

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

FÁBIO ZÁRATE BIANCONI

**ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE EXTRAÇÃO DA
PROTEÍNA DE SOJA PARA A ELETROFIAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

FÁBIO ZÁRATE BIANCONI

**ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE EXTRAÇÃO DA
PROTEÍNA DE SOJA PARA A ELETROFIAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais

Orientadora: Profa. Dra. Joice Erica Motezuki
Co-orientadora: Profa. Dra. Elisângela Corradini

LONDRINA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

FÁBIO ZÁRATE BIANCONI

ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DA EXTRAÇÃO DA PROTEÍNA DE SOJA PARA ELETROFIAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 07 de maio de 2021 como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fabiano Moreno Peres
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

Prof^a. Dr^a Délia do Carmo Vieira
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

Prof^a. Dr^a. Joice Erica Motezuki
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

Prof^a. Dr^a. Silvia Midori Higa
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)
Coordenadora do Curso de Engenharia de Materiais

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos seres de luz que me mantiveram firme, amparado espiritualmente e otimista durante essa caminhada.

Agradeço em especial aos meus pais que com muito esforço me mantiveram em Londrina para concluir minha graduação, sempre acreditando em um futuro melhor para mim.

Agradeço a minha avó dona Fidela que sempre torce por mim, pela minha felicidade e meu sucesso, e agradeço a todos os meus familiares por todo apoio e carinho. Agradeço aos meus amigos, Mônica que esteve sempre ao meu lado nessa minha aventura por Londrina, aos amigos que fiz ao longo do curso e me ajudaram de diversas formas a chegar até aqui, e agradeço ao meu companheiro Bruno, por me manter motivado e firme emocionalmente durante essa etapa tão importante da minha vida acadêmica.

Por fim, agradeço aos professores da UTFPR pelo conhecimento adquirido que levarei comigo para sempre, a minha co-orientadora Prof^a. Dr^a Elisângela Corradini pelo auxílio dado durante o curto período me orientando, e a minha orientadora Prof^a. Dr^a Joice Erica Motezuki, pela sua paciência, pelas palavras de conforto e por acreditar que sou capaz.

RESUMO

BIANCONI, F. **Estudo preliminar da viabilidade de extração da proteína da soja para a eletrofiação**. 2021. 48 f. Exame de qualificação de conclusão de curso – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

A soja é considerada a oleaginosa de maior competitividade no mercado agroindustrial do mundo, e o Brasil está entre os maiores produtores desse grão. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma discussão sobre os estudos mais recentes que apontam para uma aplicação mais nobre da proteína da soja como, regeneração de tecidos epiteliais, curativos para feridas e mantas para encapsular medicamentos, que são de grande relevância no âmbito da biomedicina, visto que esta apresenta características de biodegradabilidade e biocompatibilidade. Foi constatado que temperaturas na faixa dos 60°C em torno de 20 minutos houve um melhor rendimento e eficiência do processo de extração, sem perda do conteúdo proteico causado pela desnaturação em temperaturas acima dos 80°C. O aumento da concentração de sal demonstrou aumentar a força iônica da solução aquosa, correlacionada com a insolubilidade da proteína de soja no ponto isoelétrico, resultando na precipitação do isolado de proteína de soja. Para o processamento por eletrofiação, maiores concentrações do isolado de proteína de soja misturadas ao PEO foi observado a formação de uma solução estável, com uma melhora acentuada nas propriedades mecânicas das fibras. PU e PVA, também apresentaram boas vantagens nas misturas com isolado de proteína de soja.

Palavras-chave: Proteína da soja; Processo de extração; Eletrofiação; Estudo teórico

ABSTRACT

BIANCONI, F. **Preliminary study of the viability of soybean protein extraction for electrospinning.** 2021. 48 f. Qualification examination of course completion - Department of Materials Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2021.

Soybeans are considered the most competitive oilseed in the world's agro-industrial market, and Brazil is among the largest producers of this grain. The present work aims to present a discussion on the most recent studies that point to a more noble application of soy protein, such as regeneration of epithelial tissues, wound dressings and blankets to encapsulate medicines, which are of great relevance in the scope of medicine, since it has characteristics of biodegradability and biocompatibility. It was found that temperatures around 60 ° C for 20-minute periods had a better yield and efficiency in the extraction process, without loss of protein content caused by denaturation at temperatures above 80 ° C. The increase in salt concentration has been shown to increase the ionic strength of the aqueous solution, correlated with the insolubility of soy protein at the isoelectric point, resulting in the precipitation of the soy protein isolate. For electrospinning processing, higher concentrations of soy protein isolate mixed with PEO, the formation of a stable solution was observed, with a marked improvement in the mechanical properties of the fibers. PU and PVA, also showed good advantages in mixtures with soy protein isolate.

Key words: Soy protein; Extraction process; Electrospinning, Theoretical study

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS COM BASE NA SUA ORIGEM	12
FIGURA 2- CRESCIMENTO ANUAL DA PRODUÇÃO DE GRÃOS NO BRASIL.	13
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DA PROTEÍNA	15
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESTRUTURAL TERCIÁRIA E QUATERNÁRIA DA PROTEÍNA.....	16
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO SOJA ...	18
FIGURA 6– ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EQUIPAMENTO DE ELETROFIAÇÃO	19
FIGURA 7- CURVA DE SOLUBILIDADE PROTEICA EM FUNÇÃO DO PH DA PS (A),DO CASEINATO DE SÓDIO (B) E DA PROTEÍNA DO SORO DO LEITE(C).....	23
FIGURA 8- FLUXOGRAMA TÍPICO DA ETAPA DE EXTRAÇÃO DA PROTEÍNA DA SOJA	24
FIGURA 9 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES VALORES DE PH NA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA (WHC).	30
FIGURA 10 - PERFIL DE SOLUBILIDADE E HIDROFOBICIDADE DA SUPERFÍCIE DA IPS EM DIFERENTES FORÇAS IÔNICAS.....	32
FIGURA 11 - FIBRAS ELETROFIADAS SEM E COM TRATAMENTO ALCALINO E ADIÇÃO DE SURFACTANTE ANTERIOR A ELETROFIAÇÃO. QUATRO CONDIÇÕES DISTINTAS FORAM AVALIADAS, SEM ADIÇÃO DE NAOH PH 7 (A), PH 9 (B), PH 12 (C), PH 12 COM ADIÇÃO DE SURFACTANTE (D).	36
FIGURA 12 - VISCOSIDADE DE TRÊS FORMULAÇÕES DE IPS/PEO EM DIFERENTES TAXAS DE CISLHAMENTO. AS MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA MOSTRAM QUE A QUANTIDADE DE GRÂNULOS AUMENTOU QUANDO A VISCOSIDADE DIMINUIU: (A) 6; (B) 4; (C) 5. FORMULAÇÃO DE ACORDO COM A TABELA 4.	37
FIGURA 13– INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES VALORES DE PH NA VISCOSIDADE DA SOLUÇÃO POLIMÉRICA DE IPS/PVA (50:50).....	38
FIGURA 14– CURVA TENSÃO DEFORMAÇÃO DE UMA FIBRA CONTENDO 12% IPS/ 3% PEO..	39
FIGURA 15 - CURVA DE CARGA (N) VS ALONGAMENTO (MM) DA FIBRA DE IPS/PVA EM DIFERENTES FAIXAS DE PH E CONCENTRAÇÃO DE IPS PARA UMA SOLUÇÃO 100%.....	40
FIGURA 16- CURVA TENSÃO- DEFORMAÇÃO DE FIBRAS DE PU PURA (A), IPS/PU (B), ISP/PU/ ZNO (C) E IPS/PU/ CIPHCL (D).	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PARÂMETROS DO MÉTODO DE ELETROFIAÇÃO QUE AFETAM A FABRICAÇÃO DAS FIBRAS.....	20
TABELA 2 - RENDIMENTO DAS AMOSTRAS DE IPS E SÓLIDOS, EXTRAÍDAS EM TRÊS TEMPERATURAS DISTINTAS POR 30 MINUTOS.	26
TABELA 3 - RENDIMENTO DAS AMOSTRAS DE IPS ALTERNANDO TEMPO E TEMPERATURA.	27
TABELA 4 - TEOR DE PROTEÍNA ISOLADA PRECIPITADA EM VALORES DE PH PRÓXIMO AO PI.	29
TABELA 5- VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE IPS/PEO E SURFACTANTE EM % (P/P) NAS FORMULAÇÕES ELETROFIADAS.	34
TABELA 6 – DIFERENTES PROPORÇÕES DE IPS/PEO COM VARIAÇÃO DO PESO MOLECULAR DE PEO E OS EFEITOS NAS CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS ELETROFIADAS	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização	10
1.2 Objetivo Geral	11
1.3. Objetivos específicos	11
1.4. Justificativa	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 BIOPOLÍMEROS	12
2.2 GRÃOS DE SOJA	13
2.3 PROTEÍNA DE SOJA	14
2.3.1 Estrutura Química da Proteína	15
2.3.2 Propriedades e Aplicações	17
2.4 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA E DOS DERIVADOS DA PS...	18
2.5 ELETROFIAÇÃO	19
2.5.1 Parâmetros do Processo de Eletrofiação	20
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 EXTRAÇÃO DA IPS POR ACIDIFICAÇÃO	23
4.2 FATORES QUE AFETAM A SOLUBILIDADE DA PROTEÍNA	25
4.2.1 Influência da Temperatura	25
4.2.2 Influência do pH	28
4.2.3 Influência da Força Iônica	31
4.3 ELETROFIAÇÃO DA PROTEÍNA DE SOJA	33
4.3.1 Relação da razão polímero/IPS na capacidade de eletrofiação	34
4.3.2 Viscosidade e Morfologia das fibras	36
4.3.3 Propriedades Mecânicas das Fibras	38
5 COMO ELABORAR UM TRABALHO EXPERIMENTAL	42
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A soja é a principal cultura do agronegócio no Brasil, com uma área significativamente superior aos demais grãos, sendo o Paraná o segundo maior produtor do grão com um patamar de crescimento constante. As cultivares de soja normalmente são destinadas para indústrias de extração de óleo, e os co-produtos são direcionados para fabricação de uma variedade de produtos alimentícios e para indústrias químicas (SILVA, 2014).

O elevado conteúdo proteico da soja, cerca de 40% de proteína presente no grão e seu baixo custo comparado com a alta produção, justifica o aumento de consumo pela população (BARBOSA, 2004). A preocupação em minimizar os impactos ambientais em relação às embalagens plásticas de polímeros sintéticos e o desenvolvimento de materiais biocompatíveis tem promovido um maior interesse das áreas tecnológica e biomédica.

O farelo de soja obtido durante as etapas do processamento da soja, é considerado um co-produto de amplo interesse para obtenção de filmes e revestimento. A proteína é extraída em um meio aquoso levemente alcalino, controlando pH e temperatura do processo, seguido de centrifugação, ocorrendo a precipitação da proteína em valores de pH próximo ao ponto isoelétrico da proteína de soja (ROMÃO, 2011).

Por meio da técnica de eletrofiação é possível produzir fibras e nanofibras utilizando polímeros naturais para possíveis aplicações biomédicas, apresentando uma série de atributos como biocompatibilidade e não toxicidade. A eletrofiação consiste em um processo simples e eficaz, produzindo fibras com diâmetros reduzidos e de elevada área superficial, tornando-a útil em várias aplicações avançadas, como filtração seletiva de líquidos, membranas de tecidos, engenharia de tecidos e sensores (VENTURELLI; GRIPA, 2017).

1.2 Objetivo Geral

Esse trabalho teve como objetivo comparar e discutir por meio de uma rebuscada revisão na literatura, as possibilidades economicamente e ecologicamente viáveis de extrair a proteína da soja para processamento via eletrofiação, a fim de desenvolver biomateriais direcionados a aplicações biomédicas.

1.3. Objetivos específicos

- ❖ Comparar diferentes estudos sobre a influência dos principais parâmetros para o processo de viabilidade da extração da proteína da soja (PS);
- ❖ Verificar diferentes formulações e proporções referentes à solução polimérica composta pela proteína da soja, para o processamento via eletrofiação;

1.4. Justificativa

A soja é a oleaginosa mais produzida e consumida no mundo. O Brasil é considerado o segundo maior produtor da soja e seus derivados, sendo o Paraná o segundo maior estado produtor. O processo de extração do óleo, cujo o resíduo, fornece o farelo de soja, rico em proteína, comercializado principalmente como mistura para ração animal, possui alto potencial para o desenvolvimento de biomateriais.

