



GUILHERME ANTÔNIO CARVALHO DA CRUZ

**EFEITO DA COMPOSIÇÃO NO INTUMESCIMENTO DE
HIDROGÉIS BIOPOLIMÉRICOS**

**LAVRAS - MG
2021**

GUILHERME ANTÔNIO CARVALHO DA CRUZ

**EFEITO DA COMPOSIÇÃO NO INTUMESCIMENTO DE HIDROGÉIS
BIOPOLIMÉRICOS**

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

Prof. Dr. Juliano Elvis Oliveira
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

GUILHERME ANTÔNIO CARVALHO DA CRUZ

**EFEITO DA COMPOSIÇÃO NO INTUMESCIMENTO DE HIDROGÉIS
BIOPOLIMÉRICOS**

EFFECT OF COMPOSITION ON BIOPOLYMERIC HYDROGELS SWELLING

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

APROVADA em 26 de novembro de 2021.

Dr. Juliano Elvis de Oliveira - UFLA

Dra. Daniela Rodrigues Borba Valadão - UFLA

Msc. Caio Vinicius Lima Natarelli- UFLA

Prof. Dr. Juliano Elvis Oliveira
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

RESUMO

Hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais que possuem a capacidade de reter elevada quantidade de água ou fluidos biológicos, graças às suas características físico-químicas. Desta forma, trata-se de um material bastante versátil, que através do controle de sua estrutura e propriedades pode ser aplicado nas mais diversas áreas, como por exemplo a agricultura e medicina. Esse estudo objetivou desenvolver hidrogéis de blendas entre um polissacarídeo (pectina) e uma proteína (albumina), com diferentes concentrações, e caracterizá-los quanto ao seu grau e cinética de intumescimento. Para elaboração dos hidrogéis foram produzidas blendas biopoliméricas utilizando pectina e albumina comerciais nas proporções de 0/100, 5/95, 15/85 e 25/75 m/m (pectina/albumina), sendo adicionado 2,5 ml de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M. Os hidrogéis foram caracterizados quanto ao seu grau de intumescimento em água com pH 4, 7 e 9, e em temperaturas de 30°C, 37°C e 40°C. Os resultados para o grau de intumescimento dos hidrogéis indicam que para o valor de pH 7, o hidrogel com maior concentração de albumina apresenta aumento de seu grau de intumescimento, devido ao enfraquecimento das ligações de hidrogênio com aumento da temperatura. Com relação aos resultados da cinética de intumescimento, o hidrogel mostrou se tratar de um material que em que a difusão do solvente é mais lenta que o relaxamento da cadeia polimérica, tendo então um tempo maior para que ocorra a difusão do solvente no hidrogel. Além disso, este não sofre grandes interferências na constante de difusão da água, nos diferentes pH e temperaturas analisadas. Logo, esse hidrogel desenvolvido por blendas biopoliméricas, tem características que demonstram sua boa capacidade de absorver altas quantidades de solventes, sem sofrer grandes interferências pelas condições do meio que fora imposta.

Palavras-chave: albumina, pectina, hidrogel, intumescimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da Albumina do ovo.....	9
Figura 2 – Estrutura química da cadeia de pectina.....	11
Figura 3 – Preparo da albumina com agitação e temperatura.....	15
Figura 4 – Preparo da solução da pectina com agitação e temperatura.....	15
Figura 5 – Preparo do hidrogel de pectina e albumina, na presença de agitação e NaOH.....	16
Figura 6 – Hidrogel após ter sido submetido ao processo de secagem.....	16
Figura 7 – Dependência do grau de intumescimento em função do tempo para o hidrogel de albumina/pectina, com diferentes composições a $30,0 \pm 0,1$ °C em pH 7.....	23
Figura 8 – Grau de intumescimento de hidrogel com 100% albumina em pH (4, 7 e 9).....	24
Figura 9 – Grau de intumescimento de hidrogel com 95% albumina e 5% pectina em pH (4, 7 e 9).....	25
Figura 10 – Grau de intumescimento de hidrogel com 85% albumina e 15% pectina em pH (4, 7 e 9).....	25
Figura 11 – Grau de intumescimento de hidrogel com 75% albumina e 25% pectina em pH (4, 7 e 9).....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 4 e diferentes temperaturas.....	18
Tabela 2 – Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 7 e diferentes temperaturas.....	18
Tabela 3 – Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 9 e diferentes temperaturas.....	18
Tabela 4 – Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 4.....	20
Tabela 5 – Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 7.....	20
Tabela 6 – Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 9.....	21
Tabela 7 – Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 4.....	22
Tabela 8 – Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 7.....	22
Tabela 9 – Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 9.....	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	8
3	OBJETIVOS.....	8
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	9
4.1	Albumina.....	9
4.2	Pectina.....	10
4.3	Hidrogéis.....	12
4.4	Grau de intumescimento	12
4.5	Cinética do intumescimento	13
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
5.1	Materiais.....	14
5.2	Síntese do hidrogel.....	14
5.2.1	Preparação da solução de albumina.....	14
5.2.2	Preparação da solução de pectina.....	15
5.2.3	Preparação do hidrogel.....	15
5.2.4	Grau de intumescimento.....	16
5.2.5	Metodologia de estudos comparativos entre artigos.....	17
6	RESULTADOS.....	17
6.1	Grau de intumescimento.....	17
6.2	Cinética do intumescimento.....	19
6.3	Estudos comparativos do grau de intumescimento com outros tipos de hidrogéis.....	22
6.3.1	Hidrogéis de polissacarídeo.....	22
6.3.2	Hidrogel a base de POE (polioxietileno)-PQP (polioxipropileno).....	23
7	CONCLUSÕES.....	26
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	28
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Os hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais, hidrofílicas, e pode ser quimicamente estável ou podem eventualmente degradar. Eles podem absorver grandes quantidade de água ou fluidos biológicos, além de sua boa flexibilidade e biocompatibilidade. Eles são reversíveis, podendo ser dissolvidos, mudando o meio em que são inseridos, como temperatura e pH (MANSUR et al. (2004). Além disso, devido a sua porosidade, seu alto teor de água, e consistência macia, são ótimos em estimulação dos tecidos vivos. Essa semelhança abre sua utilização em áreas biomédicas. Atualmente, eles são utilizados para a fabricação de lentes de contato, produtos de higiene, sistema de distribuição de fármacos e curativos para feridas.

São diversos os materiais que podem ser utilizados para a fabricação de hidrogéis, que diferem entre si desde sua obtenção até os métodos para que se gere o hidrogel. Entre esses materiais alguns são mais comuns de encontrar no mercado e em algumas pesquisas, como por exemplo a quitosana, a xantana, o polimetilmetacrilato (PMMA), e pectina/albumina.

