

Aplicação da metodologia de superfície resposta na avaliação da degradação térmica de Polivinilpirrolidona/Quitosana

Application of surface response methodology in the evaluation of thermal degradation of Polyvinylpyrrolidone/Chitosan

Aplicación de la metodología de respuesta superficial en la evaluación de la degradación térmica de Polivinilpirrolidona/Quitosano

Recebido: 01/11/2021 | Revisado: 09/11/2021 | Aceito: 13/11/2021 | Publicado: 21/11/2021

Evilásio Anísio Costa Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2401-0663>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: anisio.evillasio@gmail.com

Moisés Marques Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5663-3147>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: moisespaiva.jp@gmail.com

Bruna Giovanna Barbosa dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8544-4652>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: bruna.giovanna@estudantes.ufpb.br

Kleilton Oliveira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7104-7701>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: kleiltonquimica@gmail.com

Wladymyr Jefferson Bacalhau de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3931-8265>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: wladymyrjb@hotmail.com

Pedro Carlos de Assis Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6160-3820>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: pedro_fisica2005@yahoo.com.br

Márcio José Batista Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8756-1377>
Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: marcio.cardoso@academico.ufpb.br

Resumo

A utilização de biomateriais, remete a tempos históricos e visa a busca do homem por uma melhor qualidade de vida e ao aumento da expectativa de vida. Dentre os diversos materiais aplicados com esse intuito, os biomateriais poliméricos destacam-se na aplicação do tratamento das feridas, em especial devido suas propriedades. A quitosana que se destaca com sua ação antimicrobiana, bioadesividade e biodegradabilidade e o polivinilpirrolidona (PVP) com a boa biocompatibilidade e sua não toxicidade. No entanto, a busca por biomateriais únicos com melhores respostas, levam à associação de materiais que podem promover mudanças de propriedades, como as térmicas. Diante do exposto, esta pesquisa investiga a análise térmica de quitosana e PVP e suas misturas. Para tal, foi caracterizado os polímeros por análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Posteriormente foi simulado a degradação da mistura polimérica, baseado nos resultados da TGA das matérias-primas em um modelo linear e aplicado a metodologia de superfície resposta (MSR). A partir das análises térmicas por DSC observaram-se as temperaturas de transição dos polímeros, já na TGA e sua derivada visualizou-se a presença de umidade e perfil de degradação das matérias-primas, que corroboram com estudos da literatura. Através da MSR foi criado um modelo do perfil de degradação até 350 °C para mistura dos polímeros considerando o modelo linear, onde se verificou que, a concentração de massa e a proporção de polímeros modificam os perfis de degradação, sendo a quitosana o fator de maior influência. **Palavras-chave:** Quitosana; Polivinilpirrolidona; Degradação; Análise térmica; Metodologia superfície resposta.

Abstract

Using biomaterials, he goes back to historical times and seeks to find a home for a better quality of life and an increase in life expectancy. Among the various materials applied as intuitively, the polymeric biomaterials stand out in the

application of the treatment of holidays, especially due to their properties. A chitosan that stands out with its antimicrobial action, biodegradability and biodegradability and or polyvinylpyrrolidone (PVP) with its biocompatibility and its non-toxicity. However, in search of unique biomaterials with different responses, we raise the association of materials that we can promote changes of properties, such as thermals. During the exposition, this research investigates the thermal analysis of chitosan and PVP in its mixtures. For this, the polymers were characterized by thermogravimetric analysis (TGA) and differential exploratory calorimetry (DSC). Subsequently, it was simulated to degradation of the polymeric mixture, based on the results of the TGA of raw materials in a linear model and applied to the responsive surface methodology (MSR). From thermal analyzes by DSC, the transition temperatures of two polymers will be observed, and the TGA and its derivative are visualized in the presence of the density and degradation profile of raw materials, which corroborate with literature studies. Through the MSR, a degradation profile model was created at 350° C for mixing two polymers considering the linear model, where it was verified that, with mass concentration and proportion of polymers, we modify the degradation profile, using chitosan or higher factor influence.

Keywords: Chitosan; Polyvinylpyrrolidone; Degradation; Thermal analysis; Response surface methodology.

