

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANNA BEATRIZ BUSARANHO PEREIRA

**INFLUÊNCIA DO pH EM FORMULAÇÕES FILMOGÊNICAS À BASE DE GELATINA
E NANOCRISTAIS DE CELULOSE BACTERIANA**

Ilha Solteira
2023

ANNA BEATRIZ BUSARANHO PEREIRA

INFLUÊNCIA DO pH EM FORMULAÇÕES FILMOGÊNICAS À BASE DE GELATINA
E NANOCRISTAIS DE CELULOSE BACTERIANA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira -UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Materiais. Área de concentração: Química dos Materiais.

Prof^a. Dr^a. Marcia Regina de Moura Aouada
Orientadora

Prof. Dr. Caio Gomide Otoni
Coorientador

Ilha Solteira

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P436i Pereira, Anna Beatriz.
Influência do pH em formulações filmogênicas à base de gelatina e nanocristais de celulose bacteriana / Anna Beatriz Pereira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
54 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Química dos Materiais, 2023

Orientador: Marcia Regina de Moura Aouada
Coorientador: Caio Gomide Otoni
Inclui bibliografia

1. Nanocristais. 2. Celulose bacteriana . 3. Propriedades mecânicas . . Nanocompositos.

Elaborada por Raiane da Silva Santos - CRB/8-9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Influência do pH em formulações filmogênicas à base de gelatina e nanocristais de celulose bacteriana

AUTORA: ANNA BEATRIZ BUSARANHO PEREIRA

ORIENTADORA: MARCIA REGINA DE MOURA AOUADA

COORDENADOR: CAIO GOMIDE OTONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência dos Materiais, área: Química dos Materiais pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARCIA REGINA DE MOURA AOUADA (Participação Virtual)
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Dr. FABRÍCIO CERIZZA TANAKA (Participação Virtual)
Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. VANUSCA DALOSTO JAHNO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Química / Universidade Feevale



Documento assinado digitalmente
VANUSCA DALOSTO JAHNO
Data: 23/10/2023 10:59:35-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Ilha Solteira, 22 de setembro de 2023



Documento assinado digitalmente
FABRÍCIO CERIZZA TANAKA
Data: 23/10/2023 13:58:01-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas decisões;

À minha namorada, Ana Caroline, que nunca me deixou desistir, e que sempre acreditou em mim;

À minha orientadora, Márcia de Moura, e meu coorientador, Caio Otoni, pela paciência, dedicação e empenho em terminar esse mestrado comigo;

Ao GCNH, por ter aberto suas portas a mim e me mostrado como a pesquisa é feita;

À Embrapa, pelo suporte em tantas análises;

Ao grupo Polímeros, do professor Malmonge, pela assistência com tantos resultados;

Ao programa de pós-graduação PPGCM;

Às agências de fomento, CNPq, CAPES e FAPESP, pelo auxílio financeiro.

RESUMO

A necessidade de transformar a maneira como a sociedade lida com matérias primas virgens e seus produtos, muitas vezes de uso único, devido ao crescente consumo e descarte de materiais, faz com que seja reavaliado o modelo econômico atual. A economia circular tem como um de seus objetivos diminuir o uso dessas matérias primas, como os combustíveis fósseis, assim como o descarte desenfreado de materiais que demoram centenas de anos para serem degradados na natureza. Ao reutilizar produtos até então classificados como descarte e produzir novos materiais biodegradáveis, espera-se diminuir o impacto socioambiental de tais produtos. Com esses esforços em mente, objetivou-se, neste trabalho, desenvolver materiais baseados em polímeros naturais, potencialmente biodegradáveis e com propriedades mecânicas e de barreira competitivas e manipuladas pela nanotecnologia. De forma específica, produziram-se filmes nanocompósitos baseados em gelatina e reforçados com nanocristais de celulose bacteriana (NCCB) isolados de resíduos industriais. Os NCCB apresentaram diâmetro e comprimento médios de 8 nm, respectivamente, além de índice de cristalinidade de 81%. Para potencializar a interação entre matriz e reforço através de interações eletrostáticas, determinou-se, por mobilidade eletroforética, o pH ideal no qual gelatina e NCCB apresentavam cargas elétricas opostas maximizadas. Filmes controle, formulados em pH 6,5, bem como filmes obtidos em pH 3, foram caracterizados quanto a barreira à umidade, propriedades mecânicas sob tração, morfologia (MEV), molhabilidade, estrutura cristalina (DRX) e estabilidade térmica. Os resultados mostraram que o aumento da concentração de nanocristais e acidificação solução filmogênica causou modificações nas propriedades mecânicas, sendo o filme com 5% NCCB e pH 3 o que demonstrou mudanças mais significativas. O parâmetro de WVP não apresentou mudança significativa entre os filmes controle e filmes com pH 3, o pH causa um aumento da hidrofobicidade dos filmes e uma diminuição na temperatura de degradação.