A utilização da albumina em hidrogéis tem sua finalidade devido sua facilidade de obtenção, já que ela é a principal proteína do ovo, e sua propriedade em realizar gelatinização, ou seja sua estrutura química permite que ele atue como um ligante entre outros materiais, gerando uma matriz viscoelástica. Além de ser solúvel em água ter boas propriedade como sua biocompatibilidade e biodegradabilidade. Já a pectina são moléculas hidrofílicas, obtidas de fontes vegetais, que vão absorver muita água, atuando como uma esponja.

Neste contexto, este trabalho tem como principal enfoque é caracterizar o grau e cinética de intumescimento do hidrogel biopoliméricos, a partir da albumina e pectina, em diferentes proporções, temperaturas e pH.

2 QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Muitos dos hidrogéis que são utilizados desde aplicações biológicas até em setores agrícolas são fabricados sinteticamente, devido a busca por características e condições específicas, podendo manter suas propriedades nesses diferentes meios. Essa produção sintética tem um custo elevado, além de ter maior rejeição em seres vivos e gerarem impactos na natureza, por não serem biodegradáveis. Com isso, um dos desafios é alcançar um hidrogel obtido por materiais naturais, que tenha condições de ser utilizados em diferentes meios e manter suas características.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo

Desenvolver e caracterizar o hidrogel a base de albumina e pectina em diferentes proporções.

3.2 Objetivos específicos

Analisar comportamento do hidrogel submetidos em soluções, com diferentes temperaturas e pH;

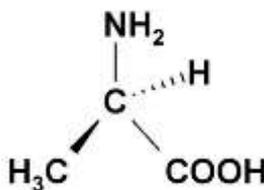
Avaliar os parâmetros cinéticos do hidrogel, com base aos dados obtidos no item acima.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Albumina

A albumina é uma proteína com massa molar de 45 kDA que pode ser encontrada nos ovos (ovoalbumina), representando cerca de 54% das proteínas da clara, e é classificada como uma fosfoglicoproteína por conter, em sua estrutura, carboidratos e fosfatos ligados ao polipeptídeo. (GENNADIOS et al., 1996) A ovoalbumina (ALBo) apresenta 386 resíduos de aminoácidos, sendo metade hidrofóbica e, um terço, carregado negativamente (COLQUE, 2016).

Figura 1 – Estrutura da albumina do ovo.



Fonte: VITRILAB (2019).

Essa proteína alimentar, além de ser solúvel em água e ser um polímero biocompatível e biodegradável, é altamente funcional, pois, além de poder ser utilizada em matrizes alimentícias, é capaz de formar géis, aumentando a viscosidade de soluções e estabilizando emulsões e espumas (BAJPAI; SAINI, 2005; WONGSASULAK et al., 2007). O aumento da temperatura e o tempo de aquecimento influenciam nas ligações entre as moléculas da proteína e da água, aumentando as ligações cruzadas da estrutura do gel (ALMEIDA, 2010).

A ALBo apresenta grupos sulfidrilo (-SH) livres, o que torna possível a sua utilização na formação de biofilmes por meio de tratamentos físico-químicos, nos quais existe uma conversão de tais grupos em ligações dissulfeto (S₂²⁻) (FERNÁNDEZ-ESPADA et al., 2013). Os revestimentos e biofilmes produzidos a partir de proteínas, tal como a ALBo, são boas barreiras ao oxigênio (O₂) e ao gás carbônico (CO₂) quando expostos a umidade (DAVANÇO; TANADA-PALMU; GROSSO, 2007).

O ponto isoelétrico da ALBo é de 4,5, ou seja, sua carga elétrica líquida é igual a zero quando o pH de sua molécula é 4,5, comportando-se como um polímero aniônico acima deste valor (JANA et al., 2014). Esse biopolímeros possui uma glicina acetilada no terminal N e uma prolina no terminal carboxílico, contendo uma única cadeia lateral de carboidrato formada de D-manose (2%) e N-acetilglicosamina (1,2%) (ALMEIDA, 2010). Em solução é facilmente

desnaturada por exposição de sua superfície e é relativamente estável ao tratamento térmico, além de possuir uma estrutura secundária que pode ser alterada pela temperatura e pelo pH (CHEN et al., 2015).

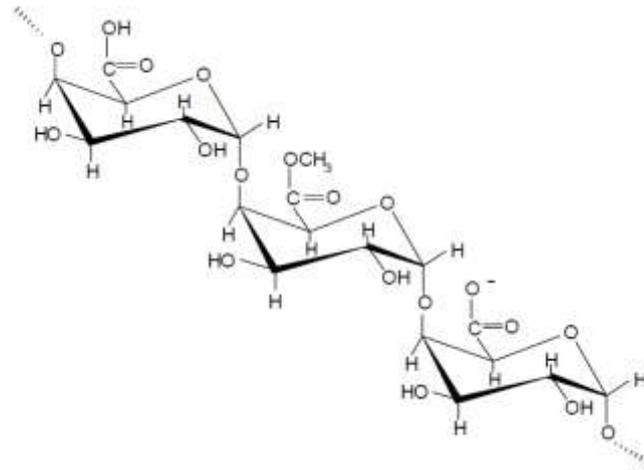
4.2 Pectina

A pectina (PEC) refere-se a uma família de oligossacarídeos e polissacarídeos constituinte da parede celular de plantas dicotiledôneas, responsável pela adesão entre as células e pela resistência mecânica da parede celular. Estes polissacarídeos são macromoléculas altamente hidrofílicas, podendo absorver uma quantidade de água maior do que seu próprio peso molecular (PAREDES, 2015).

A maior parte dos compostos pécticos está presente na matriz e na lamela média da parede celulósica dos vegetais. A associação de PEC entre celulose e hemicelulose origina a protopectina nos tecidos vegetais. A protopectina, de essência insolúvel, é facilmente hidrolisada por aquecimento, em meio ácido, formando pectina (MUNHOZ; SANJINEZ-ARGANDOÑA; SOARES-JÚNIOR, 2010).

A estrutura química da PEC é composta basicamente por uma cadeia linear de ácido galacturônico, substrato proveniente da oxidação no carbono 6 da galactose, ligado por associação α (1,4) em uma cadeia polissacarídeo. Muitas das unidades desse ácido são esterificadas com metanol e o grupo éster pode ser facilmente removido pela ação de enzimas. As cadeias de resíduos galacturonato podem, entretanto, ser interrompidas por unidades de (1 \rightarrow 2)- α -L-ramnose, às quais estão ligadas cadeias laterais, formadas por açúcares neutros. Essas cadeias laterais são responsáveis pela união das moléculas de PEC à matriz polissacarídica da parede celular vegetal (CHEN, FU E LUO ,2016).

