-751, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.010>.
- GUY, R. **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge: Elsevier Science, 2001. (Woodhead publishing Food Science). *E-book*.
- GUYONY, V.; FAYOLLE, F.; JURY, V. High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. **Food Reviews International**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/087559129.2021.2023816>.
- HARPER, J. M. Extrusion of Foods. In: SCHWARTZBERG, H. G.; RAO, M. A. (ed.). **Biotechnology and Food Process Engineering**. New York: Marcell Dekker, 1990. (IFT Basic Symposium Series). p. 295-308.
- HÖGLUND, E.; ELIASSON, L.; OLIVEIRA, G.; ALMLI, V. L.; SOZER, N.; ALMINGER, M. Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 92, p. 422-428, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>.
- HOOD-NIEFER, S. D.; TYLER, R. T. Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 659-663, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.033>.
- HUANG, H. C.; HAMMOND, E. G.; REITMEIR, C. A.; MYERS, D. J. Properties of fibers produced from soy protein isolate by extrusion and wet-spinning. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 72, n. 12, p. 1453-1460, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02577837>.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of lysine and other amino acids loss during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 2, p. 496-502, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05701.x>.

JONES, O. G. Recent advances in the functionality of non-animal-sourced proteins contributing to their use in meat analogs. **Current Opinion in Food Science**, v. 7, p. 7-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.002>.

JOSHI, V. K.; KUMAR, S. Meat analogues: Plant based alternatives to meat products- A review. **International Journal of Food and Fermentation Technology**, v. 5, n. 2, p.107-119, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00001.5>.

KINNEY, M. J.; WESTON, Z.; BAUMAN, J. D. **Plant-Based Meat Manufacturing by Extrusion the Good Food Institute**. 2019. 18 p. DOI: https://www.gfi.org/images/uploads/2019/11/Plant-Based-Meat-Manufacturing-Guide-_GFI.pdf.

KRINTIRAS, G. A.; GÖBEL, J.; BOUWMAN, W. G.; VAN DER GOOT, A.-J.; STEFANIDIS, G. D. On characterization of anisotropic plant protein structures. **Food and Function**, v. 5, n. 12, p. 3233-3240, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4FO00537F>.

KRINTIRAS, G. A.; GÖBEL, J.; VAN DER GOOT, A.-J.; STEFANIDIS, G. D. Production of structured soy-based meat analogues using simple shear and heat in a Couette Cell. **Journal of Food Engineering**, v.160, p.34-41, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.015>.

LAWRENCE, R. A.; JELEN, P. Freeze-induced fibre formation in protein extracts from residues of mechanically separated poultry. **Food Structure**, v. 1, n. 1, p. 91-97, 1982. DOI: <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure/vol1/iss1/10>.

LEE, G.; HUFF, H.; HSIEH, F. Overall heat transfer coefficient between cooling die and extruded product. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 4, p. 1461-1469, 2005. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.19171>.

LI, T.; GUO, X.-N.; ZHU, K.-X.; ZHOU, H.-M. Effects of alkali on protein polymerization and textural characteristics of textured wheat protein. **Food Chemistry**, v. 239, p. 579-587, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.155>.

LIBRÁN, C. M.; CASTRO, S.; LAGARON, J. M. Encapsulation by electrospray coating atomization of probiotic strains. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 39, p. 216-222, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.12.013>.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F.-H. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1066-1072, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09454.x>

LIU, K.-S.; HSIEH, F.-H. Protein-protein interactions during high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 8, p. 2681-2687, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073343q>.

LIU, K.-S.; HSIEH, F.-H. Protein-protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 84, n. 8, p.741-748, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1095-8>.

MA, X.; GU, B.; RYU, G. Optimization of extrusion variables for improving the qualities of textured vegetable protein with green tea using response surface methodology. **Food Engineering Progress**, v. 22, n. 1, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13050/foodengprog.2018.22.1.1>.