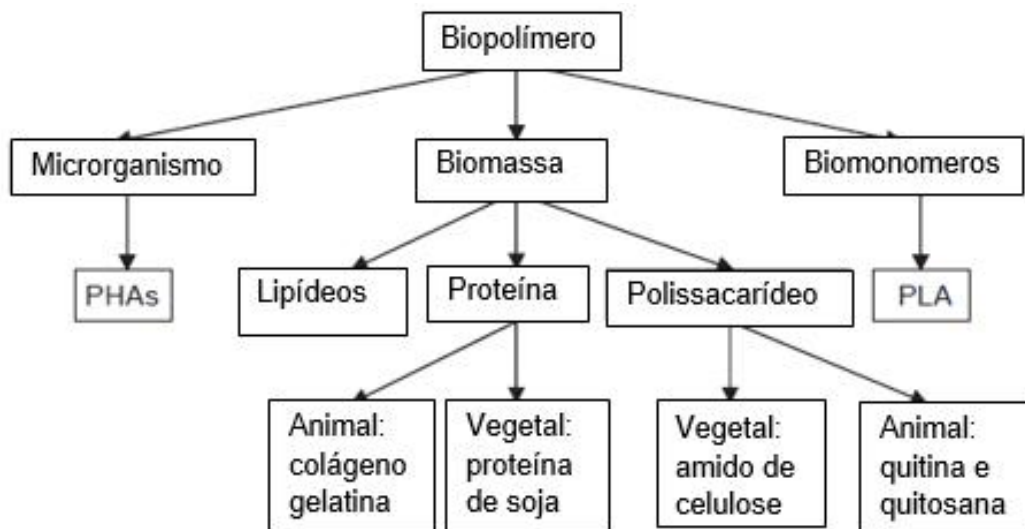
Economicamente competitiva a soja é uma fonte proteica abundante em território nacional, o que a torna uma alternativa interessante para aplicações mais nobres como, na regeneração de tecidos epiteliais, curativos para feridas e mantas para entrega de medicamentos. O presente trabalho expõe uma discussão bibliográfica de diversos estudos referente às melhorias no controle dos parâmetros que influenciam o processo de extração da proteína, assim como o uso de diferentes proporções de polímeros e proteína de soja para obter uma solução estável para eletrofiação no desenvolvimento de fibras para possíveis aplicações biomédicas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOPOLÍMEROS

Biopolímeros são polímeros ou copolímeros naturais extraídos de fontes renováveis, proveniente de quatro grandes fontes: animal (colágeno e gel), marinha (quitina e quitosana), microbiana (PLA- Poli (ácido láctico) e (PHA – Poli (hidroxialcanoatos) e agrícola (proteína e polissacarídeos) em que a fonte de carbono renovável é a principal matéria-prima para sua manufatura, geralmente um carboidrato derivado de plantas comerciais em grande escala como cana -de- açúcar, batata , trigo, beterraba e milho (PRADELLA, 2006).

Figura 1- Esquema de classificação dos Biopolímeros com base na sua origem



Fonte: Adaptado de Manso (2012 p.10)

O amido e a proteína têm sido considerados entre os polímeros naturais, os mais representativos em desenvolvimento de biofilmes. O amido é o segundo biopolímero mais abundante no mundo, com uma estrutura molecular linear e ramificada de glicose, as proteínas possuem um elevado potencial para interações intermoleculares. Biofilmes desenvolvidos por proteínas, tem baixo custo de produção, o que as tornam uma matéria prima interessante em aplicações não alimentares (ROCHA et al., 2014).

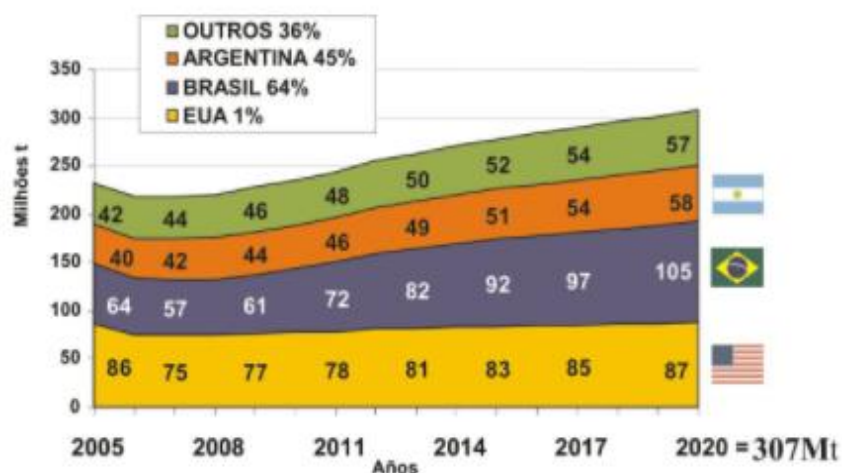
2.2 GRÃOS DE SOJA

A soja é uma das oleaginosas mais cultivadas no Brasil, destacando-se entre os maiores produtores do mundo. O grande interesse na soja consiste principalmente na sua versatilidade de aplicação e sua relação benéfica com a saúde humana, com características nutricionais adequada para uma melhor qualidade alimentar (SILVA et al., 2006).

Os grãos de soja são utilizados em larga escala para produção de laticínios, óleo vegetal, farinha, sucos de frutas, ração animal, biocombustível entre outros produtos. Destaque para grande representatividade na produção de grãos e área plantada no Brasil, com uma elevada produção de proteína por unidade de área, e grandes investimentos de empresas e agricultores, devido à exigência atribuída ao um produto de perfil *commodity* (BRASIL et al., 2018).

A expansão territorial na produção de soja em apenas 4 safras agrícolas obteve um crescimento superior a 38%, destaque no desenvolvimento de agronegócio brasileiro, com arrecadação de 1,450 trilhões no PIB em 2017 (CONAB, 2018). O PIB do agronegócio, obteve uma arrecadação em mais de 22% em relação ao PIB nacional, uma estimativa em torno de 6,66 trilhões (IBGE, 2018).

Figura 2- Crescimento anual da produção de grãos no Brasil.



Fonte: Ageitec.(2020)

A comercialização da soja é realizada de acordo com seu teor proteico, encontrada na forma de farinha de soja (50 a 59% de proteína), concentrado proteico

de soja (65 a 72% de proteína) e isolado de proteína de soja (> 90% de proteína) (PAGLIONE, 2018). Amplamente distribuída interna e externamente, agrupando milhares de empresas, isso ocorre em consequência dos mercados sólidos estabelecidos para os produtos derivados da soja, como o farelo e o óleo (HIRAKURI et al., 2018).

O farelo da soja é obtido como subproduto da extração do óleo, destaca-se como insumo fundamental para nutrição animal, com alta concentração de proteína. O aumento no consumo de carne, reflete no crescimento de demanda do farelo de soja em países como a China e o Brasil (HIRAKURI et al., 2018).

As importações do óleo de soja representam 21,3% para o mercado indiano, seguido da China com 14% de participação. No mercado de farelo soja a China fica atrás da União Européia, considerado o maior importador do insumo. A dependência do mercado de subprodutos de um único país (China), torna o mercado de farelo menos concentrado que o de grão da soja, porém podem ocasionar oscilações econômicas que impactam o mercado da soja como um todo (IMEA, 2015).

2.3 PROTEÍNA DE SOJA

Os polímeros proteicos apresentam uma elevada complexidade estrutural, classificadas em proteínas globulares e fibrosas. A soja e seus derivados proteicos (farelo, concentrado e isolado) são amplamente utilizadas em indústrias de alimentos devido ao seu valor nutritivo, suas propriedades intermoleculares dependem da interação proteína-proteína para formação de fibras de grande interesse nas áreas da tecnologia (SILVA, 2014).

As proteínas leguminosas é uma das classes mais importante das proteínas vegetais, das quais a proteína de soja é o representante mais importante. A glicinina (7S) e a β -conglucina (11S) são caracterizadas por serem as duas principais frações de proteína de soja nas quais consistem em 20 aminoácidos diferentes, incluindo lisina, leucina, fenilalanina, tirosina, ácido aspártico e glutâmico (SONG et al., 2012). As frações de β - conglucina (7s globulina) e a glicinina (11s globulina), ambas representam cerca de 70% das proteínas contidas na soja e são classificadas como globulares, apresentam formato esférico ou helicoidal, enquanto as fibrosas possuem formato de bastonete, classificadas de acordo com suas propriedades funcionais, definindo suas aplicações comerciais (SILVA, 2014).

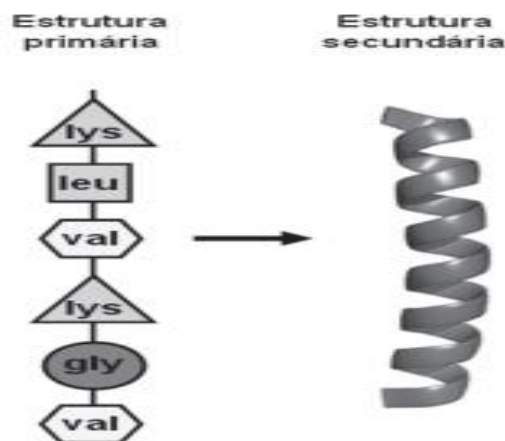
2.3.1 Estrutura Química da Proteína

As proteínas são formadas por unidades estruturais de aminoácidos, influenciando fortemente em suas características. Os aminoácidos apresentam grupos amino e carboxílico livres no carbono α , ionizáveis em solução aquosa de pH neutro (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

As propriedades adquiridas pela proteína, dependem do arranjo espacial dos seus átomos, e apresentam várias formas estruturais dependendo das condições de trabalho. A forma final da proteína é mantida pelas interações das cadeias laterais dos resíduos de aminoácidos com o solvente, que são solúveis em água e pouco solúveis em solventes orgânicos. Quanto à estrutura, quatro tipos existentes indicam diferentes aspectos, essas são, estruturas primárias, secundárias, terciárias e quaternária (SABINO et al., 2009).

Estrutura primária consiste de uma sequência específica de aminoácidos que compõe um determinado polipeptídeo. As propriedades físico-químicas das proteínas têm início nas ligações pépticas, resultando em uma ligação planar muito estável. A determinação da estrutura secundária depende da própria estrutura primária, ou seja, o tipo, número e distribuição dos aminoácidos ao longo da cadeia polipeptídica, e sua estabilidade está fundamentada na série de ligações de hidrogênio dispostas na estrutura (RIBEIRO; SERAVALI, 2007). A Figura 3 demonstra ambas estruturas, primária e secundária, de uma proteína formada por uma sequência de aminoácidos.

Figura 3 - Representação da estrutura primária e secundária da proteína

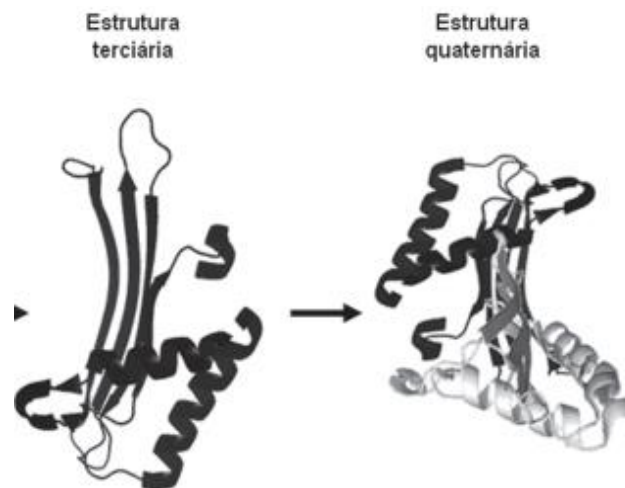


Fonte: Moraes et al. (2013, p.16)

A estrutura terciária refere-se a maneira que cadeia polipeptídica está arranjada tridimensionalmente. Com a fixação da estrutura secundária, a cadeia polipeptídica tende a enrolar-se em si mesma em cadeias semelhantes para adquirir estabilidade, mantidas pelas múltiplas interações não covalentes (MORAES et al., 2013).

Estruturas quaternárias consistem em um arranjo espacial com duas ou mais cadeias polipeptídicas com estruturas terciárias definidas, se estabilizam por forças de ligações semelhante as de estrutura terciária (MORAES et al., 2013). A Figura 4 apresenta a sequência da organização estrutural das proteínas, estrutura terciária e quaternária.