Resumen

El uso de biomateriales se remonta a tiempos históricos y tiene como objetivo la búsqueda del hombre de una mejor calidad de vida y una mayor esperanza de vida. Entre los diversos materiales aplicados para tal fin, destacan los biomateriales poliméricos en la aplicación del tratamiento de heridas, especialmente por sus propiedades. El quitosano que destaca por su acción antimicrobiana, bioadhesividad y biodegradabilidad y la polivinilpirrolidona (PVP) por su buena biocompatibilidad y su no toxicidad. Sin embargo, la búsqueda de biomateriales únicos con mejores respuestas conduce a la asociación de materiales que pueden promover cambios de propiedades, como las térmicas. Dado lo anterior, esta investigación investiga el análisis térmico de quitosano y PVP y sus mezclas. Para ello, los polímeros se caracterizaron mediante análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). Posteriormente, se simuló la degradación de la mezcla polimérica, con base en los resultados de TGA de las materias primas en un modelo lineal y se aplicó a la metodología de respuesta superficial (MSR). A partir del análisis térmico por DSC, se observaron las temperaturas de transición de los polímeros, en el TGA y su derivado se observó la presencia de humedad y el perfil de degradación de las materias primas, lo que corrobora con estudios en la literatura. A través del MSR se creó un modelo de perfil de degradación hasta 350 ° C para mezclar los polímeros considerando el modelo lineal, donde se encontró que la concentración másica y la proporción de polímeros modifican los perfiles de degradación, siendo el quitosano el factor de mayor influencia.

Palabras clave: Quitosano; Polivinilpirrolidona; Degradación; Análisis térmico; Metodología de superficie de respuesta.

1. Introdução

A evolução da medicina humana pode ser atribuída pela busca do homem uma melhor qualidade de vida e do aumento expectativa de vida. Do ponto de vista dos biomateriais, partindo do princípio de que quando implantados no corpo humano uma resposta adversa não deve acontecer, seja nos tecidos de forma local ou sistêmica, o desenvolvimento de materiais que reajam minimamente se tornou uma área de conhecimento e pesquisa extensa (Ducheyne, 2015).

O funcionamento correto de órgãos do corpo humano depende intrinsecamente da habilidade dos tecidos de se regenerar, remodelar e curar de traumas causados ao longo da sua vida útil. Em particular, manter o bom funcionamento da pele, o maior órgão do corpo, contra as lesões cutâneas, como queimaduras, úlceras causadas por diabete, feridas cirúrgicas, há uma necessidade crescente de tratamento especializado, especialmente de feridas crônicas, que reduzam o fardo econômico e melhorem a qualidade da saúde do paciente (Sen, 2019).

Diante dessa perspectiva a seleção de um biomaterial como curativo é extremamente importante para um tratamento de eficaz, conforme a categoria de lesões cutâneas, acelerando o processo de cicatrização e reduzindo complicações. Com esse intuito, diversos tipos de curativos foram desenvolvidos baseados nos materiais constituintes: polímeros sintéticos, naturais, compósitos com incorporação de prata, blendas entre outros e na forma estrutural: espumas, hidrogel, membranas, filmes entre outros (Augusto et al., 2021; Carmignan et al., 2019; de Campos et al., 2017; Dhivya et al., 2015; Farina-Junior et al., 2017; Queiroz et al., 2020).

Dentre os polímeros naturais a quitosana obtido de fontes renováveis de alta disponibilidade, segundo biopolímero mais abundante, um polissacarídeo catiônico constituído por unidades de 2-acetamido-2-desoxi-D-glicopirranose, ligadas através de

ligação β -(1 \rightarrow 4). É a forma parcial ou totalmente desacetilada da quitina, obtida através da extração de conchas e cascas de crustáceos, paredes celulares de fungos e algas e exoesqueletos de insetos (Oliveira et al., 2021; Rinaudo et al., 2006; Zargar et al., 2015).

Sendo a quitosana é promissora como curativo bioativo graças a sua ótima com propriedades interessantes como: biocompatibilidade, biodesividade, biodegradabilidade, não toxicidade, bactericida, fungicida e virucida., além da sua ação hemostática, anti-infecciosa, antimicrobiana, e aceleração da cicatrização de feridas (Archana et al., 2015; Matica et al., 2019; Oliveira et al., 2021; Queiroz et al., 2020).

A polivinilpirrolidona (PVP) é um polímero sintético obtido por polimerização do monômero N-vinil-pirrolidona, hidrofílico e solúvel em água e solventes polares, o que favorece a processabilidade para obtenção de micro e nanopartículas, fibras, hidrogéis, nanogel, grânulos e filmes amplamente utilizados nas áreas (Albertini et al., 2003; Franco et al., 2020; Ges Naranjo et al., 2021; Kurakula et al., 2020).

Na perspectiva dos biomateriais o PVP apresenta propriedades interessantes tais como: inercia química, não tóxico, resistente à temperatura, estável ao pH, biocompatível, biodegradável, forte estabilidade, propriedades físico-químicas moderadas e capacidade de solubilizar o que o tornam versátil para diversas aplicações nas áreas farmacêutica, biomédica, cosmética, agrícola entre outras (Franco et al., 2020; Koczur et al., 2015; Kurakula et al., 2020; Verde et al., 2021).

Embora apresentem propriedades físicas, químicas, e biológicas interessantes a quitosana e PVP individualmente possuem limitações, de modo a superar e obter curativos com propriedades que atendam aplicações específicas, são utilizadas combinações com outros polímeros, tais como: quitosana — gelatina, álcool poli vinílico (PVA) — PVP, quitosana — álcool poli vinílico (PVA), quitosana — PVP entre outros (Mishra et al., 2019; Morgado et al., 2017; Sízilio et al., 2018).