Figura 2 – Estrutura química da cadeia de pectina.



Fonte: Hourdet, D. & Muller, G (1991).

As pectinas podem ser subdivididas de acordo com seu grau de esterificação ou metoxilação, que é uma medida da proporção de grupos carboxílicos que estão presentes na forma esterificada. Assim, existem as pectinas de alta esterificação (ATM) ou pectinas HM; pectinas de baixa esterificação (BTM) ou pectinas LM; e pectinas amidadas de baixa esterificação ou pectinas amidadas LM. Aquelas cujo grau de metoxilação é superior a 50% são designadas como pectinas com elevado teor de metoxilas (ATM) e aquelas cujo grau de metoxilação é inferior a 50% são as pectinas com baixo teor de metoxilas (BTM)(COELHO, 2008).

Características como a capacidade de proporcionar firmeza, retenção de sabor e aroma, assim como seu papel como hidrocolóide na dispersão e estabilização de diversas emulsões, dão a PEC um papel importante na tecnologia e no processamento de alimentos. A geração de gel é sua principal característica funcional e resulta, sobretudo, da natureza do meio: pH, teores de sólidos solúveis e cátions divalentes, além de depender dos níveis de pectinas e do seu grau de metoxilação (PAIVA; LIMA, 2009).

Na indústria alimentícia, a PEC vem sendo utilizada na gelificação de marmeladas e geleias além de ser aplicada como espessante, emulsificante e estabilizante de produtos lácteos, tais como sorvetes, maioneses e margarinas. Este polissacarídeo, também tem sido manipulado para melhorar as propriedades mecânicas de filmes e revestimentos a base de proteínas (ASISTENTE et al., 2015).

Existem três elementos principais associados à sua natureza que dificultam o estudo das moléculas pécticas. O primeiro é devido ao caráter polimérico e a presença de cargas elétricas, que influenciam a solubilidade, a degradação química, o comportamento hidrodinâmico em

dispersão e iônico, na cromatografia. O segundo está relacionado à estrutura polissacarídica heteropolimérica, abrangendo uma vasta série de unidades estruturais, com diferentes substituintes, formas e tipos de ligação, o que complica sua análise estrutural. Em terceiro lugar há os problemas relativos à extração, ligados à falta de solubilidade dos polissacarídeos pelo tratamento para inativação enzimática e aos agentes de extração e protocolos de obtenção com pectinas de diferentes características. Um entendimento aprofundado da estrutura da PEC e de suas propriedades é necessário para assegurar um produto adequado a cada processo (CANTERI et al., 2012; DE OLIVEIRA et al., 2012).

4.3 Hidrogéis

Os hidrogéis são materiais poliméricos que podem ser utilizados como biomateriais, devido a sua estrutura tridimensional e sua importante capacidade de sofrer intumescimento em água ou em fluidos biológicos, sendo que a massa de água contida no hidrogel após o intumescimento pode variar de 10 a milhares de vezes a sua massa inicial. Suas estruturas são de cadeias poliméricas reticuladas, que possuem um alto teor de água e um fácil transporte de oxigênio, nutrientes e até resíduos. Muitos desses hidrogéis podem sofrer modificações para que apresente uma maior viscoelasticidade e degradabilidade (NASCIMENTO; LOMBELLO, 2016).

Os hidrogéis são classificados quanto a formação de suas cadeias. Quando são utilizados apenas um tipo de monômero são classificados como homopolímeros; se são utilizados mais de um tipo de monômero são classificados como copolímeros; e quando as cadeias poliméricas do hidrogel se emaranham com as cadeias de um outro hidrogel, formando assim as blendas de hidrogéis, são classificados como polímeros interpenetrantes (SILVA; JUNIOR, 2012).

Sua capacidade de ligar com moléculas de água é devido a presença de grupos hidrofílicos, como os grupos aminos, carboxilas e hidroxilas. Essa capacidade é denominada grau de intumescimento, que está ligada proporcionalmente a quantidade de água absorvida pelo hidrogel (PAL; BANTHIA; MAJUMDAR, 2009).

4.4 Grau de intumescimento

A definição de intumescimento pode ser explicada como a quantidade de água absorvida pelo hidrogel. A determinação entre o equilíbrio de intumescimento e a variação dimensional do hidrogel é feita através do equilíbrio hidrofílico/hidrofóbico do mesmo, pela densidade de

reticulação e também pelas interações intermoleculares entre os segmentos do polímero e as moléculas do solvente.

Uma característica importante do intumescimento nos hidrogéis é a taxa de intumescimento, em que essa taxa é determinada pelo tamanho da amostra, a quantidade de sua porosidade, o tipo de sua estrutura porosa, e a temperatura e pH que se encontra a solução. Seu equilíbrio está ligado com a estabilidade alcançada entre a força osmótica, que favorece a absorção do solvente e a força elástica oposta que equilibra o estiramento da rede polimérica e impede sua deformação (Ganji et al., 2010).

4.5 Cinética do intumescimento

Os parâmetros cinéticos de intumescimento são estudados visando avaliar as propriedades cinéticas de absorção de água ou de uma solução no hidrogel. Esse parâmetro é obtido a partir das curvas obtidas pelo grau de intumescimento em diferentes condições. Em cada curva o expoente difusional (n) e a constante de difusão (k) podem ser calculados por:

$$\frac{M_t}{M_{eq}} = kt^n$$

sendo t o tempo, k é a constante de difusão (depende do tipo de hidrogel e do meio de intumescimento), n é o expoente difusional, onde fornece informações sobre o tipo de mecanismo de transporte do hidrogel em uma solução. M_t e M_{eq} são as massas do hidrogel em um tempo t e em equilíbrio (AOUADA; MATTOSO, 2009).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

- Albumina: obtida de um comercio local, com 83% de pureza;
- Pectina: fabricada por Perstorp (Suécia, SWE) sendo de LM;
- NaOH (0,1M)

5.2 Síntese do hidrogel

As formulações do hidrogel de pectina (PEC) e albumina de ovo (ALBo) foi preparada a partir de misturas das soluções pré-constituídas de ALBo e PEC no estado sólido. Serão avaliadas quatro proporções mássicas entre ALBo /PEC: 100/0, 95/5, 85/15, 75/25.

As soluções ao serem preparadas são combinadas e posteriormente ocorre a adição do NaOH em seu meio. A adição desta base forte vai gerar um aumento nas ligações cruzadas da albumina, induzindo a formação do hidrogel. Além disso, em pH básico ocorre uma desprotonação gerando uma menor repulsão de cargas, facilitando a geleificação, pois quanto menor forem as repulsões eletrostáticas e quanto maiores forem a união proteína-proteína, maiores serão a união das cadeias (SGARBIERI, 1998).