Figura 4 - Representação estrutural terciária e quaternária da proteína



Fonte: Moraes et al. (2013, p.16)

As proteínas de soja são ricas em aminoácidos, principalmente em arginina, leucina e lisina. Quando extraídas em água com pH neutro e submetidas a ultracentrifugação, dividem-se em determinadas frações, 2S, 7S, 11S e 15S. As frações 7S e 11S, juntas representam 70% das proteínas contidas no grão de soja, compostas por uma fração de globulina conhecida como β -conglucina e uma fração de glicina, correspondendo a 37% da proteína do grão (TORREZAN; CRISTIANINI, 2005).

2.3.2 Propriedades e Aplicações

As aplicações tecnológicas da proteína de soja, dependem das suas propriedades funcionais e métodos de formulação, formação e modificação, incluindo o grau de desnaturação. Proteínas são sensíveis a diferente forma de desnaturação (HIRAKURI et al., 2018). Filmes de proteína de soja, geralmente são preparados por diversas técnicas, entre elas, extrusão, fiação e compactação térmica. A polimerização da proteína de soja é realizada em temperaturas acima dos 60°C, em condições alcalinas, e a formação do filme ocorre pelo desenvolvimento de ligações hidrofóbicas, dissulfetos e hidrogênio entre as cadeias poliméricas. (BALDWIN; HANGEMAIER; BAI, 2012).

Transparência e flexibilidade, são propriedades de filmes de proteína soja isolada (IPS) quando plastificada, maiores valores de permeabilidade ao vapor de água em relação a filmes sintéticos convencionais, e são barreiras potentes de oxigênio. As propriedades mecânicas desses filmes proteicos são moderadas quando comparadas com os demais filmes poliméricos, sendo a concentração de proteína na solução um fator importante na formação e nas propriedades do filme (BALDWIN; HANGEMAIER; BAI, 2012).

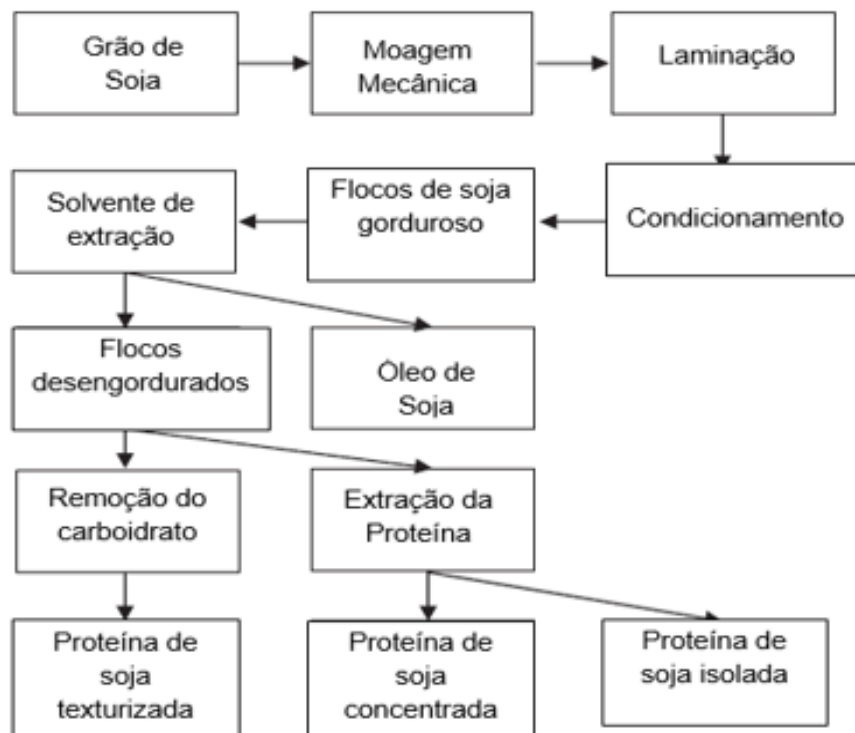
As principais vantagens que sobrepõe a proteína de soja às demais proteínas naturais em aplicações biomédicas estão relacionadas à origem não animal, estabilidade, tempo de armazenamento longo e baixo custo. Na engenharia de Materiais, a proteína de soja é estudada como plástico verde ou adesivo. Para engenharia tecidual tem sido de grande interesse estudos que demonstram a capacidade de regeneração de tecido por meio de produtos à base de proteína de soja, com um potencial elevado e significativo na cicatrização de feridas (PELES; ZILBERMAN, 2012).

A proteína de soja possui uma estrutura globular que é estável e resistente à hidrólise, promovendo uma longa vida útil. Uma variedade de grupos funcionais existentes em sua estrutura permite diversas modificações de superfície e misturas com outros polímeros, o que à torna interessante como um biomaterial. Materiais à base de IPS, são mais flexíveis e com ótimas propriedades de barreira a gases em comparação com outras membranas à base de proteínas vegetais. (DEFRATES et al., 2018).

2.4 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA E DOS DERIVADOS DA PS

A extração do óleo de soja consiste na mistura da matéria prima com um determinado solvente, a mistura é separada por evaporação do farelo desengordurado, que posteriormente será utilizado para extração da proteína. O farelo é seco para remoção do solvente residual e passa por alguns processamentos obtendo outros produtos como: farinha desengordurada, proteína concentrada, proteína texturizada e proteína isolada de soja (ROMÃO, 2011). A Figura 5 ilustra as etapas do processamento da extração do óleo e a obtenção do farelo de soja.

Figura 5 – Fluxograma simplificado do processo de extração do óleo soja



Fonte: Adaptado de Manso (2012, p.25)

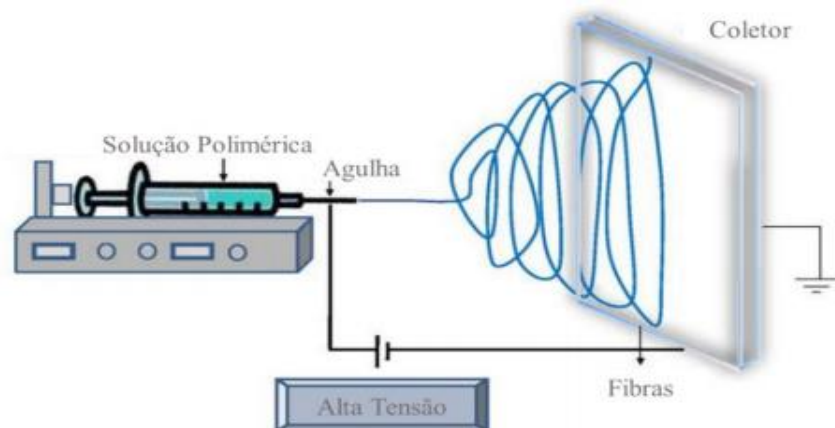
A dissolução da farinha desengordurada é obtida em condições básica, filtrada ou centrifugada, seguida de uma re-acidificação até atingir um pH de 4,5, ocorrendo a precipitação da proteína, que pode ser seca por atomização ou sofrer texturização (ROMÃO, 2011).

2.5 ELETROFIAÇÃO

A técnica de fiação eletroestática, conhecida como eletrofiação foi relatada pela primeira vez em 1897 e estudada inicialmente por Zenely em 1914, durante muito tempo a técnica ficou esquecida, apenas nos anos 90 retomou como interesse no meio acadêmico, na produção de fibras poliméricas com diâmetros micrométricos e nanométricos (BHARDWAJ; KUNDU, 2010).

A execução da técnica é relativamente simples, entre uma placa coletora e a agulha do aparato, aplica-se um campo magnético de alta voltagem e baixa amperagem, instalado de forma transversal a uma determinada distância. O equipamento contém uma fonte de tensão, uma bomba de infusão com uma seringa, controle automático do fluxo da solução polimérica e um coletor metálico (SOUZA, 2016).

Figura 6– Ilustração esquemática do equipamento de eletrofiação



Fonte: Venturelli; Gripa (2017, p. 3)

Polímeros naturais exibem uma melhor biocompatibilidade e baixa imunogenicidade, razão pelo qual apresentam propriedades compatíveis para aplicações biomédicas. Uma forte razão para uso da eletrofiação em biopolímeros é a capacidade inerente de ligações de células, uma vez que elas carregam sequências proteicas específicas. Nos últimos anos, tem sido relatado frequente uso da técnica de eletrofiação para diversos polímeros naturais como, colágeno, quitina, quitosana e proteínas (BHARDWAJ; KUNDU, 2010).

A principal vantagem da técnica é a versatilidade em relação a diversas morfologias que podem ser obtidas variando os parâmetros de processo, dependendo

da configuração adquirida pode-se desenvolver não tecidos alinhados, porosos, ocos e nanofibras de núcleo- revestido. A configuração e otimização do processo de eletrofiação é diretamente influenciada pelo polímero e o solvente (VENTURELLI; GRIPA, 2017).

2.5.1 Parâmetros do Processo de Eletrofiação

No método de eletrofiação, parâmetros de solução, de processo e ambientais apresentados na Tabela 1, podem influenciar nas propriedades e na performance das fibras eletrofiadas. De acordo com a variação desses parâmetros é possível obter diferentes morfologias, tamanho de poros e diâmetros (VENTURELLI; GRIPA, 2017).

Tabela 1 - Parâmetros do método de eletrofiação que afetam a fabricação das fibras.

Parâmetros de controle para formação das fibras		
<i>Solução</i>	<i>Processo</i>	<i>Ambiental</i>
Concentração do polímero	Vazão	Temperatura
Viscosidade	Voltagem aplicada	Umidade
Condutividade	Distância do coletor	
Peso Molecular	Tipo de coletor	

Fonte: Adaptado de DeFrates et al (2018, p.6)

Os parâmetros de solução estão diretamente relacionados a concentração do polímero e conseqüentemente com a viscoelasticidade da solução. Blendas preparadas por solução são obtidas por meio da preparação de soluções individuais de cada polímero em um solvente comum, com posterior mistura das soluções nas proporções desejadas. O aquecimento pode ser utilizado para aumentar o grau de solubilidade dos componentes individuais ou da mistura. A etapa mais importante é a evaporação do solvente, que normalmente é feita através da formação de um filme e posterior evaporação à temperatura ambiente. Esse tipo de blenda é de baixa produtividade e geralmente são desenvolvidas em laboratório (PASSADOR; PESSAN; JUNIOR,2006).

Para o controle da uniformidade e diâmetro das fibras é necessário um valor mínimo de viscoelasticidade para que haja um grau de emaranhamento nas cadeias da solução polimérica. Baixo grau de concentração reduz o grau de emaranhamento das cadeias e conseqüentemente causa instabilidade capilar na extremidade do jato (COSTA et al., 2012).

A diferença de potencial elétrico aplicado entre a ponta da agulha da bomba injetora e a placa coletora, é um parâmetro essencial no processo de eletrospinning. O efeito da alta tensão pode ocasionar uma variação no diâmetro da fibra, em consequência do aumento na quantidade do polímero ejetado, por outro lado, um aumento da diferença de potencial favorece um maior estiramento da solução polimérica, produzindo fibras de diâmetros reduzidos (SOUZA, 2016).

Os parâmetros ambientais incluem a temperatura e a umidade. A redução do diâmetro da fibra é atribuída ao aumento da temperatura que conseqüentemente diminui a viscosidade da solução polimérica, enquanto o aumento da umidade ocorre a formação de pequenos poros na superfície da fibra. Uma grande redução da umidade, pode gerar uma taxa de evaporação muito rápida comparada à remoção do solvente na ponta da agulha, ocasionando um possível entupimento (BHARDWAJ; KUNDU, 2010).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo da revisão bibliográfica define a importância e a direção da pesquisa na qual deseja se desenvolver. É necessário definir determinados parâmetros como: tópicos chaves, autores, palavras, periódicos e fontes de dados preliminares, como forma de afunilar os assuntos mais relevantes para o tema a ser desenvolvido, sendo o passo inicial para qualquer pesquisa em nível científico. (CONFORTO et al., 2011).

O conhecimento vasto incluídos em uma revisão reduz incertezas sobre recomendações práticas. A revisão integrativa, é o método mais amplo dentre os métodos existentes de revisão bibliográfica, desenvolvendo uma base sólida de conhecimento, com a vantagem de permitir a inclusão simultânea de pesquisa experimental, proporcionando oportunidades para novas pesquisas e uma melhor compreensão sobre o tema de interesse (MATTOS, 2015). Com base em um material já existente, a revisão bibliográfica tem caráter exploratório, permitindo um melhor aprimoramento de ideias (GIL, 2008).