Dentre as diversas propriedades dos materiais, as térmicas referem-se à resposta de um material à aplicação de calor, importante no controle do processo de degradação, permitir avaliar e determinar as condições do processamento dos materiais, podendo comprometer o desempenho e até mesmo inibir sua utilização (Reul et al., 2018; Santos Filho et al., 2020).

As análises térmicas abrangem um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância, ou de seus produtos de reação, é monitorada em função da temperatura ou tempo, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada (Denari et al., 2012; Ionashiro et al., 2005; Sebastião V. Canevarolo Junior, 2003).

Avanços em técnicas de fabricação como (eletrofiação, fiação por sopro, formação de filmes e impressão 3D) podem-se produzir biomateriais promove a regeneração de tecidos e liberam substâncias terapêuticas no local afetado, promove a um considerável progresso em biomateriais, entretanto, desafios devem ser superados, incluindo a baixa velocidade de produção de materiais de suporte personalizados, necessidade de redução do custo de processamento e garantia de maior eficiência na transferência das novas tecnologias (Bernardo et al., 2021).

Este estudo busca avaliar as propriedades térmicas de quitosana e PVP, e aplicar uma modelagem para degradação térmica para misturas, aplicando a metodologia de superfície de resposta com o modelo composto central, avaliando a influência dos fatores, concentrações da solução e proporção na mistura dos polímeros.

2. Metodologia

O projeto de pesquisa visa aplicar a metodologia de superfície resposta na degradação térmica de misturas Polivinilpirrolidona/Quitosana, para tal, as matérias-primas brutas para os polímeros de quitosana de médio peso molar (CERTBIO) e do polivinilpirrolidona PVP K — 90, foram caracterizadas por análise termogravimétrica (TGA) em atmosfera de ar sintético e calorimetria exploratória diferencial (DSC) em atmosfera de nitrogênio, com taxa de aquecimento constante de 10 °C/min em ambas.

O procedimento para determinação da degradação térmica foi realizado assumindo que as misturas poliméricas possuem um comportamento linear com a fração de massa dos polímeros para uma mesma condição de umidade, ou seja, no caso onde a Equação (1) fosse válida.

$$[D] = X_{PVP}[d]_{PVP} + X_{quit}[d]_{quit} \quad (1)$$

onde X representa a fração em massa do polímero, definido de forma que a equação $X_{PVP} + X_{quit} = 1$ seja satisfeita, $[D]$ a degradação em porcentagem da mistura polimérica e $[d]$ a degradação em porcentagem dos polímeros individuais, matéria-prima bruta.

Em seguida foi aplicado a metodologia de superfície resposta (MSR) utilizando o modelo composto central, conforme Tabela 1, e determinando as degradações das misturas poliméricas, denominada mistura: A (90%Q + 10%P), B (50%Q + 50%P) e C (10%Q + 90%P), onde (Q) é a quitosana e (P) é o polivinilpirrolidona nas diferentes concentrações.

Tabela 1: Modelo composto Central para a MSR.

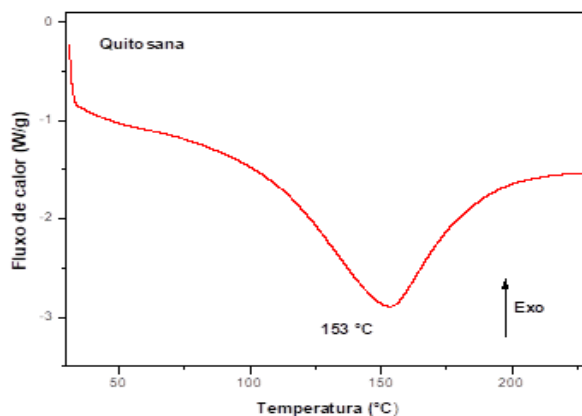
Fatores	Concentração	Nível
Polivinilpirrolidona: CP	5,00	-1 (baixo)
	10,00	0 (médio)
	15,00	+1 (alto)
Quitosana: CQ	0,5	-1 (baixo)
	1,0	0 (médio)
	1,5	+1 (alto)

Fonte: Autores (2021).

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra o resultado da análise de DSC da quitosana bruta de média massa molar na faixa de temperatura entre 30 e 230 °C, onde se observa a partir da curva a presença de uma banda endotérmica localizada entre 100 e 180 °C com máximo em 153 °C referente a evaporação da água ligada as pontes de hidrogênio como os grupos hidroxila corroborando com Cruz, 2018. Na faixa de temperatura avaliada não foi possível verificar as temperaturas de transição vítrea (T_g) e temperatura de fusão cristalina (T_m) da quitosana.