- MACDONALD, R. S.; PRZYBYSZEWSKI, J.; HSIEH, F.-H. Soy protein isolate extruded with high moisture retains high nutritional quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 9, p. 3550-3555, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf803435x>.
- MACKIE, I. M.; THOMSON, B. W. The preparation and assessment of spun fibres from fish proteins using a wet spinning process. **International Journal of Food Science & Technology**, v.17, n. 4, p.483-498, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb00204.x>
- MANSKI, J. M; GOOT, A. J. V. D.; BOOM, R. M. Advances in structure formation of anisotropic protein-rich foods through novel processing concepts. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. 546-557, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.002>.
- MATTICE, K. D.; MARANGONI, A. G. Comparing methods to produce fibrous material from zein. **Food Research International**, v.128, p.108804, 2020. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108804>.
- MEADE, S. J; REID, E. A.; GERRARD, J. A. The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 3, p. 904-922, 2005.
- MIYOSHI, T.; TOYOHARA, K.; MINEMATSU, H. Preparation of ultrafine fibrous zein membranes via electrospinning. **Polymer International**, v. 54, n. 8, p. 1187-1190, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/pi.1829>.
- NIEUWLAND, M.; GEERDINK,P.; BRIER, P.; VAN DEN EIJNDEN, P.; HENKET, J. T. M. M.; LANGELAAN, M. L. P.; STROEKS, N.; VAN DEVENTER, H. C.; MARTIN, A. H.. Reprint of "Food-grade electrospinning of proteins". **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 24, p. 138-144, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.07.006>.
- OSEN, R.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U. **High-Moisture Extrusion: Meat Analogues**. In: REFERENCE Module in Food Science. Elsevier, 2016. p. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03099-7>.
- OSEN, R.; TOELSTEDE, S.; EISNER, P.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U. Effect of high moisture extrusion cooking on protein-protein interactions of pea (*Pisum sativum L.*) protein isolates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 6, p.1390-1396, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12783>.
- OSEN, R.; TOELSTEDE, S.; WILDE, F.; EISNER, P.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U. High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. **Journal of Food Engineering**, v. 127, p. 67-74, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.023>.
- PIETSCH, V. L.; BÜHLER, J. M.; KARBSTEIN, H. P.; EMIN, M. A. High moisture extrusion of soy protein concentrate: Influence of thermomechanical treatment on protein-protein interactions and rheological properties. **Journal of Food Engineering**, v. 251, p. 11-18, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.001>.
- PIETSCH, V. L.; WERNER, R.; KARBSTEIN, H. P.; EMIN, M. A. High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 259, p. 3-11, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.006>.
- RAMPON, V.; ROBERT, P.; NICOLAS, N.; DUFOUR, E. Protein structure and network orientation in edible films prepared by spinning process. **Journal of Food Science**, v. 64, n. 2, p.313-316, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15890.x> .
- RIAZ, M. N. **Soy Applications in Food**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 204 p. *E-book*.

SAMARD, S.; GU, B.-Y.; RYU, G.-H. 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**, v. 99, n. 11, p. 4922-4931, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9722>.

SCHIFFMAN, J. D.; SCHAUER, C. L. A review: electrospinning of biopolymer nanofibers and their applications. **Polymer Reviews**, v. 48, n. 2, p. 317-352, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583720802022182>.

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

SHA, L.; XIONG, Y. L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. **Trends in Food Science and Technology**, v. 102, p. 51-61, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>.

SHAH, A. A. **The effect of extrusion conditions on aggregation of peanut proteins**. 2013. 161 f. Tese (Mestrado em Ciências) – University of Georgia, 2013. Disponível em: https://getd.libs.uga.edu/pdfs/shah_abhay_a_200312_ms.pdf. Acesso em: 26 nov. 2020.

TOLSTOGUZOV, V. B. Creation of fibrous structures by spinneretless spinning. *In*: BLANSHARD, J. M. V.; MITCHELL, J. R. (org.). **Food Structure**. Butterworth-Heinemann, 1988. p. 181-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-02950-6.50015-7>.

TOLSTOGUZOV, V. B. Thermoplastic extrusion—the mechanism of the formation of extrudate structure and properties. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 70, n. 4, p. 417-424, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02552717>.

VAN LOON, S.; FRANSAER, J.; CLASEN, C.; VERMANT, J. String formation in sheared suspensions in rheologically complex media: The essential role of shear thinning. **Journal of Rheology**, v. 58, n. 1, p. 237-254, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1122/1.4853455>.

WANG, Q.; LIU, L.; ZHANG, L.; ZHU, S.; LIU, H.; SHI, A.; HU, H. **High-moisture texturized peanut protein and a preparation method thereof**. Depositante: Institute of Food Science and Technology; Chinese Academy of Agricultural Sciences. US20180360085A1, Deposito: 15 jun. 2017. Concessão: 13 ago. 2019. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/060195231/publication/US2018360085A1?q=pn%3DUS2018360085A1>. Acesso em: 26 nov. 2020.

WILD, F. **Manufacture of Meat Analogues through High Moisture Extrusion**. Elsevier, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03281-9>.

WILD, F.; CZERNY, M.; JANSSEN, A. M.; KOLE, A. P. W.; ZUNABOVIC, M.; DOMING, K. J. The evolution of a plant-based alternative to meat: From niche markets to widely accepted meat alternatives. **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 25, n. 1, p. 45-49, 2014. DOI: https://www.teknoscienze.com/tks_article/the-evolution-of-a-plant-based-alternative-to-meatfrom-niche-markets-to-widely-accepted-meat-alternatives/.

YULIARTI, O.; KIAT KOVIS, T. J.; YI, N. J. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. **Journal of Food Engineering**, v. 288, 110138, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110138>.

ZHANG, J.; LIU, Li; LIU, H.; YOON, A.; RIZVI, S. S. H.; WANG, Q. Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 20, p. 3267-3280, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>.



Agroindústria de Alimentos