Para compilação dos resultados foram utilizados artigos científicos e teses de doutorado selecionados de forma criteriosa das seguintes bases de dados: Web of Science, Compendex- Engineering Village, Scielo e Google academic. Posterior a coleta de dados, foi realizada uma análise descritiva dos mesmos, buscando uma melhor compreensão dos resultados obtidos por cada autor, para compara-los entre si e desenvolver uma discussão mais seletiva referente ao tema do trabalho.

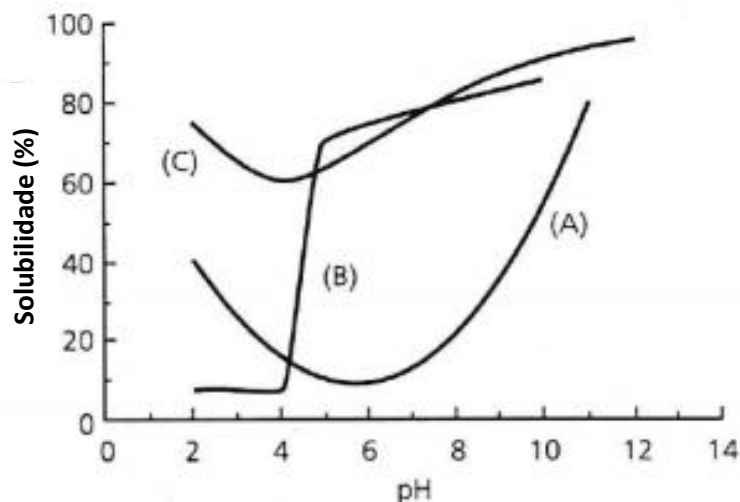
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXTRAÇÃO DA IPS POR ACIDIFICAÇÃO

A proteína de soja é um ingrediente intermediário da extração do óleo de soja, normalmente estudada em escala laboratorial. Na indústria, o extrato aquoso de soja integral, geralmente, é utilizado na fabricação de produtos de consumo contendo proteína e óleo de soja. (PREECE; HOOSHYAR; ZUIDAM, 2017). O farelo de soja é considerado um subproduto que é resultado da extração do óleo soja, a partir do qual pode-se obter outros produtos derivados da proteína de soja (ROMÃO, 2011).

A extração alcalina é um método simples e tradicionalmente utiliza-se para proteínas de leguminosas, utiliza-se da sua baixa solubilidade em valores de pH ácidos, que se aproxima do seu ponto isoelétrico (pI) (BOYLE; ZARE; PLETCH, 2010). A solubilidade da proteína em função do pH geralmente é representada por curvas em forma de U, a solubilidade mínima está próxima ao pI, enquanto as proteínas mais solúveis estão distantes estabelecendo mais ligações de hidrogênio entre as moléculas de água e de proteína, como pode ser verificada na Figura 7 (RIGO, 2015).

Figura 7- Curva de solubilidade proteica em função do pH da PS (A), do caseinato de sódio (B) e da proteína do soro do leite (C)

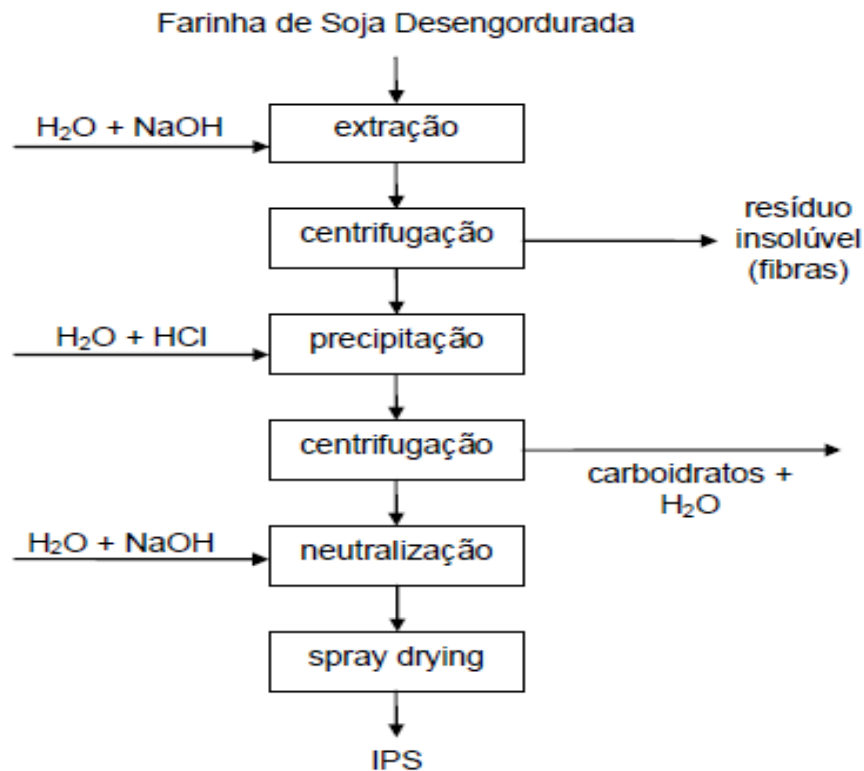


Fonte: Adaptado de Rigo (2015, p. 28)

A técnica corresponde a solubilização alcalina das proteínas pelo uso de uma base com a remoção dos insolúveis por meio de centrifugação, a precipitação da PS em pH ácido que corresponde ao ponto isoelétrico da PS é coletada do precipitado

por centrifugação (HADNADEV et al., 2017). Uma espécie de extrato é formada, posteriormente lavada e em sequência obtém-se a remoção de solúveis não proteicos, seguido de uma neutralização e o processo de secagem (pulverização, liofilização etc) produzindo o IPS, como mostra a Figura 8 (ALIBHAI et al., 2006).

Figura 8- Fluxograma típico da etapa de extração da proteína da soja



Fonte: Silva (2014, p.11)

Existem diversas opções para obter o isolado de proteína de soja, dependendo do método empregado e da sua finalidade, permitindo desenvolvimento de propriedades específicas junto ao processamento, com os devidos ajustes nos parâmetros de extração e precipitação, otimizando sua aplicabilidade (BARBOSA, 2004).

4.2 FATORES QUE AFETAM A SOLUBILIDADE DA PROTEÍNA

A água associada às proteínas assume diferentes formas, a interação entre ambas ocorre através de átomos que participam de ligações (RIBEIRO; SEVERALLI, 2013). A alta solubilidade da proteína torna-se um desafio quando o objetivo é usá-la como um biomaterial, resultando em um controle de determinados parâmetros como, pH, temperatura, força iônica e solventes (SCREMIN, 2004).

4.2.1 Influência da Temperatura

Normalmente, a solubilidade da proteína aumenta com temperatura entre 0 a 50°C, acima disso as proteínas tendem ao início do processo de desnaturação, implicando na redução de solubilidade. A desnaturação térmica muda a solubilidade da proteína devido ao aumento dos grupos hidrofóbicos na sua superfície, e da mesma forma a solubilidade pode ser reduzida em baixa temperaturas (RIGO, 2015). As principais proteínas presentes na soja são responsáveis por cerca de 60 a 80% da proteína total da soja, são elas as globulinas glicina (11S) e β -conglucina (7S) (PREECE; HOOSHYAR; ZUIDAM, 2017).

A temperatura afeta de forma direta a desnaturação da proteína, prejudicando sua funcionalidade em determinadas aplicações. A IPS normalmente é produzida por meio da extração da farinha ou flocos de soja desengordurados em meio aquoso, com temperaturas que variam na faixa de 20 a 80° C (DEAK; JOHNSON, 2007).

Para verificar os efeitos causados pela temperatura na desnaturação de PS, cerca de 200g de farinha de soja desengordurada foram extraídas com água destilada à uma proporção de 1:10 (m/v), com ajuste de pH em torno de 8,5 a 2 N de NaOH. Três amostras foram ensaiadas e aquecidas em diferentes temperaturas (40, 60 e 80) por 30 minutos e centrifugada por mais 30 minutos, após obter o extrato proteico o mesmo foi resfriado e seu pH ajustado novamente para 4,5 ponto isoelétrico (pI), centrifugado novamente para decantar a proteína (DEAK; JOHNSON, 2007). Os resultados são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Rendimento das amostras de IPS e sólidos, extraídas em três temperaturas distintas por 30 minutos.

Temperatura de extração (°C)	Rendimento de Sólidos (%)	Rendimento de Proteína (%)
40	41,64	71,59
60	42,70	71,95
80	39,11	63,27

Fonte: Adaptado de Deak, Jonhson. (2007, p.263)

De forma geral, é comum que a solubilidade das proteínas aumente com o aumento da temperatura, porém é possível observar de acordo os resultados descritos na Tabela 2 que os rendimentos da IPS decrescem seu valor com o aumento da temperatura, isso ocorre por conta da desnaturação na estrutura da proteína, causada pelo aumento da hidrofobicidade da superfície proteica, modificando o equilíbrio das interações proteína-proteína e proteína-solvente (DAMODARAN et al., 2010; SILVA, 2014).

As temperaturas estudadas por Deak & Johnson (2007) não apresentaram diferenças relevantes nos rendimentos de sólidos e proteínas, observados entre os IPSs extraídos a 40 e 60 °C em um período de 30 minutos, indicando o tempo máximo para ambas temperaturas para que não ocorra a desnaturação, no entanto à IPS a 80°C produziu significativamente menos sólidos e proteínas. A alta temperatura no processo de extração, teve efeito significativo à funcionalidade da proteína, como redução da solubilidade e emulsificação.

Possenti et al (2017) verificaram a influência do tempo no processo de desnaturação, a fim de obter resultados referentes a variação de rendimento de proteína com base na alternância de tempo e temperatura. O experimento alternou entre tempos de 20, 30 e 40 minutos com temperaturas de 40, 50 e 60°C. A técnica seguiu o procedimento tradicional de extração por acidificação, com o uso do farelo de soja diluído em água com ajuste de pH (8,5) por meio de um solvente básico, seguido de agitação e aquecimento, alternando tempo e temperatura, posterior a centrifugação, ajuste de pH ácido, centrifugação, neutralização e secagem.

Tabela 3 - Rendimento das amostras de IPS alternando tempo e temperatura.

Amostras	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Rendimento (%)
1	20	40	28
2	20	60	62
3	30	50	47
4	40	40	25
5	40	60	82

Fonte: Adaptado de Possenti et al. (2017, p.11)

O tempo tem influência direta no processo de desnaturação, que conseqüentemente afeta o rendimento da proteína, a eficiência do procedimento demonstra que mesmo a proteína aumentando sua solubilidade com o aumento da temperatura, o acréscimo do tempo não é proporcional, ou seja, o método se torna mais eficiente em um menor tempo com uma maior temperatura, em que a melhor condição reside no tempo de 20 minutos a 60°C (POSSENTI et al., 2017).

No processo de desnaturação da proteína causada pela elevação de temperatura, acima de 60°C, ocorre a transferência de resíduos não polares, por meio da água presente no interior da molécula da proteína, também é fortemente influenciada pelo pH e pela força iônica do meio (LAKEMOND et al., 2000.; RENKEMA; GRUPPEN; VLIET, 2002.; SILVA, 2014). Entretanto, a proteína desnaturada tem seus benefícios, quando destinado para consumo dos animais, o aumento da temperatura provoca a inativação de enzimas como a lipoxigenase e inibidores de tripsina, responsáveis por fatores antinutricionais. Outra vantagem da desnaturação, está ligada à conservação de produtos processados (SILVA, 2014).

4.2.2 Influência do pH

Uma característica notável das proteínas de soja é a forte dependência do pH e da força iônica na conformação molecular e nas propriedades funcionais. Temperaturas de desnaturação dependem fortemente do pH e da força iônica. O início da temperatura de desnaturação em água deionizada é em torno de 80 - 90 °C para globulina 11S, e 60 - 70 °C para globulina 7S, a presença de sal aumenta a temperatura de desnaturação (JIANG, XIONG, CHEN; 2010).

A desnaturação da proteína é dificultada quando a mesma se encontra em seu ponto isoelétrico. As cargas líquidas tendem a permanecer estáveis em pH neutro, porém quando expostas a valores de pH extremos, a alta carga líquida provoca desdobramentos e expansão das moléculas deixando as susceptíveis a desnaturação proteica. De forma geral, pHs abaixo de 1 e acima de 12, tem início a desnaturação devido as fortes forças repulsivas (SILVA, 2014).