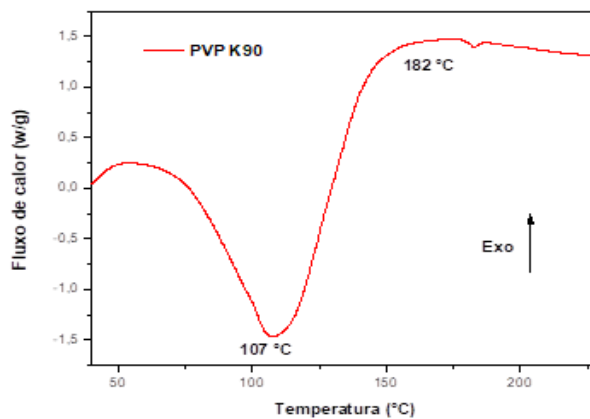
Figura 1: DSC do pó de quitosana de média massa molar bruta.



Fonte: Autores (2021).

A Figura 2, mostra o resultado da análise de DSC do PVP K — 90 na faixa de temperatura entre 30 e 230 °C, onde se observa a partir da curva a presença de duas bandas endotérmicas localizadas, com a primeira entre 70 e 120 °C, e com máxima em 107 °C, referente a evaporação da água e a segunda entre 170 e 185 °C com máxima em 182 °C referente a Tg do PVP K-90. Estes resultados corroboram com Albertini et. al. 2003, Sahoo e Murthy 2009 que observaram que a temperatura de transição vítrea (Tg) do PVP amorfo situa-se entre 90 e 180 °C. Dependendo de sua massa molecular e do seu teor de umidade, a presença de água também pode se manifestar como uma ampla endotermia durante a varredura. Newman 2012 indica a Tg do PVP K-90 em 177 °C.

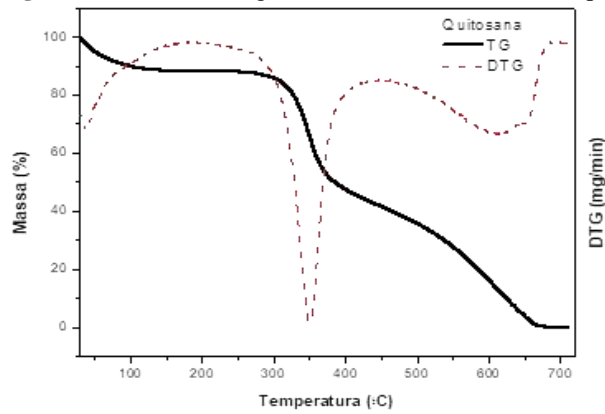
Figura 2: DSC do pó de PVP K-90 bruta.



Fonte: Autores (2021).

A Figura 3, mostram as curvas termogravimétricas TGA e DTG da quitosana, onde se observa 3 estágios. O primeiro da temperatura ambiente até cerca de 150 °C, ocorre perda de massa de cerca de 10% atribuído à água adsorvida e estrutural contida na quitosana, o segundo iniciando-se próximo de 200 °C e indo até 450 °C, com perda de massa de cerca de 50%, pode estar relacionado à decomposição de unidades de amina e o terceiro, iniciando-se próximo de 500 °C e indo até 550 °C, com perda de massa de cerca de 38%, é atribuído à degradação completa da quitosana, corroborando com Camacho et al. em 2010.

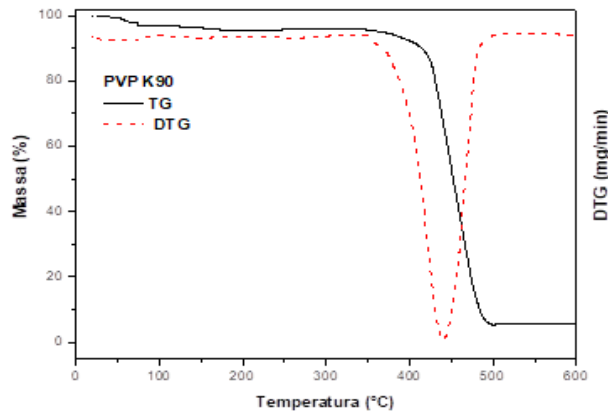
Figura 3: Curvas termogravimétricas TGA e DTG da quitosana.



Fonte: Autores (2021).

A Figura 4, mostram as curvas termogravimétricas de TGA e DTG do PVP K — 90, onde se observa 2 estágios. O primeiro da temperatura ambiente até cerca de 120 °C, ocorre perda de massa de cerca de 5% atribuído à perda de água adsorvida e estrutural contida no PVP K-90 e o segundo, iniciando-se próximo de 350 °C e indo até 500 °C, com perda de massa de cerca de 90%, é atribuído à degradação completa do polímero, corroborando com Bianco et al. 2003.