Palavras Chave: Nanocristais, celulose bacteriana, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The need to transform the way society deals with virgin raw materials and their byproducts, often with single use purpose, due to increasing consumption and waste, makes the current economic model to be reevaluated. Circular economy have as one of its goals to lower the use of said raw materials, such as fossil fuels, and to lower the unbridled waste of materials that takes hundreds of years to be decomposed. By reutilizing products that once was considered waste and to produce new biodegradable materials with it, it is expected that the socialenvironmental impact of said products will slow down. With these efforts in mind, this Project expected to develop materials with natural polymers, potentially biodegradable and with mechanical and barrier Properties that are competitive and manipulated by nanotechnology. Specifically, it was produced nanocomposites films based on gelatin and reinforced with cellulose nanocrystals (CNC) isolated from industrial residue. The CNC have diameter of 8 nm and crystallinity of 81%. To potencialize the interaction between matrix and reinforcing agente through electrostatic interactions, it was determined through electrophoretic Mobility, the ideal pH in which the gelatina and CNC had oposing maximized eletric charges. Control films, formulated in pH 6,5, as well as films with pH 3, were carachterized through humidity barrier, mechanical properties under traction, morphology, wetability, cristaline structure (XRD) and thermal stability. The results showed that the increase in cellulose nanocrystals and acidity of the filmogenic solution caused change in mechanical Properties, and the film with 5% BCNC and pH 3 was the one showing more significant changes. The WVP parameter didn't show significant change, the pH causes na increase in hidrofility and a decrease of the degradation temperature.

Key words: Nanocrystals, bacterial cellulose, mechanical properties

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Estrutura química da gelatina	19
Figura 2 — Estrutura química da celulose	20
Figura 3 — Representação do conceito de economia circular	17
Figura 4 — Processo de síntese dos NCCB. (a) celulose bacteriana em pó; (b), (c) e (d) indicam o processo de agitação; (e) e (f) a centrifugação; (g) o período de diálise; (h) os NCCB prontos.	24
Figura 5 — Fluxograma da preparação das formulações filmogênicas (a) água deionizada; (b) gelatina em pó; (c) gelatina e água em agitação até solubilização; (d) NCCB, adicionados à solução de gelatina; (e) formulação agitada em UltraTurrax; (f) formulação depositada em poliéster para secagem.	26
Figura 6 — Fotografias dos filmes obtidos: (a) Filme 100% gelatina; (b) Filme contendo 2,5% de NCCB; (c) Imagem com todos os filmes obtidos, lado a lado.	27
Figura 7 — Célula contendo o filme utilizado para as medidas de permeabilidade ao vapor de água	29
Figura 8 — Curva de potencial Zeta de soluções aquosas de gelatina.....	33
Figura 9 — Curva de potencial Zeta de suspensões aquosas de nanocristais de celulose bacteriana	33
Figura 10 — Imagem de AFM dos nanocristais de celulose bacteriana.....	34
Figura 11 — Difração de Raios-X dos NCCB.....	35
Figura 12 — Comparação de valores de Tensão Máxima entre os filmes controle e com pH 3. Diferentes letras na figura indicam diferença significativa entre os resultados a $p < 0,05$. Ou seja, $a \neq b \neq c \neq d$	37
.....	37
Figura 13 — Comparação de valores de alongação na ruptura entre os filmes controle e com pH 3.....	38
Figura 14 — Modulo de elasticidade dos filmes controle	39
Figura 15 — Permeabilidade ao vapor de água dos filmes controle e com pH 3.....	40
Figura 16 — MEV dos filmes controle, sem modulação de pH. (a) 2% Gelatina; (b) 2,5% NCCB; (c) 5% NCCB; (d) 10% NCCB.....	42
Figura 17 — MEV dos filmes com pH ácido. (a) 2% Gelatina; (b) 2,5% NCCB; (c) 5% NCCB; (d) 10% NCCB	42
.....	42
Figura 18 — MEV de ruptura de filme 2,5% NCCB com pH ácido	43
Figura 19— Raios-X dos filmes controle	44
Figura 20— Difração de Raios-X dos filmes com pH 3	45
Figura 21— Molhabilidade dos filmes controle.....	46
Figura 22— Molhabilidade para filmes com pH 3.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – índice de cristalinidade dos filmes controle.....	44
Tabela 2 – índice de cristalinidade dos filmes com pH 3.....	45
Tabela 3 – Temperatura de decomposição dos filmes controle e pH 3.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NCCB – nanocristais de celulose bacteriana