5.2.1 Preparação da solução de albumina

Para preparar a solução de albumina foi utilizado uma ALBo (83% pureza) adquirida no comércio local. Em que 10% (m/v) de ALBo foi preparada em um béquer, utilizando como solvente a água deionizada, e sua homogeneização é sob agitação, entre 300 e 500 rpm. Quando a temperatura atinge cerca de $42\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, esta é mantida, e o processo de agitação foi mantido por 20 minutos. Esse processo pode ser visualizado na figura 3.

Figura 3 - Preparo da albumina com agitação e temperatura.



Fonte: Do autor (2021).

5.2.2 Preparação da solução de Pectina

Para preparar a solução de pectina foi utilizado PEC (LHM- baixo grau de metoxilação, $M_w=50$ KDa) fabricada por Perstorp (Suécia, SWE). Em que 6% (m/v) de PEC foi preparada em um béquer, utilizando como solvente água deionizada, e sua homogeneização é com o auxílio do equipamento dispersor/homogeneizador T 10 basic ULTRA-TURRAX®, cuja rotação gira em torno de 8000 a 30000 rpm, possibilitando assim uma melhor homogeneização da solução. Após esse procedimento, essa solução é submetida sob agitação entre 100 e 300 rpm. Quando a temperatura atingir cerca de $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ o processo se mantém por 15 minutos. Esse preparo é visualizado na figura 4 (a e b).

Figura 4- Preparo da solução da pectina com agitação e temperatura.



a- Solução de pectina antes de ser homogeneizada pelo Turrax.



b- Solução de pectina após ser homogeneizada no agitador mecânico.

Fonte: Do autor (2021).

5.2.3 Preparação do hidrogel

Para a produção dos hidrogéis, as soluções de ALBo e PEC foram combinadas em suas devidas proporções e, em seguida, foram acrescentadas 3,5 ml de solução de NaOH (0,1M). Posteriormente, foram submetidas a agitação entre 300 e 500 rpm, até que a consistência do gel fosse alcançada. A obtenção do hidrogel pode ser visualizado na figura 5 (a e b).

Figura 5 - Preparo do hidrogel de pectina e albumina, na presença de agitação e NaOH.



a- Solução de albumina, pectina e NaOH antes de ser submetida a agitação.



b- Formação do hidrogel após a agitação da solução de albumina e pectina.

Fonte: Do autor (2021).

Então, para a secagem dos hidrogéis, os mesmos foram depositados em uma estufa, sem circulação de ar, pelo período de 18 horas sob temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. O hidrogel já seco é observado na figura 6.

Figura 6 - Hidrogel após ter sido submetido ao processo de secagem.



Fonte: Do autor (2021).

5.2.4 Grau de intumescimento

As amostras foram analisadas em triplicatas no ensaio de intumescimento. Essa propriedade foi avaliada por meio de absorção do fluido para amostras em soluções em pH 4, 7 e 9, com temperaturas de 30, 37 e 40°C. As amostras foram preparadas e posteriormente pesadas em balança analítica (o valor corresponde a massa seca inicial ou M_{si}) e colocadas em recipientes contendo 40 ml de solução.

A cada 15 minutos as amostras foram retiradas da imersão, sendo que o excesso do fluido foi removido e, então, as mesmas formas pesadas. Esse processo foi repetido até que os valores da massa se estabilizassem (valor da massa intumescida ou M_i).

O percentual do grau de intumescimento (GI) foi obtido conforme a equação:

$$GI(\%) = \frac{(M_i - M_{si})}{M_i} \times 100$$

5.2.5 Metodologia de estudos comparativos entre artigos

A seleção de artigos foi realizada através da base de periódicos Web of Science, sendo que os critérios de seleção foram artigos que avaliaram a) Análise de grau de intumescimento e cinética de intumescimento de estudo de novos hidrogéis, b) Que diante dessa análise tenham realizado alguma condição de diferença de solução, como pH e temperatura. Dito isso, a análise dos periódicos selecionados encontra-se abaixo.

6 RESULTADOS

6.1 Grau de intumescimento

O grau de intumescimento foi um ensaio utilizado para identificar a capacidade de absorção de fluidos dos hidrogéis de ALBo/PEc. As tabelas abaixo apresentam os valores percentuais de grau de intumescimento, com diferentes temperaturas e pHs, dos hidrogéis com relação ALBo/PEC de 100/0 (A); 95/5(B); 85/15(C); 75/25(D).

Tabela 1- Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 4 e diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Proporção albumina/pectina (m/m)			
	100/0	95/5	85/15	75/25
30°C	79,4 ± 0,3	83,1 ± 0,7	71,1 ± 0,4	81,8 ± 0,9
37°C	80,8 ± 0,9	84,5 ± 0,8	85,4 ± 0,8	89,7 ± 0,9
40°C	84,2 ± 0,8	81,6 ± 0,7	88,1 ± 0,9	88,3 ± 0,9

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 2 - Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 7 e diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Proporção albumina/pectina (m/m)			
	100/0	95/5	85/15	75/25
30°C	89,2 ± 1,0	77,2 ± 0,9	81,6 ± 0,9	90,7 ± 0,9
37°C	90,5 ± 1,0	89,7 ± 0,9	88,7 ± 0,8	87,8 ± 0,9
40°C	89,3 ± 0,9	90,1 ± 1,0	88,9 ± 0,9	88,3 ± 0,4

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 3- Percentuais de grau de intumescimento dos hidrogéis em pH 9 e diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Proporção albumina/pectina (m/m)			
	100/0	95/5	85/15	75/25
30°C	83,8 ± 1,0	84,8 ± 0,9	87,5 ± 0,9	90,5 ± 0,9
37°C	86,3 ± 0,9	90,1 ± 0,8	87,5 ± 0,8	91,3 ± 0,8
40°C	88,5 ± 0,9	91,0 ± 0,9	88,8 ± 0,9	89,5 ± 0,9

Fonte: Do autor (2021).

As análises do grau de intumescimento (GI) em função da temperatura foram realizadas em soluções de pH 4, 7 e 9. Nessas condições, o hidrogel de apenas albumina apresentou um

aumento no seu GI com o aumento da temperatura nos três pH, conforme pode ser observado nas tabelas 1, 2 e 3, sendo que a variação mais significativa ocorreu no pH 7. Analisando a estrutura da albumina (Figura 1) é possível perceber que as cadeias podem facilmente fazer ligações de hidrogênio entre si. Dessa forma, o aumento gradual no intumescimento pode ser explicado pelo enfraquecimento das ligações de hidrogênio existentes entre as cadeias de albumina com o aumento da temperatura. Com esse enfraquecimento a água é capaz de penetrar entre as cadeias, quebrando essas ligações entre as cadeias, estabelecendo novas ligações de hidrogênio polímero-solvente, aumentando o GI.