Figura 4: Curvas termogravimétricas TGA e DTG do PVP K — 90.



Fonte: Autores (2021).

A partir das curvas termogravimétricas TGA da quitosana e do PVP K — 90 foram observados a porcentagens de degradação individuais dos polímeros até 350 °C, com variação de $\pm 5\%$. Aplicando a equação 1, foram calculados os valores em % da degradação das misturas, apresentados na Tabela 2, onde o modelo de composto central para análise da metodologia de superfície resposta é aplicada para as diferentes frações de massa do polímero na mistura, para os fatores (quitosana e PVP K-90) em níveis (baixo, médio e alto) de concentração.

Tabela 2: Degradação das misturas poliméricas A, B e C aplicadas no modelo composto central em triplicata.

Fatores e Níveis		Degradação ([D])								
CQ	CP	Mistura A			Mistura B			Mistura C		
0	0	50,0	49,7	50,4	30,0	29,8	30,2	10,0	9,9	10,1
-1	-1	47,5	47,2	47,9	28,5	28,3	28,7	9,5	9,4	9,6
0	0	48,5	48,2	48,9	29,1	28,9	29,3	9,7	9,6	9,8
1	1	52,5	52,1	52,9	31,5	31,3	31,8	10,5	10,4	10,6
0	-1	50,0	49,6	50,4	29,9	29,7	30,1	9,8	9,7	9,9
1	0	52,5	52,1	52,9	31,4	31,2	31,6	10,3	10,2	10,4
-1	1	47,6	47,2	47,9	28,8	28,5	29,0	10,0	9,9	10,0
1	-1	52,5	52,1	52,9	31,3	31,0	31,5	10,1	10,0	10,1
0	1	50,0	49,7	50,4	30,1	29,9	30,4	10,2	10,2	10,3
0	0	49,5	49,2	49,9	29,7	29,5	29,9	9,9	9,8	10,0
0	0	50,5	50,1	50,9	30,3	30,1	30,5	10,1	10,0	10,2
0	0	51,0	50,6	51,4	30,6	30,4	30,8	10,2	10,1	10,3
-1	0	47,5	47,2	47,9	28,6	28,4	28,9	9,7	9,7	9,8

Fonte: Autores (2021).

As Equações de regressão (2, 3 e 4) foram obtidas pela metodologia de superfície de resposta (MSR), aplicando o método de composto central para as misturas poliméricas A, B e C respectivamente.

$$[D]_A = 49,93 + 2,25CQ + 0,25CP + 0,05CQ^2 + 0,05CP^2 \quad (2)$$

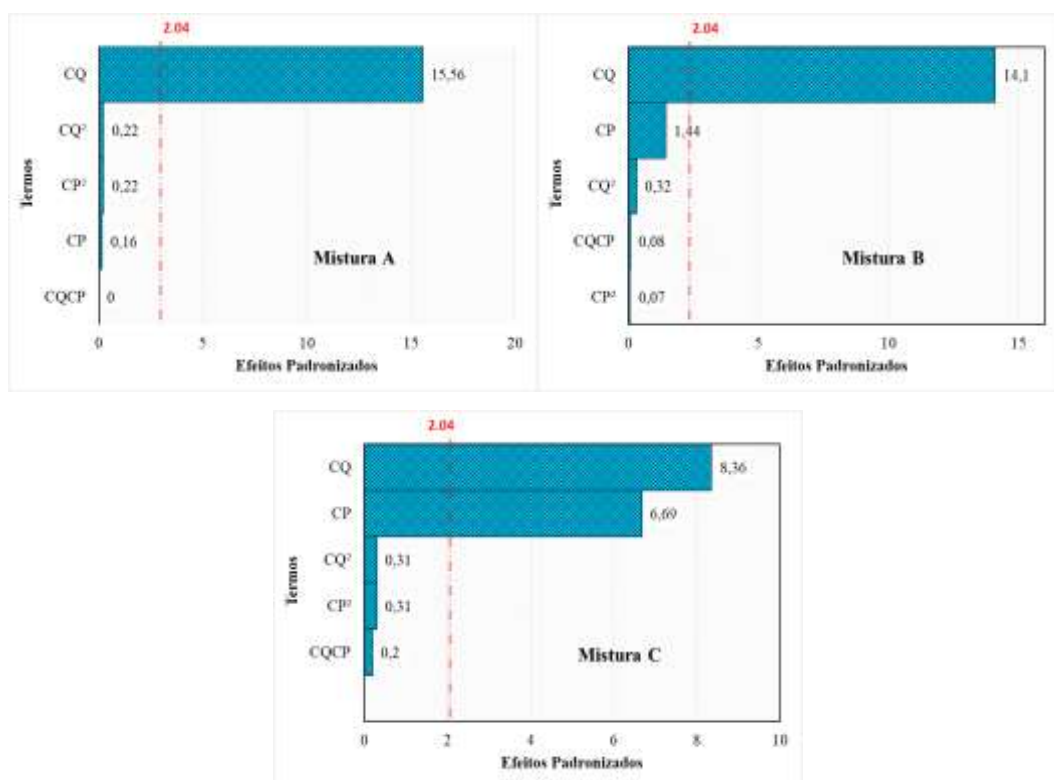
$$[D]_B = 27,47 + 1,25CQ + 0,13CP + 0,42CQ^2 + 0,01CP^2 - 0,01CQCP \quad (3)$$