O valor de pH usado é cerca de 8 – 8,5 para primeira etapa de extração, embora altos valores de pH possam beneficiar a solubilidade, por outro lado, certas propriedades funcionais podem ser prejudicadas devido à desagregação e hidrólise das proteínas (PREECE; HOOSHYAR; ZUIDAM, 2017).

A solubilidade da proteína e a capacidade de retenção de água (WHC) são propriedades funcionais fundamentais dos ingredientes da PS e podem ser influenciadas pelos parâmetros de processamento, como pH, teor de sal e métodos de secagem. Entre esses, o pH de processamento pode influenciar a carga líquida e a sua conformação (PENG et al. 2020). A proteína é uma espécie de polieletrólito, e a diversidade de valores de pH influenciará nos comportamentos de associação e dissociação da proteína em solução aquosa (SONG, 2011). De acordo com Barbosa (2004), a relação do pH de precipitação foi testada para valores próximos ao pI relatado na literatura, com objetivo de confirmar a influência no rendimento do precipitado como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de proteína isolada precipitada em valores de pH próximo ao pl.

		pH 4,0	pH 4,5	pH 5,0
PROTEÍNAS (%)	Soro ácido	15,5 ± 0,3	12,1 ± 0,2	19,0 ± 0,2
	Precipitado	84,5 ± 0,3	87,9 ± 0,2	81,0 ± 0,2

Fonte: Adaptado de Barbosa. (2004, p.59)

O rendimento do precipitado em pH 4,5 confirma o que é dito na literatura, maiores rendimentos do precipitado foram obtidos nesse valor, considerado o pl da proteína de soja e menores valores de soro ácido (BARBOSA, 2004). Em pHs intermediários, grupos de carga positiva são exatamente equilibrados pelos grupos carregados negativamente e pela proteína, em média, não há carga líquida. Muitas proteínas globulares precipitam se o pH da solução for definido no ponto isoelétrico (pl) da proteína (MANSO, 2012).

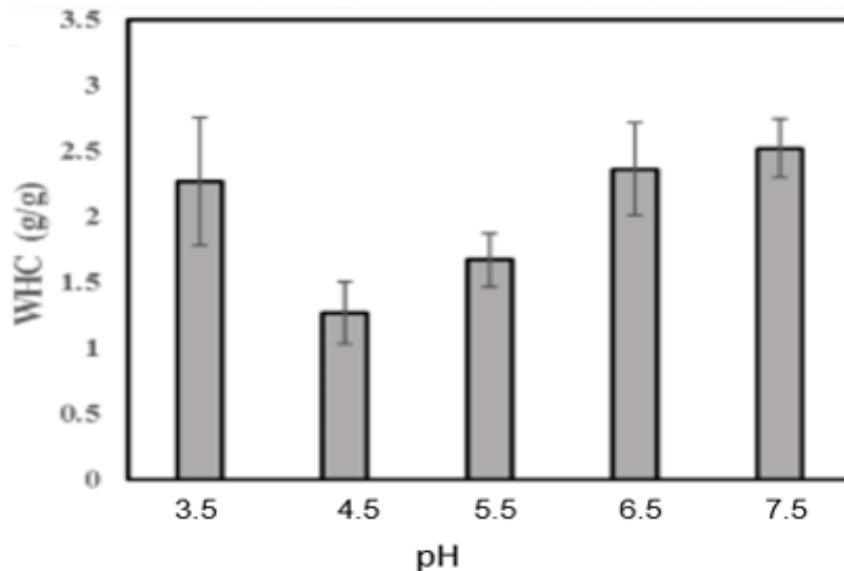
Proteínas classificadas como globulares quando expostas a condições extremas de pH, sofrem mudanças conformacionais significativas. Essas proteínas, conhecidas como estado de glóbulo fundido (GF), mantêm uma estrutura relativamente compacta, ou seja, retenção da maioria da estrutura em pH ácido seguido por o reajuste do pH de volta à neutralidade, o processo de mudança de pH, induz o estado GF das respectivas proteínas (JIANG; XIONG; CHEN, 2010).

Diferentes funcionalidades que não envolvem apenas solubilidades podem ser requeridas, como gelificação, capacidade de retenção de água e propriedades viscoelásticas e, para isso, as propriedades funcionais da proteína de soja podem variar drasticamente em diferentes valores de pH. Experimentos limitados foram projetados para alcançar propriedades funcionais específicas de proteína vegetal ajustando o valor do pH diretamente durante o processo de extração (PENG et al., 2020).

Frações de proteína de soja (FPS) foram obtidas por fracionamento e padronizado em diferentes valores finais de pH de processamento, que podem influenciar a carga líquida e conformação da proteína, expondo ou soterrando os sítios de ligação das proteínas na água, portanto, as propriedades diferentes em relação a

capacidade de retenção de água (WHC), foram testadas para avaliar seu potencial para uso em múltiplas novas aplicações à base de soja (PENG et al. 2020).

Figura 9 – Influência de diferentes valores de pH na capacidade de retenção de água (WHC).



Fonte: Adaptado de Peng et al. (2020, p.3)

Estudos recentes demonstraram que a porcentagem de álcali inserida no sistema também é importante quando se objetiva a extração de proteína. A importância da quantidade de álcali ocorre devido ao fato de que durante a extração alcalina da proteína, outros componentes da biomassa podem reagir com a base, como a lignina, tamponando o sistema (SARI et al.; 2015).

De acordo com os resultados obtidos por Peng et al (2020) para diferentes valores de pH e os efeitos sob as propriedades do WHC, nota-se uma curva para valores em torno do ponto isoelétrico. O WHC do FPS 4,5 foi o mais baixo, e o WHC aumentou quando um pH mais básico ou mais ácido foi usado.

A interação proteína - proteína aumenta, pois, a carga líquida da proteína está nula e menos locais de ligação para água são expostos, ou seja, menos moléculas de água interagem com as moléculas de proteína. Este fenômeno promove uma aproximação das moléculas de proteína com posterior precipitação das mesmas (SILVA, 2014). A polaridade da proteína aumenta quando o pH se afasta do pI, resultando em um aumento na quantidade de água ligada. Assim, em comparação com outras FPS, a FPS 7,5 exibiu o valor máximo de capacidade de retenção de água (PENG et al., 2020).

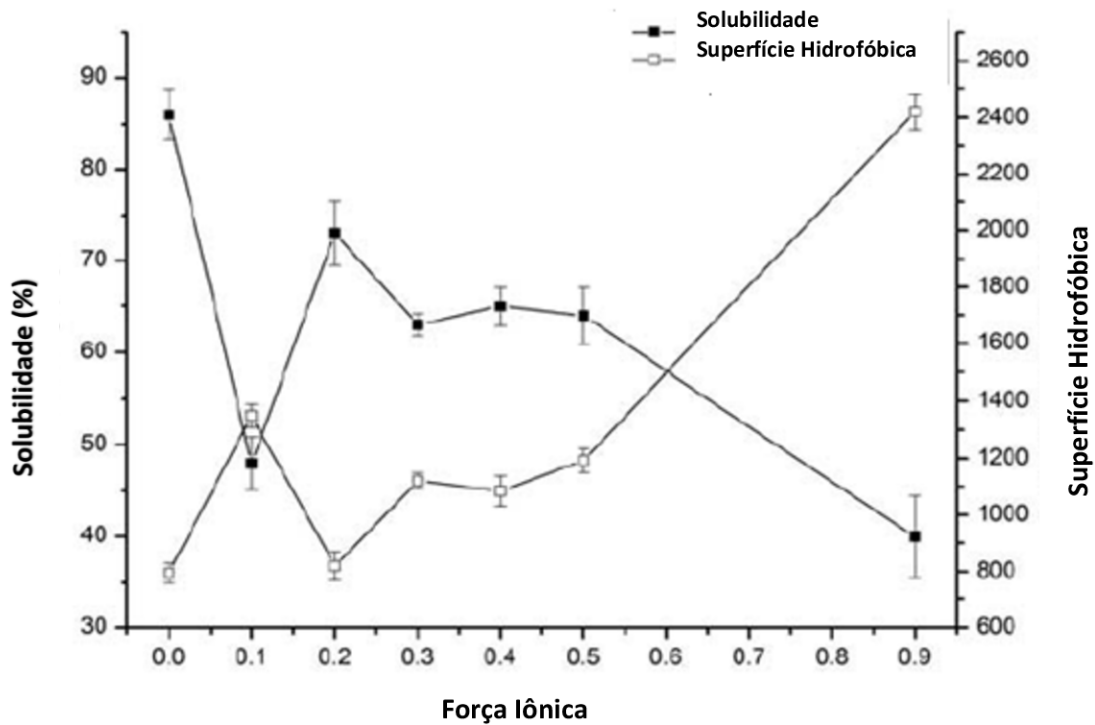
4.2.3 Influência da Força Iônica

A hidrofobicidade da superfície da molécula de proteína, pode ser usada como um parâmetro para determinar a capacidade das moléculas de interagir umas com as outras e prever propriedades funcionais devido a sua forte relação com aumento da solubilidade pela adição de aditivos. Estudos sobre adesão de filmes de IPS e as propriedades de resistência à água apresentaram relações próximas com a hidrofobicidade da superfície (JIANG et al., 2015).

No processo de extração sólido-líquido, a afinidade química entre soluto e solvente é de grande relevância. A força iônica da solução e o uso de diferentes tipos e composições de solvente podem influenciar no processo de transferência de massa do sistema. A presença de sal nas soluções extratoras de proteínas também é importante, pois para uma solução salina, a força iônica do meio é diretamente proporcional à concentração de sal na solução. Na extração de proteínas empregando-se soluções salinas pode-se identificar dois fenômenos associados à solubilidade da proteína; o efeito *salting-in* e o efeito *salting-out* (GRANDE, 2014)

O efeito *salting-out* tem relação a redução de solubilidade, fenômeno associado a precipitação de proteínas em soluções com concentração salinas. (DAMODARAN et al., 2010.; GRANDE, 2014). Estudos realizados por Jiang et al (2015), revelaram o efeito da adição de sal na força iônica, solubilidade e hidrofobicidade da superfície de IPS. Os perfis de solubilidade exibiram os fenômenos de *salting-out*, de acordo com a Figura 10, começando em baixas concentrações de sal ($I = 0,1$) e nivelaram em 0,3–0,5. Em forças iônicas acima de 0,5, um efeito de *salting-out* acentuado foi observado.

Figura 10 - Perfil de solubilidade e hidrofobicidade da superfície da IPS em diferentes forças iônicas



Fonte: Jiang et al. (2015, p.1063)

A presença de sal no sistema teve efeito visível na hidrofobicidade e a solubilidade de IPS, pela redução da repulsão eletrostática e a desorganização das moléculas de água, causando alteração na força de interação hidrofóbica entre grupos não polares. A hidrofobicidade da superfície se correlacionou bem com a insolubilidade da proteína no pl, uma vez que solubilidade da proteína depende do equilíbrio de hidroflicidade / hidrofobicidade e a composição de aminoácidos expostos à superfície da proteína, que podem enfraquecer a interação entre as moléculas de água, causando aumento da hidrofobicidade da superfície da proteína e redução de sua solubilidade (JIANG et al., 2015).

4.3 ELETROFIAÇÃO DA PROTEÍNA DE SOJA

As proteínas de soja têm uma estrutura complexa composta de diferentes subunidades com pesos moleculares variando de 200 a 600 kDa. Ao contrário das proteínas fibrosas, como colágeno e gelatina, que podem ser eletrofiadas prontamente, a estrutura globular das proteínas de soja deve ser desdobrada por meio de tratamento de desnaturação para permitir a eletrofiação. Um dos métodos comuns usados para interromper a estrutura quaternária do IPS é usar uma solução alcalina combinado de tratamento térmico (LUGO; LIM, 2008).

Devido às fracas propriedades mecânicas, a proteína de soja sozinha não consiste em uma fibra forte o suficiente e, portanto, ela pode ser misturada a um polímero biodegradável (KUMAR et al.; 2017). Uma variedade de polímeros biodegradáveis naturais e sintéticos, incluindo, colágeno, dextrano, seda, poli (ácido láctico) (PLA), poli (D, L-lactídeo-co-glicolídeo) (PLGA) e poli (caprolactona) (PCL), foram submetidos à eletrofiação com êxito para formar estruturas de nanofibras para diferentes aplicações de engenharia de tecidos (RAMJI; SHAH; 2014).