CB – celulose bacteriana

NFCB – nanofibras de celulose bacteriana

2%G – filmes de gelatina e 0% nanocristais de celulose bacteriana

2,5%NCCB – filmes de gelatina e 2,5% nanocristais de celulose bacteriana

5%NCCB - filmes de gelatina e 5% nanocristais de celulose bacteriana

10%NCCB - filmes de gelatina e 10% nanocristais de celulose bacteriana

PTFE - politetrafluoretileno

DRX – difração de raios-X

AFM – microscopia de força atômica

WVP – permeabilidade ao vapor de água

MEV – microscopia eletrônica de varredura

TG - termogravimetria

LISTA DE SÍMBOLOS

° - graus

Nm – nanometro

mL – mililitros

L – litros

g - gramas

SUMÁRIO

	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	GELATINA..... Erro! Indicador não definido.	
2.2	CELULOSE	19
2.3	EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS.....	21
2.4	NANOCOMPÓSITOS.....	20
2.5	ECONOMIA CIRCULAR.....	17
3	OBJETIVOS	22
3.1	OBJETIVO GERAL.....	22
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	22
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	23
4.1	MATERIAL	23
4.2	MÉTODOS	23
4.2.1	Isolamento dos nanocristais de celulose bacteriana	23
4.2.2	Caracterização dos nanocristais de celulose bacteriana	24
4.2.2.1	Morfologia.....	24
4.2.2.2	Potencial zeta aparente.....	25
4.2.3	Preparo das formulações filmogênicas	25
4.2.4	Preparação dos filmes	26
4.2.5	Caracterização dos filmes nanocompósitos	27
4.2.5.1	Espessura	27
4.2.5.2	Propriedades mecânicas	27
4.2.5.3	Permeabilidade ao vapor de água (WVP)	28
4.2.5.4	Difração de Raio-X	30
4.2.5.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	30
4.2.5.6	Termogravimetria (TG)	30
4.2.5.7	Ângulo de Contato.....	30
4.2.5.8	Tratamento estatístico	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS	32
5.1.1	Tamanho médio e potencial Zeta das nanopartículas	32
5.1.1.1	Potencial Zeta.....	32
5.1.1.2	Microscopia de Força Atômica (AFM)	34
5.1.2	Difração de Raio-X	35
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....	35
5.2.1	Propriedades mecânicas	35
5.2.2	Permeabilidade ao vapor de água (WVP)	40
5.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	41
5.2.4	Difração de Raios-X	43

5.2.5	Molhabilidade.....	45
5.2.6	Termogravimetria (TG).....	48
6	CONCLUSÃO	50
7	IMPACTOS/RELEVÂNCIA CIENTÍFICO-SOCIAL	52

1 INTRODUÇÃO

A crescente crise econômica e ambiental causada pelo sistema linear de economia atual, em que um material é fabricado, utilizado e jogado fora, tornou-se inviável devido ao crescimento do consumo humano (Khan et al., 2022).

Na intenção de mudar esse cenário mundial, procura-se por em prática a chamada economia circular, em que a atual economia linear é fechada, e torna-se objetivo reutilizar resíduos ou materiais que, na economia atual, seria considerados sem utilidade, reduzir o uso de chamados “materiais virgens” (combustíveis fósseis, minerais e metais, por exemplo) e reciclar materiais (Boonman et al., 2022). Sendo assim, um dos maiores desafios da economia circular se encontra em solucionar os problemas ambientais atuais. Um desses problemas, é o plástico, de acordo com mapeamento da União Europeia (Colijn et al., 2022). O plástico é feito a partir de combustíveis fósseis, um tipo de material virgem que a economia circular deseja diminuir o consumo. Seu tempo de degradação chega a 500 anos, e 40% de seu uso é destinado para embalagens para alimentos (Yates et al., 2019).