$$[D]_C = 9,99 + 0,28CQ + 0,22CP + 0,02CQ^2 + 0,02CP^2 - 0,01CQCP \quad (4)$$

Os coeficientes de determinação (R^2) para as misturas poliméricas A, B e C foram 0,88, 0,86 e 0,78 respectivamente. esses resultados indicam que para o modelo linear de degradação das misturas poliméricas proposto pela (Equação 2), quanto maior a fração de massa do polímero quitosana melhor é modelo, este fato deve-se provavelmente pela maior degradação presente na quitosana.

Na Figura 5, observam-se os gráficos de Pareto que determinar a magnitude e a importância dos efeitos para um nível de confiança de 95%. Para as misturas poliméricas A, B o fator CQ e na C os fatores CQ e QP são significativos, pois os valores de efeitos para esses são superiores ao limite de 2,04 para α igual a 5%. Indicando a forte influência da quitosana na degradação das misturas.

Figura 5: Gráficos de Pareto para as misturas poliméricas A, B e C respectivamente.



Fonte: Autores (2021).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para as simulações das misturas poliméricas A, B e C são apresentados na Tabela 3. Observa-se que para o grau de liberdade 1 e 33 do erro com 95% de confiança, o valor da distribuição estatística tabelado é de 4,12. Portanto, a ANOVA indica que apenas o fator CQ na mistura A, B e C, e o fator CP na mistura C possuem valor F estatísticos superiores ao valor estatístico tabelado, sendo então estes fatores significativos, corroborando com o resultado apresentado no gráfico de Pareto (Figura 5).

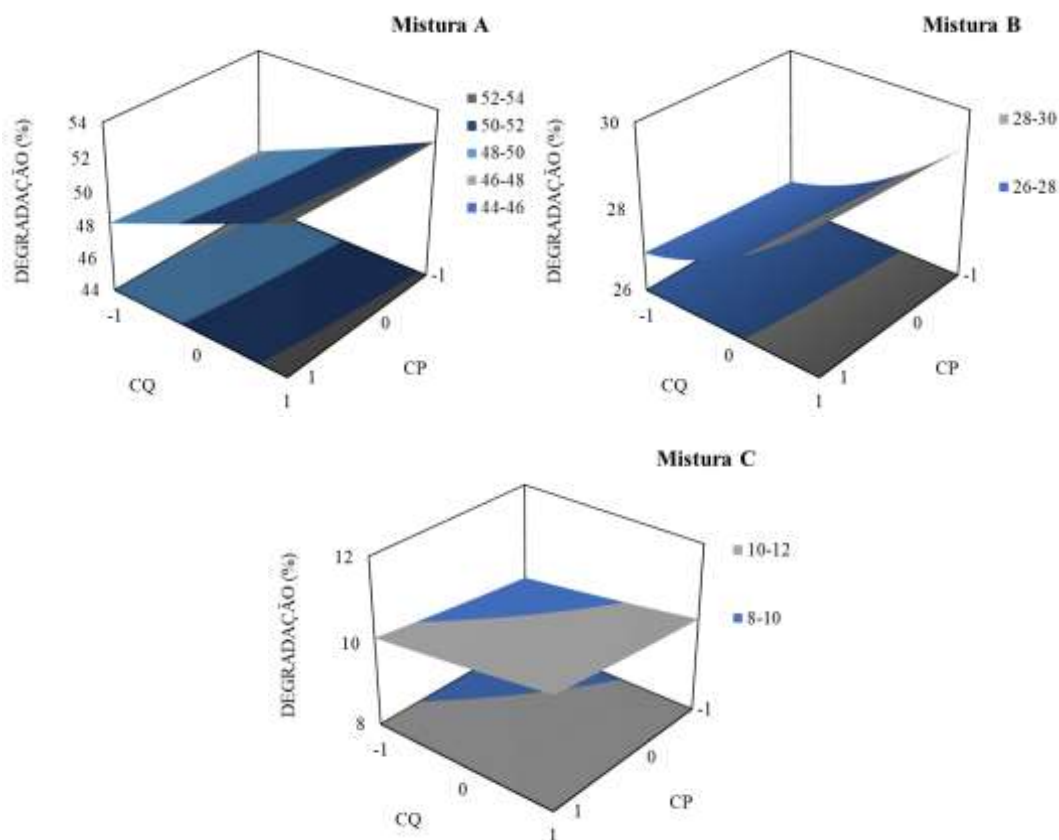
Tabela 3: Análise de variância para simulação da mistura polimérica A, B e C.