As fibras poliméricas de IPS exibem uma variedade de vantagens, incluindo estrutura porosa interconectada, elevada área de superfície para volume e a capacidade de encapsular antibióticos, são amplamente utilizadas como carreadores de biomoléculas ativas em aplicações de cicatrização de feridas (WONGKANYA et al., 2017).

De acordo com Cho et al (2010) a dissolução de IPS próximo a 10% de peso em água durante tratamento térmico a 80°C, obteve uma solução com alta concentração, rapidamente se tornando um gel em temperatura ambiente. O limite de concentração de peso em água para o IPS foi de 8,5% para manter a solução estável sem alterar sua fase para gel.

4.3.1 Relação da razão polímero/IPS na capacidade de eletrofiação

O isolado de proteína de soja não pode ser eletrofiado sozinho devido ao seu baixo peso molecular, portanto, é misturado com um polímero sintético ou natural (VARSHNEY et al.,2020). A dificuldade de fiação do IPS também está atribuída à natureza polieletrólítica das moléculas polipeptídicas que são capazes de suportar muita carga enfraquecendo a densidade de carga necessária para fiação (LUGO; LIM, 2008).

De acordo com estudos relatados por (WONGKANYA et al.; 2017.; RAMJI; SHAH, 2014.; LUGO, LIM; 2008) o Poli (óxido etileno) (PEO) possui ótimas propriedades de biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade, além de ser miscível e superhidrofílico dentro das nanofibras, o que poderia ser uma propriedade desejável para muitas aplicações.

O efeito de soluções contendo diferentes concentrações de IPS/PEO e surfactantes relatados na Tabela 5, foram preparadas por tratamento térmico a 60 °C em condições alcalinas (1% NaOH). (LUGO; LIM, 2008.; RAMJI; SHAH, 2014). As condições alcalinas auxiliam na dispersão da IPS em solução aquosa gerando películas com melhores propriedades mecânicas, da mesma forma o tratamento alcalino deve ser aplicado para eletrofiação, uma vez que o processo também envolve o uso de soluções na formação de fibra (LUGO; LIM, 2008).

Tabela 5– Variação na concentração de IPS/PEO e surfactante em % (p/p) nas formulações eletrofiadas.

Formulação	IPS (%)	Surfactante (%)	PEO (%)
1	10	0.5	0.2
2	15	1.0	0.2
3	10	0.5	0.8
4	15	0.5	0.8
5	10	1.0	0.8
6	15	1.0	0.8

Fonte: Adaptado de Lugo, Lim (2008, p.224)

As interações e a razão entre IPS e o Poli (óxido etileno) (PEO) podem explicar a capacidade de eletrofiação dessa mistura (RAMIJ; SHAH, 2014). As formulações com baixo teor em peso de PEO (0,2% nas formulações 1e 2), não

geraram uma solução estável para eletrofição, independente do teor de IPS e surfactante adicionados, em contraste a adição de 0,8% em peso de PEO nas formulações 3, 4, 5 e 6 obtiveram fibras de morfologias diferentes influenciadas pelo teor de IPS e conteúdo de surfactante utilizado para cada solução (LUGO; LIM, 2008).

A modificação na concentração de IPS ou PEO influencia nas características estruturais da fibra, como descrito na Tabela 6, assim como na sua capacidade de eletrofição. O aumento na concentração de IPS é benéfico para formação de fibras uniformes, isso ocorre devido ao tratamento térmico sofrido pela solução antes do processo de eletrofição, o que causa um maior desdobramento no IPS e aumenta os sítios de ligação (RAMJI; SHAH, 2014).

Tabela 6 – Diferentes proporções de IPS/PEO com variação do peso molecular de PEO e os efeitos nas características das fibras eletrofiadas

Formulação da solução	Características das fibras eletrofiadas
7% IPS	Formação de gotas
10% PEO (100 kDa)	Fibras curtas com gotículas
3% PEO (1MDa)	Fibras com fusos e gotas, Fibras fundidas nas articulações
7% IPS / 5% PEO (100 kDa)	Fibras contínuas com grânulos e fusos
12% IPS/ 5% PEO (100 kDa)	Fibras contínuas
7% IPS/15% PEO (100 kDa)	Fibras contínuas com menos grânulos
7% IPS / 20% PEO (100 kDa)	Fibras contínuas
7% IPS / 3 % PEO (100 kDa)	Fibras curtas com gotas
7% IPS / 3% PEO (1 MDa)	Fibras contínuas

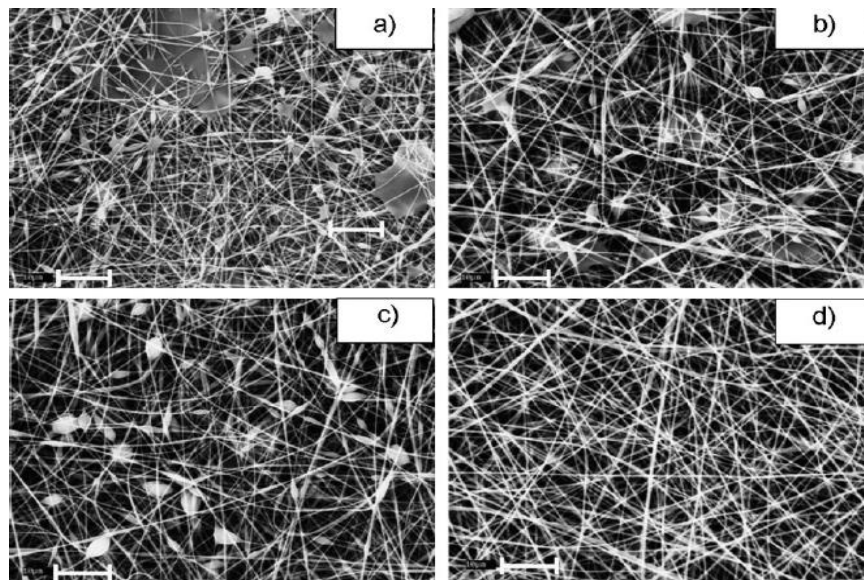
Fonte: Adaptado de Ramji, Shah. (2014, p.4)

A adição de PEO aumenta o emaranhamento das cadeias poliméricas e evita que o jato polimérico se parta ou forme gotículas (LUGO, LIM; 2008). O aumento do peso molecular de PEO contribui de forma direta para eletrofição, como no espaçamento do diâmetro médio entre as fibras, causado pela elasticidade da solução devido à dificuldade de relaxamento das cadeias poliméricas à medida que o peso molecular aumenta, além de exigir menos quantidade de PEO para formar fibras, desenvolve fibras contínuas e uniformes (REMJI; SHAH, 2014).

4.3.2 Viscosidade e Morfologia das fibras

Cho et al (2010) produziram fibras de IPS com Poli (álcool polivinílico) PVA por eletrofiação, relatando a influência na morfologia da fibra usando diferentes faixas de pH no tratamento alcalino feito antes da eletrofiação, demonstrado na Figura 11. O aumento do grau de desnaturação da proteína, causa redução da viscosidade da solução, gerando grânulos nas fibras, o PVA é adicionado à solução para fornecer ligações suficientes para manter o material unido durante a eletrofiação.

Figura 11 - Fibras eletrofiadas sem e com tratamento alcalino e adição de surfactante anterior a eletrofiação. Quatro condições distintas foram avaliadas, sem adição de NaOH pH 7 (a), pH 9 (b), pH 12 (c), pH 12 com adição de surfactante (d).



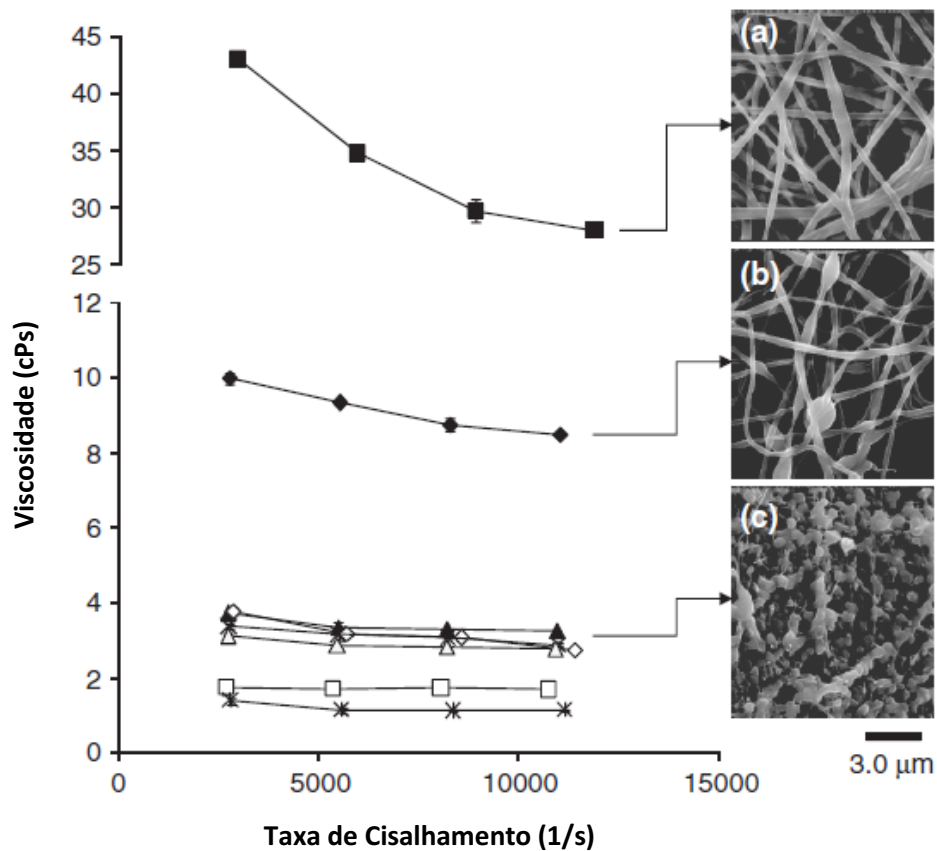
Fonte: Cho et al. (2010, p.771)

Condições alcalinas tornam o IPS notavelmente estável contra agregação térmica e o redobramento das moléculas de proteína, mesmo em temperatura ambiente é inibido em condições de pH elevado (REMJI; SHAH, 2014). À medida que o pH da solução é aumentado, as soluções híbridas IPS/ PVA tornaram-se menos viscosas, e as gotas presentes nas fibras foram sumindo até desaparecerem ao alcançar pH 12, porém alguns grânulos ainda foram observados nas fibras (CHO et al., 2010).

Formulações com maior viscosidade tendem a exibir um maior comportamento na diminuição de cisalhamento, favorecendo a formação de fibra contínua, enquanto soluções com menores viscosidades exibem um comportamento

que mais se aproximam do comportamento de fluídos newtonianos, tendendo a produzir cordões nas fibras. Na Figura 12, o comportamento do aumento da viscosidade para uma solução IPS/PEO exibiu uma maior interação entre o solvente e o polímero (LUGO; LIM, 2008).

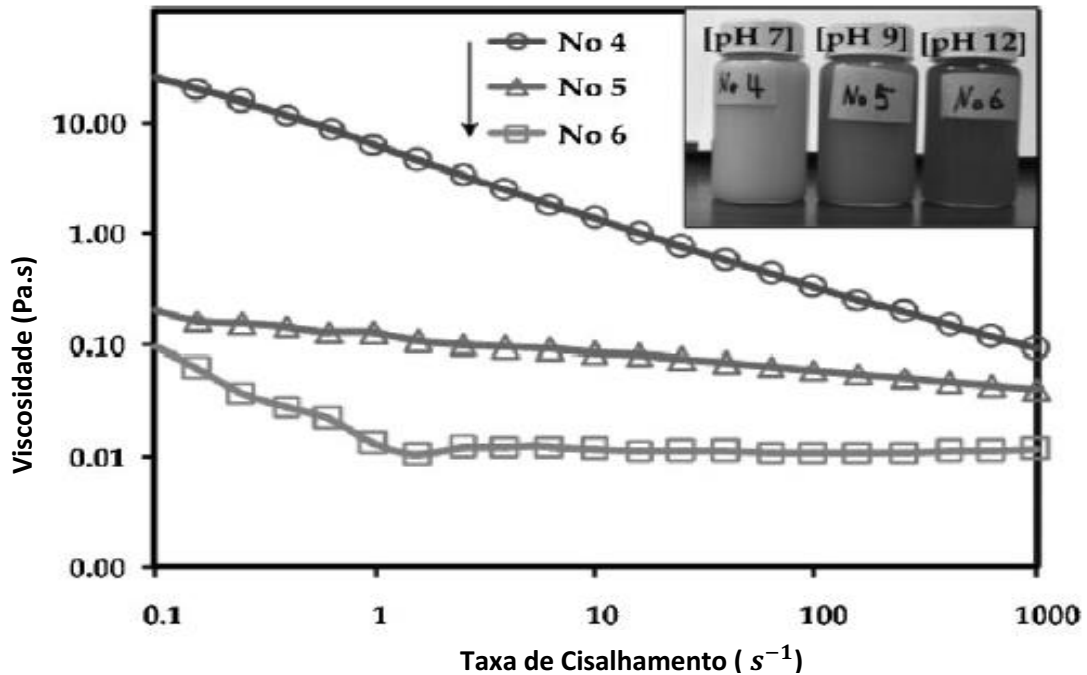
Figura 12 - Viscosidade de três formulações de IPS/PEO em diferentes taxas de cisalhamento. As micrografias eletrônicas de varredura mostram que a quantidade de grânulos aumentou quando a viscosidade diminuiu: (a) 6; (b) 4; (c) 5. Formulação de acordo com a Tabela 4.