Os hidrogéis com 95, 85 e 75% de albumina não tiveram variações significativas com o aumento da temperatura, justamente devido a diminuição de albumina em sua estrutura, mas mantiveram aumento do GI em níveis semelhantes do hidrogel de albumina. Entretanto, para esses, com relação a variação dos pH a variação mais significativa ficou na presença do pH 9. Isso ocorreu devido a presença da pectina, que em presença de pH ácido provoca a protonação dos grupos carboxílicos, diminui a repulsão eletrostática entre as cadeias e aumenta a formação de pontes de H. Com isso, em meio básico essas ligações tendem a ser rompidas com mais facilidade, e a partir disso a água entra com mais facilidade.

A capacidade de absorver depende do volume livre que existe nas cadeias do polímero, em que é maior nas estruturas reticuladas (FLORY, 1953). Logo, nos primeiros minutos o intumescimento da amostra aumentou muito rápido, devido ao grande volume livre que existe no hidrogel. Depois de um determinado tempo, em torno de 75 minutos, a água encontra uma maior dificuldade de entrar nas cadeias, devido a força osmótica das cadeias reticuladas. O equilíbrio entre o hidrogel e a água é alcançado em torno de 180 minutos, onde a partir desse momento a rede polimérica está expandida e a força de intumescimento é contrabalanceada pela força de retração imposta pela estrutura reticulada (resposta elástica) (OTTENBRITE, R. M.; PARK, K.; OKANO, 2010).

6.2 Cinética de intumescimento

A partir do grau de intumescimento foi possível obter valores das constantes n e k , que informam o tipo de difusão desses hidrogéis. As tabelas seguem abaixo.

Tabela 4 - Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 4.

% de Albumina	Temperatura (°C)	n	k	R²
100%	30	0,33 ± 0,02	-0,02 ± 0,03	0,97
	37	0,34 ± 0,01	-0,04 ± 0,02	0,98
	40	0,38 ± 0,01	+0,00 ± 0,01	0,99
95% + 5% pectina	30	0,40 ± 0,04	-0,10 ± 0,07	0,92
	37	0,37 ± 0,01	-0,01 ± 0,02	0,99
	40	0,35 ± 0,02	-0,05 ± 0,03	0,98
85%+ 15% pectina	30	0,26 ± 0,01	-0,02 ± 0,02	0,98
	37	0,39 ± 0,01	-0,02 ± 0,03	0,99
	40	0,45 ± 0,02	+0,02± 0,03	0,99
75%+ 25% pectina	30	0,33 ± 0,01	+0,03 ± 0,02	0,98
	37	0,42 ± 0,02	+0,06 ± 0,03	0,98
	40	0,41 ± 0,01	+0,01 ± 0,02	0,99

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 5- Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 7.

% de Albumina	Temperatura (°C)	n	k	R²
100%	30	0,45 ± 0,05	+0,11 ± 0,09	0,91
	37	0,47 ± 0,01	+0,01 ± 0,02	0,99
	40	0,42 ± 0,02	+0,075 ± 0,05	0,95
95% + 5% pectina	30	0,32 ± 0,01	-0,011 ± 0,01	0,99
	37	0,45 ± 0,01	+0,02 ± 0,02	0,99
	40	0,44 ± 0,02	+0,07 ± 0,04	0,97
85%+ 15% pectina	30	0,35 ± 0,01	+0,02 ± 0,02	0,99
	37	0,45 ± 0,02	-0,06 ± 0,03	0,98
	40	0,45 ± 0,02	-0,02 ± 0,04	0,97
75%+ 25% pectina	30	0,52 ± 0,03	+0,02 ± 0,04	0,98
	37	0,41 ± 0,02	+0,04 ± 0,03	0,99
	40	0,4 ± 0,03	+0,1 ± 0,055	0,93

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 6- Parâmetros cinéticos de sorção do solvente em pH 9.

% de Albumina	Temperatura (°C)	n	k	R²
100%	30	0,35 ± 0,03	+0,08 ± 0,06	0,92
	37	0,38 ± 0,01	+0,03 ± 0,02	0,99
	40	0,44 ± 0,02	-0,00 ± 0,04	0,97
95%+ 5% pectina	30	0,37 ± 0,02	+0,03 ± 0,03	0,98
	37	0,44 ± 0,03	+0,08 ± 0,05	0,94
	40	0,4 ± 0,045	+0,16 ± 0,09	0,86
85%+ 15% pectina	30	0,42 ± 0,015	-0,00 ± 0,03	0,99
	37	0,43 ± 0,021	-0,07 ± 0,04	0,97
	40	0,44 ± 0,019	+0,00 ± 0,0	0,98
75%+ 25% pectina	30	0,45 ± 0,042	+0,12 ± 0,08	0,91
	37	0,43 ± 0,046	+0,18 ± 0,09	0,87
	40	0,43 ± 0,03	+0,09 ± 0,06	0,94

Fonte: Do autor (2021).

A partir dos dados obtidos pelo grau de intumescimento, foi obtido os valores das tabelas 4, 5 e 6. Esse estudo engloba os parâmetros por difusão de Fickian. Onde para valores de n menores que 0,5, o soluto é caracterizado por difusão de Fick. Nessa difusão as moléculas de água podem ser transportadas através da rede de polímeros por processos de difusão. Além disso, nesse intervalo a taxa de difusão é muito mais lenta que o tempo de relaxação da cadeia polimérica, ou seja, é o tempo para que esta cadeia entre em equilíbrio com o solvente. Analisando os dados obtidos de n nas condições das tabelas acima, é possível observar que quase todas as condições submetidas pelo hidrogel, teve como $n < 0,5$.

Os valores de k tiveram variações devido as diferentes composições do hidrogel, e as mudanças de temperatura que os meios tiveram, causando variações nessa constante de difusão. Com isso, esses valores são pequenos, mas não tendem a zero, e indica que há uma pequena variação dos hidrogéis em condições diferentes. Para verificar se esses resultados são próximos entre si, sem que tenha diferenças entre sua composição nesses meios, foi feito um estudo pela técnica ANOVA, conforme as tabelas abaixo. Onde S é a variância dentro das amostras, $\hat{\sigma}$ é a variância da distribuição da média amostral, F é relação entre essas duas estimativas.

Tabela 7 - Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 4.

Temperatura	S	$\hat{\sigma}$	F_{crít. calculado}	F_{crít. tabelado}
30°C	0,0017	0,0339	19,0979	5,72
37°C	0,0018	0,0237	12,9409	5,72
40°C	0,0006	0,0116	19,3163	5,72

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 8- Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 7.