Com o interesse de diminuir esse consumo, bem como encontrar alternativas sustentáveis e biodegradáveis, iniciou-se uma busca a um material que, ainda que natural, fosse capaz de reproduzir as propriedades físicas e químicas (propriedades mecânicas, propriedades de permeabilidade a vapor) do plástico. Filmes feitos com polímeros naturais, como gelatina, amido e pectina são, muitas vezes, não tóxicos, biodegradáveis, biocompatíveis e hidrofílicos. (Pacheco et al., 2021). Entretanto, filmes puros de proteínas possuem pobres valores de permeabilidade a vapor, permitindo maior troca de moléculas de água entre os dois lados do filme, e de propriedades mecânicas (Said et al., 2022), tornando-os filmes pouco resistentes, diminuindo seu principal papel de proteção como embalagem.

Uma alternativa para melhorar ou até mesmo potencializar as propriedades físico-químicas desejadas no material, é a inserção de um segundo material, que contenha as propriedades desejadas, para que atua como um reforço ao primeiro material. Essa junção de materiais é conhecida como nanocompósitos.

Nanocompósitos são materiais formados a partir de dois ou mais materiais, sendo pelo menos um deles na escala nanométrica. A intenção de formar um nanocompósito é melhorar as propriedades físico-químicas dos materiais envolvidos

(Sethi et al., 2022). Os nanocompósitos tornam possível, por exemplo, o melhoramento das propriedades mecânicas e de barreira da gelatina, utilizando um material nanométrico que, comprovadamente, auxilia na melhora destas propriedades. Podem também ser categorizados em dois frentes: embalagens ativas/melhoradas e embalagens inteligentes (Sharma et al., 2017). Para embalagens ativas, é possível a adição de, por exemplo, compostos com características antimicrobianas, como óleos essenciais e partículas de prata, para evitar o crescimento e proliferação de bactérias (de Moura et al., 2012). Para embalagens inteligentes, indicadores de frescor, bio sensores e sensores de gás oferecem interação entre alimento e embalagem, dando ao consumidor um indicador visual do estado de conservação do alimento (Jayakumar et al., 2022).

As embalagens de alimentos estão em constante evolução, sendo utilizadas como proteção contra luz, choques mecânicos, trocas gasosas, de umidade, e até mesmo como marketing. Com essa evolução, notou-se a necessidade de acompanhar uma demanda ambiental e tecnológica, surgindo as embalagens biodegradáveis e inteligentes.

6 CONCLUSÃO

A partir dos dados apresentados, é possível notar que filmes com pH ácido apresentaram mudança em comportamento mecânico, assim como alterações em sua morfologia e cristalinidade. Os filmes com concentração de 5% NCCB possuem maior desempenho mecânico, aliado a menos formação de defeitos superficiais na forma de coacervatos, tornando-o um bom candidato para uso em embalagens e mantiveram suas propriedades de barreira ao vapor d'água em pH ácido. Foi possível observar que a simples adição de nanocristais à matriz, mesmo sem fazer a modificação de pH, não causou uma modificação na propriedade de barreira ao vapor d'água, que as propriedades mecânicas foram significativamente modificadas e causaram um aumento na hidrofiliabilidade do material. O uso de gelatina, aliado a economia circular de reutilização de retalhos de celulose bacteriana proveniente da indústria, faz com que o estudo seja extremamente relevante para a tentativa de tornar o mercado de embalagens cada vez mais sustentável, além de diminuir os custos de produção do material, quando aplicado a larga escala. O estudo contribuiu para o desenvolvimento de inserção de nanocristais em embalagens.

7 IMPACTOS/RELEVÂNCIA CIENTÍFICO-SOCIAL

A presente proposta se enquadra na demanda de embalagens mais sustentáveis. No geral, as embalagens preparadas no trabalho atendem as necessidades do mercado de manuseabilidade e continuidade.

A proposta auxilia novas pesquisas no grupo e contribui para a formação qualificada de recursos humanos.