Fonte: Adaptado de Lugo, Lim. (2008, p.226)

A influência do pH é demonstrada por Cho et al (2010) na Figura 13, as curvas de viscosidade para três diferentes valores de pH para uma solução de IPS/PVA apresentam comportamento reológico distintos. A viscosidade é reduzida pelo aumento no valor de pH, devido à redução do emaranhamento das moléculas de proteína. Nota-se que as soluções com pH elevado exibiram viscosidades quase que constantes para uma ampla faixa de taxas de cisalhamento, rendendo as características do fluido newtoniano.

Figura 13– Influência dos diferentes valores de pH na viscosidade da solução polimérica de IPS/PVA (50:50)



Fonte: Adaptado de Cho et al. (2010, p.767)

A tensão superficial também pode ser influenciada pelo aumento da viscosidade causado com aumento do peso molecular e consequentemente a redução da tensão superficial, resultando em fibras com menos defeitos e diâmetros maiores. (REMJI; SHAH, 2014). Os surfactantes geralmente são dissolvidos na solução para reduzir a tensão superficial da água e dessa forma, aumentar a capacidade de processabilidade durante a eletrofição, facilitando a dispersão do pó de IPS na solução (LUGO; LIM, 2008).

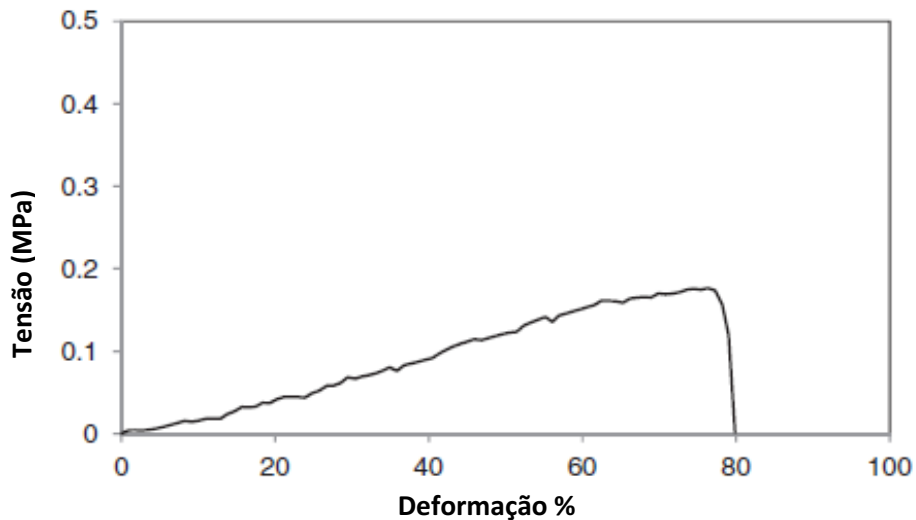
4.3.3 Propriedades Mecânicas das Fibras

As propriedades mecânicas de um curativo constituem um fator importante em seu desempenho de proteção de feridas, devendo suportar diferentes tensões e não rasgar, quer seja usado exclusivamente para proteger feridas dérmicas ou como suporte de uma ferida interna. Além disso, em ambientes clínicos, as propriedades mecânicas adequadas de materiais de revestimento são necessárias para garantir o manuseio de rotina (PELES; ZILBERMAN, 2012).

A produção de nanofibras por meio de eletrofição estão emergindo como materiais para uso de curativos de feridas, por conta da sua semelhança estrutural

com a matriz extracelular. O IPS promove resistência à água e estabilidade de armazenamento de fármacos (KUMAR et al; 2017). Produtos à base de soja promovem regeneração de tecidos, como o crescimento de tecido ósseo, devido à capacidade desses materiais de se integrarem em coágulos de sangue, estimulando a deposição de colágeno e, portanto, gerando potencial significativo para a cicatrização de feridas (PELES, ZILBERMAN; 2012).

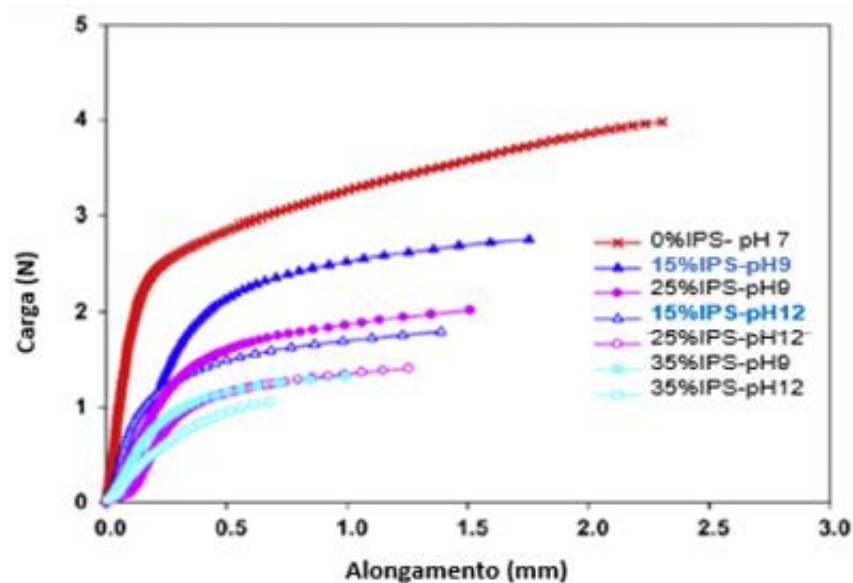
Figura 14– Curva tensão deformação de uma fibra contendo 12% IPS/ 3% PEO



Fonte: Adaptado de Ramji, Shah (2014, p.11)

A curva de tensão-deformação representada na Figura 14, para uma solução de 12% IPS / 3% PEO aponta que o valor do módulo de Young e à resistência a tração, $0,17 \pm 0,006$ MPa, dessa concentração foi maior do que para formulação de 7%IPS / 3% PEO, $0,06 \pm 0,01$ MPa, para resistência a tração, atribuído a um maior teor de proteína, assim como o aumento do diâmetro médio da fibra (RAMJI; SHAH, 2014). Em contraste Cho et al (2010) relataram em estudos com IPS e PVA, o aumento da concentração de IPS, causou uma redução drástica tanto na resistência à ruptura quanto ao alongamento da fibra, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Curva de carga (N) vs alongamento (mm) de uma amostra de fibra de IPS/PVA em diferentes faixas de pH e concentração de IPS para uma solução 100%.

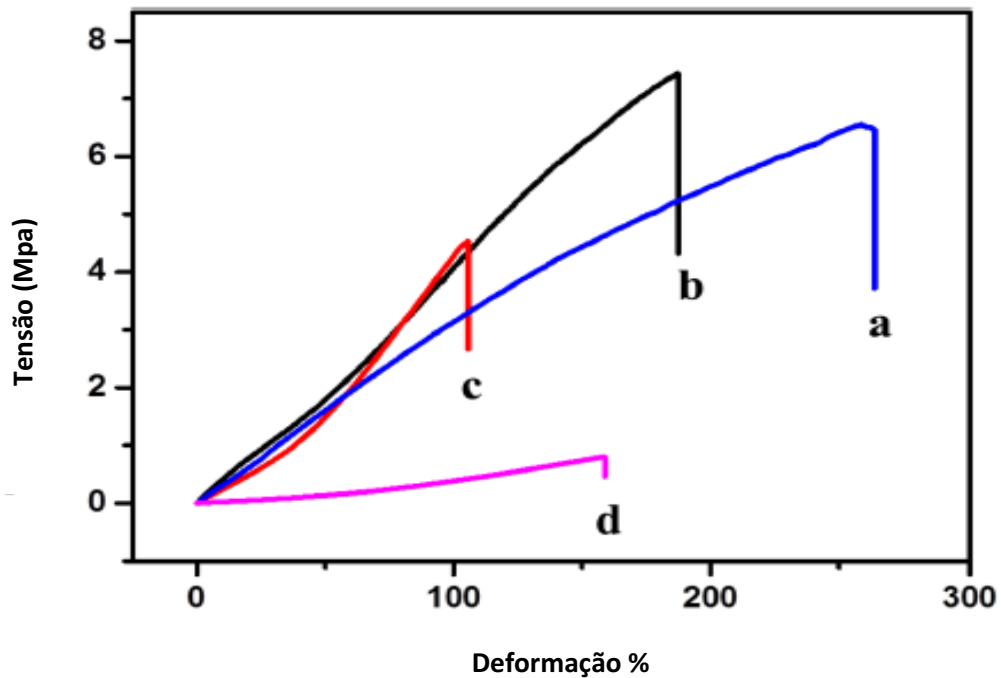


Fonte: Adaptado de Cho, Netravali, Joo (2012, p.752)

A formulação com maior concentração de IPS, é considerada frágil sem resistência mecânica, as soluções feitas com pH 9 a 35% de IPS exibiu uma leve melhora na resistência à ruptura e alongamento médio em relação a mesma concentração em pH 12. As moléculas de proteínas obtidas em pH 9 foram menos desnaturadas, resultando em uma maior viscosidade, ou seja, as cadeias poliméricas estão mais emaranhadas, aumentando a sua resistência mecânica, confirmando a relação da influência do pH na concentração da solução (CHO; NETRAVALI; JOO, 2012).

Diversas nanofibras também podem ser eletrofiadas carregadas com antibióticos para acelerar o processo de cicatrização. O Poliuretano (PU) biodegradável geralmente é usado em aplicações biomédica, com boas propriedades de permeabilidade ao oxigênio, resistência mecânica e de barreira. De acordo com a Figura 16, o gráfico relata um aumento da resistência mecânica com o aumento de IPS na solução composta de PU com nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) e cloridrato de ciprofloxacina (CipHCl) (KUMAR et al.; 2017).

Figura 16- Curva Tensão- deformação de fibras de PU pura (a), IPS/PU (b), ISP/PU/ ZnO (c) e IPS/PU/ CipHCl (d).



Fonte: Adaptado de Kumar et al (2017, p. 97)

Os dados obtidos por Kumar et al (2016) mostra que o aumento da resistência para as nanofibras composta de IPS/PU em torno de 7,42 MPa, é muito mais elevada que as demais fibras, motivo esse causado pela adição de IPS, aumentando a força de ligação na cadeia polimérica, semelhante ao que foi observado por Ramij & Shah (2014). A adição de fármacos na fibra não teve uma resistência mecânica muito elevada, porém demonstrou uma natureza elástica com alta tensão à ruptura, além de exibir as propriedades necessárias para aplicação em curativo de ferida (KUMAR et al.; 2017).

5 COMO ELABORAR UM TRABALHO EXPERIMENTAL

O trabalho científico busca abordar situações de modo que sejam plausíveis a levantar questões, a idealizar experiências simples, com o objetivo de testar uma dada hipótese de trabalho. No âmbito desta perspectiva, o trabalho experimental deixa de ser encarado apenas como uma atividade que envolve o “fazer”, para envolver sobretudo o “pensar” possibilitando o desenvolvimento de competências nos vários domínios, que pretenda aproximar-se de uma investigação, integrando outros aspectos igualmente importantes da atividade científica (FERNANDES; SILVA, 2011).