Fatores	Grau de Liberdade	A		B		C	
		Valor F	Valor P	Valor F	Valor P	Valor F	Valor P
CQ	1	246,20	0,00	198,85	0,00	69,93	0,00
CP	1	0,03	0,88	2,08	0,16	44,76	0,00
CQ ²	1	0,05	0,83	0,10	0,75	0,09	0,76
CP ²	1	0,05	0,83	0,00	0,95	0,09	0,76
CQCP	1	0,00	1,00	0,01	0,94	0,04	0,84
Erro	33						
Total	38						

Fonte: Autores (2021).

Na Figura 6, são ilustrados os gráficos de contorno e de superfície resposta obtidos na MSR pelo modelo composto central para as misturas poliméricas A, B e C, onde se verifica para as misturas A e B que os níveis altos para CP e CQ promovem a uma elevação da degradação e que quanto maior a fração de massa da quitosana maior a degradação até 350 °C.

Figura 6: Os gráficos de contorno e superfície resposta para as misturas poliméricas A, B e C respectivamente.



Fonte: Autores (2021).

O efeito observado nos gráficos da Figura 6 deve-se a perda de massa atribuído à perda de água adsorvida e estrutural contida e à decomposição de unidades de amina na quitosana conforme Camacho et al. em 2010, enquanto o PVP apresenta apenas perda de massa atribuído à perda de água adsorvida e estrutural conforme Bianco et al. 2003, dessa forma, quanto maior a fração de massa da quitosana maior a degradação da mistura polimérica.

O efeito de formação de ligações químicas entre a quitosana e o PVP K — 90 não foram considerados na simulação o que pode alterar a metodologia de superfície resposta para degradação da mistura polimérica, no entanto, a presença de formação ligações químicas entre os polímeros promoveriam a redução da degradação que seria proporcional a quantidade de ligações formadas. De tal forma que, espera-se que a fração de massa onde a quitosana e PVP K — 90 fossem semelhantes apresentariam maior quantidade de grupos químicos para formação de ligações e conseqüentemente teriam menor degradação.

Diante do estudo observa-se que a simulação de degradação da mistura polimérica considerando o modelo linear e utilizando o modelo composto central de metodologia de superfície resposta é satisfatório.

4. Conclusão

A partir da caracterização térmica por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA) e sua derivada (DTG) dos polímeros quitosana de média massa molar e PVP K — 90 foram observados os perfis térmicos e degradação dos polímeros brutos.

Através da MSR foi criado um modelo do perfil de degradação até 350 °C para mistura dos polímeros considerando o modelo linear, e verificou-se que a concentração de massa e a fração de polímeros modificam os perfis de degradação, sendo a quitosana o fator de maior influência.

O estudo demonstrou que a simulação de degradação da mistura polimérica considerando o modelo linear, utilizando o

modelo composto central de MSR apresentou uma resposta satisfatória.

As informações obtidas na pesquisa são extremamente úteis, auxiliando na avaliação térmica das misturas poliméricas, de forma, a buscar as melhores condições, reduzir tempo de experimentos focando pontos de interesse. De toda forma, é relevante a realização experimental e aplicação da metodologia de superfície resposta para confirmação dos dados obtidos via o modelo aplicado no estudo.