8 REFERÊNCIAS

Abdelhedi, O., Salem, A., Nasri, R., Nasri, M., Jridi, M., Food applications of bioactive marine gelatin films, *Current Opinion in Food Science*, v. 43, 2022

Abitbol, T., Rivkin, A., Cao, Y., Nevo, Y., Abraham, E., Ben-Shalom, T., Lapidot, S., Shoseyov, O., Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications, *Current Opinion in Biotechnology*, v. 39, 2016

Alam, A.K.M.M.; Shubhra, Q.T.H. Surface modified thin film from silk and gelatin for sustained drug release to heal wound., *J. Mater. Chem.*, v. 3, 2015

Alipal, J., Mohd Pu'ad, N.A.S., Lee, T.C., Sahari, N., Basri, H., Idris, M.I., Abdullah, H.Z. A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation, *Materials Today: Proceedings*, v. 42, 2021

Ahmed, J. Rheological properties of gelatin and advances in measurement. In *Advances in food rheology and its applications*, p. 377–404, 2017

Ahsan, S. M., & Rao, C. M. Structural studies on aqueous gelatin solutions: Implications in designing a thermo-responsive nanoparticulate formulation. *International Journal Of Biological Macromolecules*, v. 95, p. 1126–1134, 2017

Azeredo, H.M.C., Rosa, M.F., Mattoso, L.H.C., Nanocellulose in bio-based food packaging applications. *Industrial Crops and Products*, v. 97, 2017

Barud, H.G.O, Silva, R.R., Barud, H.S., Tercjak, A., Gutierrez, J., Lustri, W.R., Oliveira, O.B., Ribeiro, S.J.L. A multipurpose natural and renewable polymer in medical applications: Bacterial cellulose, *Carbohydrate Polymers*, v. 153, 2016

Barzegar, S., Monfared, M.H.A., Hubbe, M.A., Cellulose and lignin as propitious candidates for preparation of hydrogels for pharmaceutical applications, *Materials Today Communications*, v. 33, 2022

Bhargava, N., Sharanagat, V.S., Mor, R.S., Kumar, K. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review, *Trends in Food Science & Technology*, v. 10, 2020

Boonman, H., Verstraten, P., van der Weijde, A.H., Macroeconomic and environmental impacts of circular economy innovation policy, *Sustainable Production and Consumption*, v. 35, 2022

Colijn, I., Fraiture, F., Gommeh, E., Schroën, K., Metze, T., Science and media framing of the future of plastics in relation to transitioning to a circular economy, *Journal of Cleaner Production*, v. 370, 2022

De Moura, M.R., Mattoso, L.H.C., Zucolotto, V., Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging, *Journal of Food Engineering*, v. 109, 2012

Etxabide, A., Yang, Y., Maté, J.I., Caba, K., Kilmartin, P.A., Developing active and intelligent films through the incorporation of grape skin and seed tannin extracts into gelatin, [Food Packaging and Shelf Life](#), v. 33, 2022

George, Johnsy, Siddaramaiah, High performance edible nanocomposite films containing bacterial cellulose nanocrystals, *Carbohydrate Polymers*, v. 87, p. 2031-2037, 2012

Gong, J., Kuang, Y., Zhang, X., Luan, P., Xiang, P., Liu, K., Mo, L., Xu, J., Li, J., Wan, J., Efficient Shaping of Cellulose Nanocrystals Based on Allomorphic Modification: Understanding the Correlation between Morphology and Allomorphs. *Biomacromolecules*, v. 23, p. 687-698, 2022

Hamann, D., Puton, B.M.S., Comin, T., Colet, R., Valduga, E., Zeni, J., Steffens, J., Junges, A., Backes, G.T., Cansian, R.L., Active edible films based on green tea extract and gelatin for coating of fresh sausage, *Meat Science*, v. 194, 2022

Huo, W., Wei, D., Zhu, W., Li, Z., Jiang, Y., High-elongation zein films for flexible packaging by synergistic plasticization: Preparation, structure and properties, *Journal of Cereal Science*, v.79, 2018

Ismail, M.F., Islam, M.A., Khorshidi, B., Tehrani-Bagha, A., Sadrzadeh, M., Surface characterization of thin-film composite membranes using contact angle technique: Review of quantification strategies and applications, *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 299, 2022

Jayakumar, A., Sabarish, R., Kim, J.T., Rhim, J.W., Nandi, D., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S., Recent innovations in bionanocomposites-based food packaging films – A comprehensive review, *Food Packaging and Shelf Life*, v. 33, 2022

Jung, H.I., Lee, O.M., Jeong, J.H. et al. Production and Characterization of Cellulose by *Acetobacter* sp. V6 Using a Cost-Effective Molasses–Corn Steep Liquor Medium. *Appl Biochem Biotechnol*, v. 162, p. 486–497, 2010

Jusoh, N.A.M., Isa, M.I.N., Sarbon, N.M., Physical, mechanical and antioxidant properties of chicken skin gelatin films incorporated with virgin coconut oil, [Biocatalysis and Agricultural Biotechnology](#), v. 45, 2022