De acordo com Reis (1996), o trabalho experimental reproduz uma estratégia investigativa em que muitas aptidões são incluídas, como, identificação e descrição da relação entre variáveis, formulação de hipóteses, tratamento de informações, planejamento e execução e a elaboração de tabelas e gráficos, promovendo o desenvolvimento do raciocínio, do pensamento crítico, e da capacidade de resolver problemas.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho relata diversos estudos com formas alternativas de ajustar os parâmetros essenciais para extração da PS, com o objetivo de melhorar o processamento e verificar os efeitos causados nas propriedades da PS de acordo com suas possíveis aplicações. De modo geral, a compreensão mais aprofundada da influência da temperatura, pH e força iônica se mostraram significativas para viabilizar a extração da PS para maiores rendimentos e menos desperdícios da matéria-prima.

A partir deste estudo, até o presente momento, pode-se constatar que à temperatura de 60°C ocorre uma maior eficiência de extração da IPS, evitando-se a desnaturação da proteína em tempos em torno de 20 minutos. Também se nota um maior rendimento em pH's em torno de 4,5 (pI), com maior precipitação de sólidos devido à redução da capacidade de retenção de água da PS. E em soluções salinas, o efeito da força iônica demonstrou auxiliar no processo de precipitação da PS para baixos ($I < 0,1$) e altas ($I > 0,5$) concentrações de sal.

O processo de eletrofiação também exige controle de parâmetros, principalmente se tratando da fiação de polímeros de base vegetal. De maneira geral, a IPS possui uma estrutura química globular de baixo peso molecular inviabilizando a formação de fibras, sendo necessário um prévio tratamento de desnaturação em torno 60 a 80°C para serem misturadas ao polímero de co-fiação, para formação de uma solução estável, e otimizando a capacidade de eletrofiação. Os estudos aqui apresentados mostram que tanto o PEO, PVA e PU são polímeros promissores para desenvolvimento de fibras via eletrofiação, que são comumente usadas para fins biomédicos.

A viabilidade da extração da PS para o método via eletrofiação, é confirmada a partir de estudos da literatura. O conhecimento sobre os parâmetros que interferem em ambos os processos carece de maiores estudos, principalmente devido ao fato de que grande parte das pesquisas realizadas para extração da PS estão focadas para uso alimentício ou para adesivos. É necessário aprimorar os estudos da extração da PS para posterior processamento via eletrofiação com o propósito de desenvolver materiais direcionados para fins biomédicos, além de métodos de processamento eficazes e sustentáveis em nível industrial, que possam proporcionar um novo nicho econômico para o farelo de soja.

REFERÊNCIAS

- ALIBHAI, Z.; et al. **Production of soy protein concentrates/isolates: traditional and membrane Technologies**. *Desalination*, v. 191, p. 351-358, 2006.
- AGEITEC - **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**: Perspectiva da Soja. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_13_271020069131.html >. Acessado em 18/03/2021
- BRASIL, S. DE O. S. et al. Importância da Resistência de Plantas no Controle de Oídio: Um Levantamento de Cultivares de Soja no Brasil. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 2, p. 188–202, 11 out. 2018.
- BALDWIN, E. A.; HANGENMAIER, R.; BAI, J. **Edible Coatings and films to Improve Food Quality**. 2. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2012. 291 p.
- BARBOSA, A. C. L. **Estudo das Condições de Processamento para a Obtenção de Isolado Proteico de Soja com Teor aumentado de Isoflavonas**. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. **Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique**. *Biotechnology Advances*, v. 28, p. 325-347, 2010.
- BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. **Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed**. *Food Reserch Internacional*, v. 43, P. 414-431, 2010.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. **Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: Aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. In Resumos, Porte Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.
- CASSINI, A. S. **Análise das Características de Secagem da Proteína Texturizada de Soja**. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do SUL, Porto Alegre, 2004.
- CALVÃO, P. S. **Obtenção e Caracterização de Misturas de Polímero Biodegradável P[3HB] e seu Copolímero P[3HB -co- 3HV] com Elastômeros**. 2009. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CHO, D. et al. **Electrospun Hybrid Soy Protein/PVA Fibers**. *Macromolecular Materials and Engeneering*, v. 295, p. 763-773, 2010.
- CHO, D.; NETRAVALI, A.; JOO, Y. **Mechanical properties and biodegradability of electrospun soy protein Isolate/PVA hybrid nanofibers**. *Polymer Degradation and Stability* v. 97, p. 747-754, 2012.
- COSTA, R. G. F.; DE OLIVEIRA, J. E.; DE PAULA, G. F. **Eletrofiação de Polímeros em Solução. Parte I: Fundamentação Teórica**. p. 8, [s.d.].

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Perspectiva para o agronegócio, v. 6, Brasília: Conab, 2018.

DAMODARAN, S.; PARKIN, N. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2010. 900p.

DEAK, N. A; JOHNSON, A. L. **Effects of Extraction Temperature and Preservation Method on Functionality of Soy Protein**. J Amer Oil Chem Soc, v. 84, p. 259-268, 2007.

FARIAS, S. S. et al. BIOPOLÍMEROS: Uma Alternativa para a Promoção do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Geonorte**, v.7, n. 26, p. 67-77, 2016

FERNANDES, M. M., SILVA, M. H. S. O trabalho experimental de investigação: das expectativas dos alunos às potencialidades no desenvolvimento de competências. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v. 4, n.1, p. 45-58, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GRANDE, S. C. **Estudo da extração das proteínas dos farelos de oleagiosas através de métodos químicos enzimáticos**. 2016. 356 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

HADNADEV, M. et al. **PROGRESS IN VEGETABLE PROTEINS ISOLATION TECHNIQUES: A REVIEW**. Food and Feed Research, v. 44, p. 11-21, 2017.

HIRAKURI, M. et al. **Análise de aspectos econômicos sobre a qualidade de grãos de soja no Brasil**. Londrina: Circular Técnica, 2016. 145 f.

IMEA – **Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária**. **Jornalismo Agropecuário**: Entendendo o Mercado da Soja. Disponível em <http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015_06_13_Paper_jornalistas_boletins_Soja_Versao_Final_AO.pdf> Acessado em 18/05/2019.

JIANG, J. et al. **Structure-modifying alkaline and acidic pH-shifting processes promote film formation of soy proteins**. Food Chemistry, v. 132, n. 4, p. 1944–1950, 15 jun. 2012.

JIANG, J. et al. **Relationship Between Surface Hydrophobicity and Structure of Soy Protein Isolate Subjected to Different Ionic Strength**. International Journal of Food Properties, v. 18, p. 1059–1074, 2015.

LAKEMOND, C. C. M. et al. **Heat Denaturation of Soy Glycinin: Influence of pH and Ionic Strength on Molecular Structure**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 48, p. 1991- 1995, 2000.

LUGO, V. C. A.; LIM, T. L. **Electrospinning of Soy Protein Isolate Nanofibers**. Journal Biobased Materials and Bioenergy, v. 2, p. 223-230, 2008.

- KUMAR, N. et al. **Electrospun Polyurethane and Soy Protein Nanofibers for Wound dressing applications**. Journals: The Institution of Engineering and Technology, v. 12, p. 94-98, 2017.
- MACHADO, R. P. **Produção de Etanol a Partir do Melaço de Soja**. 1999. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- MANSO, P. G. **Processing and Characterization of Soy Protein- Based Materials**. 2012. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais Renováveis) - Departamento de Química e Engenharia Ambiental da Universidad del País Vasco, Espanha, Donastia San- Sebastian, 2012.
- MORAES, C. S. et al. **Série em Biologia Celular e Molecular: Métodos Experimentais no Estudo das proteínas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto Oswaldo Cruz, 2013. p. 14-18
- OLIVEIRA, G. F. **Desenvolvimento e Caracterização de Isolado Protéico de Soja Modificado com Hexametáfosfato de Sódio**. 2010. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.
- PAGLIONE, I. S. dos. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de isolado proteico de soja contendo micropartículas de óleo essencial de orégano**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.
- PASSADOR, F. R.; PESSAN, L. A.; RODOLFO J. A. Estado de mistura e dispersão da fase borrachosa em blendas PVC/NBR. **Polímeros**, São Carlos , v. 16, n. 3, p. 174-181, 2006 .
- PELES, Z.; ZILBERMAN, M. **Novel soy protein wound dressings with controlled antibiotic release: Mechanical and physical properties**. Acta Biomaterialia, v. 8, p. 209-217, 2012.
- PENG, Y.; et al. **Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH**. Journal of Food Engineering, v. 295, p. 1-9, 2020.
- PREECE, K. E.; HOOSHYAR, N.; ZUIDAM, N., J. **Whole soybean protein extraction processes: A review**. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 43, p. 163-172, 2017.
- POSSENTI, A. et al. **Efeito da Temperatura e do Tempo de Residência no Rendimento do Processo de Obtenção da Proteína Isolada de Soja**. Anuário Pesquisa e Extensão, Unoesc Videira, v. 2, p. 1- 12, 2017.
- QI, G.; LI, N.; WANG, D. **Adhesion and Physicochemical Properties of Soy Protein Modified by Sodium Bisulfite**. J Am Oil Chem Soc, v. 90, p. 1917- 1926, 2013.
- RAMJI, K.; SHAH, R. **Electrospun soy protein nanofiber scaffolds for tissue regeneration**. Journal of Biomaterials Applications, v. 1, p. 1-12, 2014

RENKEMA, J. M. S.; GRUPPEN, H.; VLIET, T. V. **Influence of pH and Ionic Strength on Heat-Induced Formation and Rheological Properties of Soy Protein Gels in Relation to Denaturation and Their Protein Compositions.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 50, p. 6064- 6071, 2002.

REIS, P. O trabalho de laboratório na aprendizagem e avaliação em ciências. **Noesis**, v 38, p. 48-50, 1996.

RIBEIRO, Eliana P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2007. p. 24-29

ROMÃO, B. B. **Produção de Etanol por Hidrólise Ácida de Melaço de Soja.** 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

RIGO, A. A. **Obtenção e Caracterização de Farinhas de Soja das Cultivares BRS 267, BRS 257 e VMAX.** 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2015.

SABINO, G. et al. **Proposta de uma metodologia para o ensino da estrutura e função das proteínas na disciplina Bioquímica.** Revista de Ensino de Bioquímica, v. 7, n. 1, p. 41–59, 25 fev. 2009.

SARI, Y. et al. **Towards plant protein refinery: Review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance.** Biotechnology Journal, v.10, p. 1138-1157, 2015.

SILVA, M. S. et al. **Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 3, p. 571–576, set. 2006.

SCREMIN, F. F. **Estabilidade Térmica de Filmes Biodegradáveis Produzidos a Base Proteína de Soja e Amido de Milho.** 2004. 29 f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, M. B. **Investigação do Efeito de Variáveis de Processo sobre o Rendimento do Isolado de Proteína de Soja em uma Planta Industrial.** 2014. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SONG, F. et al. **Biodegradable Soy Protein Isolate-Based Materials: A Review.** Biomacromolecules, v. 12, p. 3369-3380, 2011.

SOUZA, R. L. de. **Estudo sobre Eletrofiliação da Quitosana.** 2016. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

TORREZAN, R.; CRISTIANINI, M. **Revisão: Efeito do Tratamento Sob Alta Pressão Sobre as Propriedades Funcionais da Proteína de Soja e Interação Proteína – Polissacarídeos.** v. 23, n. 2, p. 20, 2005.

VARSHNEY, N; et al. **Soy protein isolate supplemented silk fibroin nanofibers for skin tissue regeneration: Fabrication and characterization.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 160, p. 112-127, 2020.

VENTURELLI, R. B.; GRIPA, S. Eletrofição: uma alternativa para a produção de não tecidos. **Brusque: Revista UNIFEBE**, v.1, n .2, p. 127, 22 de Dez. 2017.

WANG, H. et al. **Effect of the condition of spray-drying on the properties of the polypeptide-rich powders from enzyme-assisted aqueous extraction processing.** Drying Technology an International Journal, v. 37, p. 2105- 2115, 2019.

WANG, H. et al. **Fabrication and Characterization of PVA/SPI/SiO₂ Hybrid Fibres via Electrospinning Technique.** Polymers and Polymer composites, v. 20, p. 621-628, 2012.

WONGKANYA, R. et al. **Electrospinning of alginate/soy protein isolate nanofibers and their release characteristics for biomedical applications.** Journal of Science: Advanced Material and Devices, v 2, p. 309-316, 2017.