Temperatura	S	$\hat{\sigma}$	F_{crít. calculado}	F_{crít. tabelado}
30°C	0,0030	0,0354	11,7311	5,72
37°C	0,0007	0,0220	31,6267	5,72
40°C	0,0021	0,0338	15,5546	5,72

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 9 - Análise dos hidrogéis utilizando ANOVA para pH 9.

Temperatura	S	$\hat{\sigma}$	F_{crít. calculado}	F_{crít. tabelado}
30°C	0,0027	0,0394	14,1164	5,72
37°C	0,0032	0,1333	41,8398	5,72
40°C	0,0033	0,0734	21,9256	5,72

Fonte: Do autor (2021).

Esse estudo estatístico foi utilizado visando evidenciar se os valores obtidos por k das amostras, estavam próximos ou não entre si, nas diferentes condições. Com isso, como os valores obtidos pelo F_{crítico} calculado foi maior que o F_{crítico} tabelado, então houve diferenças entre valores de k calculados, logo, esses valores em diferentes situações não estão dentro de uma média. Então, esses valores são diferentes entre si, onde a composição altera essa constante de difusão.

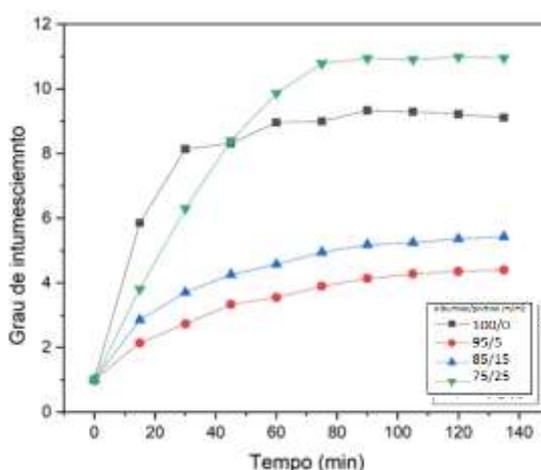
6.3 Estudos comparativos do grau de intumescimento com outros tipos hidrogéis

6.3.1 Hidrogéis de polissacarídeo

Neste trabalho dos autores Bortolin, Aouada, Longo e Mattoso (2012), os hidrogéis são constituídos de poliácridamida (PAAm) e do polissacarídeo biodegradável metilcelulose (MC). Foram obtidos através da polimerização química do monômero acrilamida (AAm, Fluka), em solução aquosa contendo MC e do agente de reticulação N'-N-metilenobisacrilamida a 2%

(MBAAm, Aldrich) utilizando N,N,N'-tetrametil-etilenobisacrilamida (TEMED, Sigma) como catalisador. A partir da formação desse hidrogel foi realizada a avaliação do grau de intumescimento deste com relação ao tempo em uma temperatura de 25°C. Com isso, é possível realizar um estudo comparativo entre os resultados obtidos pelo trabalho de Bortolin com o hidrogel produzido nesse projeto. Para isso, foi realizado o estudo quanto ao grau de intumescimento (m/m) do hidrogel de albumina/pectina, em temperatura de 30°C e pH=7. Esse resultado pode ser visualizado na figura 7.

Figura 7- Dependência do grau de intumescimento em função do tempo para o hidrogel de albumina/pectina, com diferentes composições a $30,0 \pm 0,1$ °C em pH 7.



Fonte: Do autor (2021).

A partir dessa figura nota-se que a condição de 75% albumina e 25 % pectina tem o maior valor quanto ao grau de intumescimento. Na proporção de 100% albumina também obteve um bom resultado quanto ao intumescimento da amostra, e isso pode ser explicado pois a albumina em pH neutro tem a ligação de suas cadeias mais fracas, aumentando a absorção do solvente em seu meio. Porém, a característica desta ainda é inferior a influência da pectina no hidrogel, sendo que esse vai proporcionar maior quebra de ligação de hidrogênio em pH não ácidos. Mas apesar disso, em baixa condição de pectina, como 85% albumina e 15% pectina, a amostra de somente albumina acaba tendo maior influência no pH=7, gerando maior absorção do solvente, conforme é possível visualizar na figura 7.

Com relação ao trabalho de Bortolin, houve um aumento no grau de intumescimento ao aumentar a concentração do polissacarídeo MC na cadeia do polímero, e diminuiu a medida que a concentração de AAm foi aumentada, pois este gera um aumento na rigidez da cadeia polimérica, resultando em uma diminuição da taxa de absorção do solvente pelo hidrogel. Também há uma absorção inicial do solvente, conforme também foi observado no estudo do hidrogel biopolimérico de albumina/pectina, e que chega em um determinado tempo onde

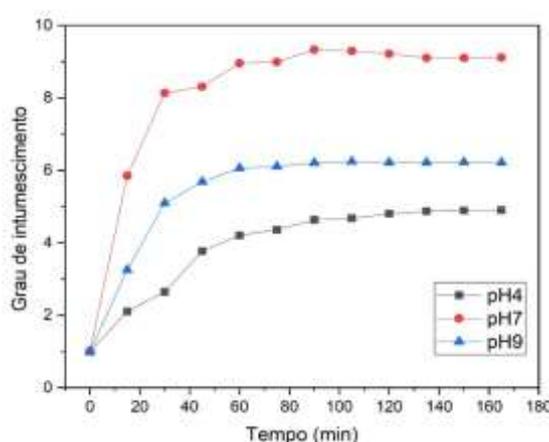
ocorre o equilíbrio químico e com isso gera uma estabilidade no grau de intumescimento. Esse resultado é bom pois indica que há uma estabilidade química dos hidrogéis, e que após esse equilíbrio não há variação em sua estrutura química.

Com isso, é possível observar que o hidrogel de polissacarídeo elaborado por esse artigo teve influência da concentração do polissacarídeo de forma positiva, havendo um ganho na absorção do solvente quando utilizado o MC em maiores concentrações, devido ao aumento da flexibilidade da cadeia polimérica. Essa conclusão mostra que a relação entre um material que tenha influência positiva sobre a absorção do solvente dentro do hidrogel, resulta em uma melhor absorção do solvente sem romper a cadeia polimérica. Esse resultado também foi observado no hidrogel de albumina/pectina, onde a influência da pectina acabou assegurando uma melhor flexibilização da cadeia e conseqüentemente, como a albumina tem propriedades de absorver o solvente, então o equilíbrio entre eles também mostrou resultados positivos.