Kanth, A. P., Soni, A. K., Application of nanocomposites for conservation of materials of cultural heritage, *Journal of Cultural Heritage*, v. 59, 2022

Kaszuba, M. High-concentration zeta potential measurements using light-scattering techniques. *Philosophical Transactions A Math Phys Eng Science*, v. 368, p. 4439 - 4451, 2010

Khan, K., Su, C.W., Khurshid, A., Circular Economy: the silver bullet for emissions? *Journal of Cleaner Production*, v. 379, 2022

Leite, L.S.F., Ferreira, C.M., Corrêa, A.C., Moreira, F.K.V, Mattoso, L.H.C., Scaled-up production of gelatin-cellulose nanocrystal bionanocomposite films by continuous casting, *Carbohydrate Polymers*, v. 238, 2021

Leite, L.S.F., Moreira, F.K.V, Mattoso, L.H.C & Bras, J. Electrostatic interactions regulate the physical properties of gelatin-cellulose nanocrystals nanocomposite films intended for biodegradable packaging. *Food Hydrocolloids*, v. 113, 2017

Lewis, J.A., Organic Processing Additives, *Encyclopedia of Materials Science and Technology*, 2001

Lima, L.R, Santos, D.B., Santos, M.V., Barud, H.S., Henrique, M.A., Pasquini, D., Pecoraro, E., Ribeiro, S.J.L. Nanocristais de celulose a partir de celulose bacteriana. *Química Nova*, v.38, n.9, p. 1140-1147, 2010

Nur Hanani, Z.A., Roos, Y.H., Kerry, J.P., Use of beef, pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties, *Food Hydrocolloids*, v. 29, 2012

Otoni, C.G., Avena-Bustillos, R.J., Azeredo, H.M.C., Lorevice, M.V., Moura, M.R., Mattoso, L.H.C., McHugh T.H., Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 16, 2017

Prathapan, R., Thapa, R., Garnier, G., Tabor, R. Modulating the zeta potential of cellulose nanocrystals using salts and surfactants, [Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects](#), v. 509, p. 11-18, 2016

Riley, A., Basics of Polymer Chemistry for Packaging Materials, Packaging Technology, 2012, p. 262-286

Risch, S.J., Food Packaging History and Innovations, J. Agric. Food Chem, v. 57, 2009

Said N.S., Sarbon, N.M., Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. Membranes, v. 12, 2022

Shafizah, S., Izwan, A.R.S., Fatirah, F. and Hasraf, M.N.N., Review on cellulose nanocrystals (CNCs) as reinforced agent on electrospun nanofibers: mechanical and thermal properties. Materials Science and Engineering, v. 440, 2018

Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H., Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging, Frontiers in Microbiology, v. 8, 2017

Saranti, T.F.S., Melo, P.T.S., Cerqueira, M.A., Aouada, F.A., de Moura, M.R., Performance of Gelatin Films Reinforced with Cloisite Na⁺ and Black Pepper Essential Oil Loaded Nanoemulsion, Polymers, v. 13, 2021

Sethi, S., Medha, Kaith, B. S., A review on chitosan-gelatin nanocomposites: Synthesis, characterization and biomedical applications, Reactive and Functional Polymers, v. 179, 2022

Timilsena, Y.P., Akanbi, T.O., Khalid, N., Adhikari, B., Barrow, C.J., Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation, *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 121, 2019

Wang, P., Li, Y., Que, F., Weiss, J., Zhang, H., Characterization and antioxidant activity of trilayer gelatin/dextran-propyl gallate/gelatin films: Electrospinning versus solvent casting, *LWT - Food Science and Technology*, v. 128, 2020

Xie, Y., Niu, X., Yang, J., Fan, R., Shi, J., Ullah, N., Feng, X., Chen, L. Active biodegradable films based on the whole potato peel incorporated with bacterial cellulose and curcumin, *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 150, 2020

Yates, J., Deeney, M., White, H., Joy, E., Kalamatianou, S., & Kadiyala, S. PROTOCOL: Plastics in the food system: Human health, economic and environmental impacts. A scoping review. *Campbell Systematic Reviews*, v.15, 2019

Zahan, K.A., Azizul, N.M., Mustapha, M., Tong, W.Y., Rahman, M. S. A., Sahuri, I.S., Application of bacterial cellulose film as a biodegradable and antimicrobial packaging material. *Materials Today: Proceedings*.