6.3.2 Hidrogel a base de POE (polioxietileno)-POP (polioxipropileno)

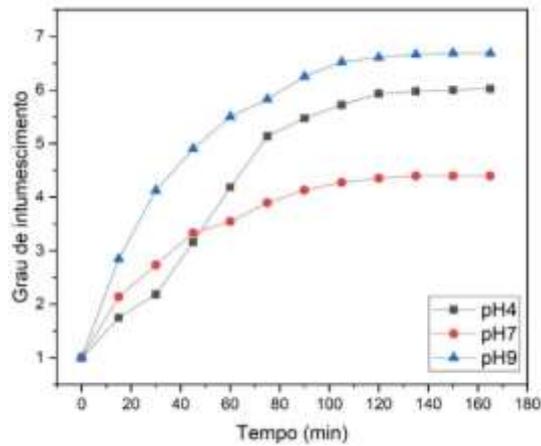
Neste artigo publicado por Erdem (2020), os hidrogéis foram preparados por meio de reações de abertura de anel de epóxi. E este foi avaliado quando a sua capacidade de resposta térmica e de pH, através de experimentos de intumescimento em temperaturas de 4°C e pH 5,0, 7,4 e 10,0. A partir da formação do hidrogel foi realizada o estudo do grau de intumescimento (m/m) para esse hidrogel, em que o material foi analisado em um intervalo de 24 horas nas condições citadas. Com isso, é possível comparar o estudo do desenvolvimento do hidrogel biopolimérico de albumina e pectina em pH próximos e temperatura de 30°C, que foi a menor utilizada por esse trabalho, e comparar os resultados do hidrogel desse artigo com o deste trabalho. Os gráficos abaixo mostram esse estudo comparativo.

Figura 8- Grau de intumescimento de hidrogel com 100% albumina em pH (4, 7 e 9).



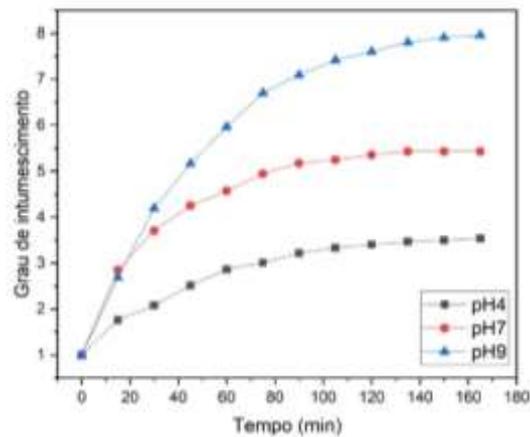
Fonte: Do autor (2021).

Figura 9 - Grau de intumescimento de hidrogel com 95% albumina e 5% pectina em pH (4, 7 e 9).



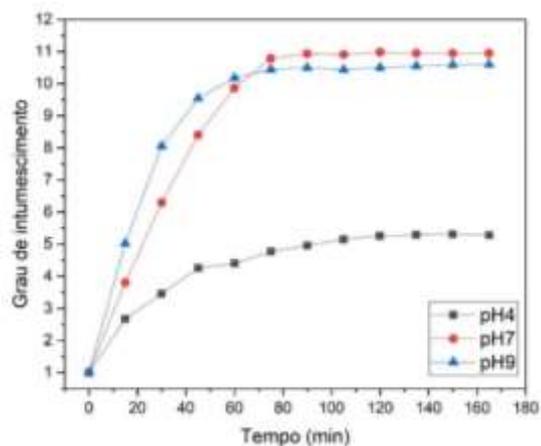
Fonte: Do autor (2021).

Figura 10 - Grau de intumescimento de hidrogel com 85% albumina e 15% pectina em pH (4, 7 e 9).



Fonte: Do autor (2021).

Figura 11- Grau de intumescimento de hidrogel com 75% albumina e 25% pectina em pH (4,7e 9).



Fonte: Do autor (2021)

A partir desse resultado, é possível observar que em pH=9 teve um maior índice de absorção do solvente, onde na condição de 75% albumina e 25% pectina obteve um maior valor do grau de intumescimento. Isso pode ser explicado devido ao fato que a pectina em meio básico sofre um enfraquecimento das ligações de hidrogênio, e esse enfraquecimento leva ao aumento da capacidade do solvente entrar dentro da cadeia polimérica. Esse resultado fica contrário ao encontrado pelo artigo de Erdem, onde em seu hidrogel a taxa de intumescimento diminui com o aumento do pH, onde nessa condição as cadeias estão sofrendo rupturas, e com isso a taxa de intumescimento é menor que se estivesse em pH menor. Além disso, em pH menor há uma maior interação eletrostática das cadeias, fazendo com que se consiga reter mais o solvente.

Com isso, houve diferenças nas conclusões dos trabalhos, podendo ser explicada pela diferença dos materiais, além da metodologia do grau de intumescimento ser diferente entre elas, sendo que a do trabalho de Erdem a amostra foi submetida por 24 horas no solvente, e somente após esse tempo que o a metodologia foi iniciada, e, em contrapartida, o trabalho do hidrogel de albumina/pectina, não houve esse processo de submersão por 24 horas. Essa mudança de método, pode possibilitar uma alteração química no hidrogel, e com isso influenciaria sua interação em diferentes pH e temperaturas.

7 CONCLUSÕES

O uso de hidrogéis de albumina com pectina mostrou resultados promissores. A avaliação dos resultados de intumescimento, mostrou que os hidrogéis submetidos a presença de pectina tem resultados satisfatório, podendo ser utilizados em os meios testados nesse experimento, apesar de terem melhores resultados em meios básicos, sua utilização em outras faixas de pH tem sua vantagem devido a diminuição do valor do produto, quando comparado com o hidrogel 100% albumina. Logo, uma correlação de até 75% ALBo e 25% PEC pode ser utilizada, gerando um hidrogel com bom (GI).

Os dados obtidos pelo estudo cinético mostraram que a difusão do solvente para o hidrogel obedeceu a lei de Fick, e o seu tempo para que entre em equilíbrio é alto, logo para que o hidrogel atinja sua capacidade máxima de absorção, será de um tempo elevado. Além disso, a constante de difusão do hidrogel vai sofrer interferência da composição, pH e temperatura, interferindo no processo de entrada e saída de solvente nesse material. Com isso, o hidrogel tem boas capacidade de intumescimento, pois a cadeia vai conseguir manter sua estrutura e absorver grandes volumes do solvente, mas deve ser avaliado se a condição utilizada, tanto de concentração quanto meio, vai ser prejudicial ou não para a utilização desejada.

Além disso, os estudos comparativos a dois artigos de hidrogéis distintos, buscando relacionar os resultados de grau de intumescimento dos hidrogéis, mostrou que materiais que sofrem alterações estruturais em condições de pH e temperaturas específicas, também tiveram mudança na performance da taxa de absorção do solvente, e que ao ser utilizado um segundo material nesse hidrogel pode gerar um aumento nesses valores de absorção, conforme ocorreu na inserção da pectina deste trabalho. Além disso, como houve diferentes métodos do estudo de grau de intumescimento, pode ter gerado mudanças estruturais durante esse processo, e como consequência mudanças na absorção do solvente.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que o hidrogel tem excelentes propriedades para liberação e absorção de solvente. Com isso, existe possibilidades de aplicações e testes para melhorar seu entendimento como microestrutura e uma futura aplicação. Diante disso, as sugestões para os trabalhos futuros são:

- Estudo da rede de gel por caracterização de microscopia de varredura, a fim de determinar como estão portadas as cadeias e quais são as dimensões de seus poros;
- Estudo de liberação controlada de fármacos, visando obter valores limites deste e estabelecer dados sobre o tempo para uma completa liberação deste em um meio;
- Aplicação desta liberação em um meio de cultura com bactérias, visando observar como essa liberação consegue combater e controlar essas bactérias;
- Em um estudo final, seria uma aplicação em células *in vitro* e posteriormente *in vivo*.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. A. **Transglutaminase e albumina de ovo em reestruturados cozidos congelados de frango**. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Picacicaba, 2010.
- AOUADA, A. F.; MUNIZ, E. C.; VAZ, C. M.; MATTOSO, L. H. Correlação entre parâmetros da cinética de intumescimento com características estruturais e hidrofílicas de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose. **Química Nova**, [S. l.], p. 1482-1491, jun. 2009.
- BAJPAI, A. K.; SAINI, R. Preparation and characterization of biocompatible spongy cryogels of poly (vinyl alcohol)– gelatin and study of water sorption behaviour. **Polymer International**, [S. l.], v. 54, p. 1233–1242, 2005.
- BORTOLIN, A.; AOUADA, F. A.; LONGO, E.; MATTOSO, L. H. Investigação do processo de absorção de água de hidrogéis de polissacarídeo: efeito da carga iônica, presença de sais, concentrações de monômero e polissacarídeo. **Polímeros**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 311-317, ago. 2012.
- CANTERI, M. H. *et al.* Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 149–157, 2012.
- CHAPARRO, S. P.; MÁRQUEZ, R. A.; SÁNCHEZ, J. P.; VARGAS, M. L.; GIL, J. H. Extracción de pectina del fruto del higo (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación en un dulce de piña. **Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient**, [S.l.], v. 18, n 2, p. 435-443, 2015.
- CHEN, H.; FU, X.; LUO, Z. Effect of molecular structure on emulsifying properties of sugar beet pulp pectin. **Elsevier**, Guangzhou, v. 1, n. 54, p.99-106, 2016.
- CHEN, Y. *et al.* Nonvolatile Bio-Memristor Fabricated with Egg Albumen Film. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 5, p. 100-122, 2015.
- COELHO, M. T. **Pectina: Características e Aplicações em Alimentos**, 2008. 92p. Monografia (Bacharelado em Química de Alimentos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.
- COLQUE, B. **DESENVOLVIMENTO E ESTUDO DE ARCABOUÇOS A BASE DE OVOALBUMINA PARA ENGENHARIA DE TECIDOS**. Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH) - Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2016.
- DAVANÇO, T.; TANADA-PALMU, P.; GROSSO, C. Filmes compostos de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou capríco: efeito do pH e da adição de surfactantes sobre a funcionalidade dos filmes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 408–416, 2007.
- DE OLIVEIRA, E. N. *et al.* Armazenamento de tomates revestidos com pectina: Avaliação

colorimétrica. **Revista Caatinga**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 19–25, 2012.

ERDEM, A. Preparation and characterization of rapid temperature responsive cationic comb-type grafted POE-POP based hydrogel as prospective excellent actuators/sensors. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S. l.], v. 607, p. 125523, dez.2020.

FERNÁNDEZ-ESPADA, L. et al. Linear viscoelasticity characterization of egg albumen/glycerol blends with applications in material moulding processes. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 91, n. 4, p. 319–326, 2013.

FLORY, P. J.; **Principles of Polymer Chemistry**. Cornell University Press: New York, 1953.

GANJI, F.; VASHEGHANI-FARAHANI, S.; VASHEGHANI-FARAHANI, E. Theoretical Description of Hydrogel Swelling: A Review. **Iranian Pol.J.**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. 375-398, 2010.

GENNADIOS, A. et al. **Mechanical and Barrier Properties of Egg Albumen Films** **Journal of Food Science**, 1996.

HOURDET, D.; MULLER, G. — *Carbohydr. Polym.*, 16, p. 409 (1991)

JANA, S. *et al.* Carbopol gel containing chitosan-egg albumin nanoparticles for transdermal aceclofenac delivery. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, [S. l.], v. 114, p. 36–44, 2014.

MANSUR, H. S. *et al.* Characterization of poly(vinyl alcohol)/poly(ethylene glycol) hydrogels and pva-derived hybrids by small-angle x-ray scattering and ftir spectroscopy. **Polymer**, [S. l.], v. 45, p.7193-7202, 2004.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOARES-JÚNIOR, M. S. Extração de pectina de goiaba desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 119–125, 2010.

NASCIMENTO, M. H.; LOMBELLO, C. B. Hidrogéis a base de ácido hialurônico e quitosana para engenharia de tecido cartilaginoso. **Polímeros**, [S. l.], v. 26, n. 4, p.360-370, dez. 2016.

OTTENBRITE, R. M.; PARK, K.; OKANO, T.; **Biomedical Applications of Hydrogels Handbook**. 1 ed. New York. Springer: 2010; 432 p.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S. Pectina : Propriedades Químicas E Importância Sobre a Estrutura Da Parede Celular De Frutos Durante O Processo De Maturação. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 196–211, 2009.

PAL, K.; BANTHIA, A. K.; MAJUMDAR, D. K.. Polymeric Hydrogels: Characterization and Biomedical Applications. **Designed Monomers and Polymers**, [S. l.], v. 12, n. 3, p.197-220, Jan. 2009.

PAREDES, J. **Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascos de guayaba (Psidium guajava L .)**. [s.l: s.n.], 2015.

SILVA, E. M. (2012). **Hidrogéis de ácido hialurônico**. Santo André: Universidade Federal do ABC.

SGARBIERI, V.C. Propriedades funcionais de proteínas em alimentos. **Bol. SBCTA**, v. 32, n.1, p. 105-126, 1998

WONGSASULAK, S. et al. The effect of solution properties on the morphology of ultrafine electrospun egg albumen-PEO composite fibers. **Polymer**, [S. l.], v. 48, n. 2, p. 448–457, 2007.