Referências

- Albertini, B., Cavallari, C., & Passerini, N. (2003). Evaluation of B-Lactose, PVP K12 and PVP K90 as Excipients to Prepare Piroxicam Granules Using two Wet Granulation Techniques. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 56, 479–487. 10.1016/S0939-6411(03)00114-0
- Archana, D., Singh, B. K., Dutta, J., & Dutta, P. K. (2015). Chitosan-PVP-nano Silver Oxide Wound Dressing: In Vitro and in Vivo Evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 73, 49–57. 10.1016/j.ijbiomac.2014.10.055
- Augusto, F., & Leite, S. (2021). Curativos de prata no tratamento de feridas exsudativas - uma revisão sistemática. *Revista Feridas*, 09(46), 1682–1689.
- Bernardo, M., Paschoalin, R., Santos, D., Bilatto, S., Farinas, C., Correa, D., Oliveira, O., & Mattoso, L. (2021). Processamento e Aplicação de Biomateriais Poliméricos: Avanços Recentes e Perspectivas. *Química Nova, January*. 10.21577/0100-4042.20170781
- Bianco, G., Soldi, M. S., Pinheiro, E. A., Pires, A. T. N., Gehlen, M. H., & Soldi, V. (2003). Thermal stability of poly (N -vinyl-2-pyrrolidone-co-methacrylic acid) copolymers in inert atmosphere. *Polymer Degradation and Stability*, 80, 567–574. 10.1016/S0141-3910(03)00053-3
- Biswal, S., Sahoo, J., & Murthy, P. N. (2009). *Brief / Technical Note Physicochemical Properties of Solid Dispersions of Gliclazide in Polyvinylpyrrolidone K90*. 10(2). 10.1208/s12249-009-9212-7
- Carmignan, F., Matias, R., Carollo, C. A., Dourado, D. M., Fermiano, M. H., Silva, B. A. K., & Bastos, P. (2019). Eficácia da aplicação de Equisetum pyramidale Goldm. hidrogel na restauração tecidual em lesões cutâneas induzidas em ratos Wistar. *Brazilian Journal of Biology*, 80, 12–22.
- de Campos, D. L. P., Solla, M. F., Sugiyama, L. T., dos Santos, N. B., Gonella, H. A., & da Silva Rodrigues, J. M. (2017). Estudo experimental comparativo entre curativo a base de sulfadiazina de prata e o biopolímero de poliuretano e quitosana em queimaduras de espessura parcial superficial. *Revista Da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba*, 19(Supl.).
- Denari, G. B., & Cavalheiro, É. T. G. (2012). *Princípios e Aplicações de Análise Térmica (IQSC)*. São Carlos.
- Dhivya, S., Padma, V. V., & Santhini, E. (2015). Wound dressings—a review. *BioMedicine*, 5(4), 1–5.
- Ducheyne, P. (2015). *Comprehensive biomaterials* (Vol. 1). Elsevier.
- Farina-Junior, J., Coltro, P., Oliveira, T., & Correa, F. (2017). Curativos de prata iônica como substitutos da sulfadiazina para feridas de queimaduras profundas: relato de caso. *Rev Bras Queimaduras*, 16(1), 1–5.
- Franco, P., & De Marco, I. (2020). The use of poly(N-vinyl pyrrolidone) in the delivery of drugs: A review. *Polymers*, 12(5), 18–21. 10.3390/POLYM12051114
- Ges Naranjo, A. A., Cobas, H. V., Hernández, L. G., Rey, L. P., Corrales, Y. A., Luz, I., Botelho, K., & Fontes, W. (2021). Nanogels as prospective biomaterial: Radio-induced synthesis, characterization, and biological assays. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 40(5).
- Ionashiro, M., Caires, F. J., & Gomes, D. J. C. (2005). *Princípios Básicos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/ Calorimetria Exploratória Diferencial* (Giz). São Paulo.
- Koczkur, K. M., Mourdikoudis, S., Polavarapu, L., & Skrabalak, S. E. (2015). Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis. *The Royal Society of Chemistry*, 44, 17883–17905. 10.1039/c5dt02964c
- Kurakula, M., & Rao, G. S. N. K. (2020). Pharmaceutical assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP): As excipient from conventional to controlled delivery systems with a spotlight on COVID-19 inhibition. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 60(September), 102046. 10.1016/j.jddst.2020.102046
- Martínez-Camacho, a. P., Cortez-Rocha, M. O., Ezquerro-Brauer, J. M., Graciano-Verdugo, a. Z., Rodríguez-Félix, F., Castillo-Ortega, M. M., Yépiz-Gómez, M. S., & Plascencia-Jatomea, M. (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*, 82, 305–315. 10.1016/j.carbpol.2010.04.069
- Matica, M. A., Aachmann, F. L., Tøndervik, A., Sletta, H., & Ostafe, V. (2019). Chitosan as a wound dressing starting material: Antimicrobial properties and mode of action. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), 1–33. 10.3390/ijms20235889
- Mishra, R., Varshney, R., Das, N., Sircar, D., & Roy, P. (2019). Synthesis and characterization of gelatin-PVP polymer composite scaffold for potential application in bone tissue engineering. *European Polymer Journal*, 119(July), 155–168. 10.1016/j.eurpolymj.2019.07.007
- Morgado, P. I., Miguel, S. P., Correia, I. J., & Aguiar-Ricardo, A. (2017). Ibuprofen loaded PVA/chitosan membranes: A highly efficient strategy towards an improved skin wound healing. *Carbohydrate Polymers*, 159, 136–145. 10.1016/j.carbpol.2016.12.029
- Newman, A. (2012). Using Thermal Techniques for Amorphous Materials. Seventh Street Development Group (Ed.), Pharmaceutical Powder X-ray Diffraction Symposium. Fort Myers.

Oliveira, M. Z. F. da S., Fernandes, T. S. M., & Carvalho, T. V. (2021). Síntese e caracterização de beads de quitosana comercial reticulados com glutaraldeído. *Revista Materia*, 26(2). 10.1590/S1517-707620210002.1261

Queiroz, B. B. de, & Tomaz, A. F. (2020). Eficácia do Curativo de Quitosana na Cicatrização: Uma Revisão Integrativa. *Revista Eletrônica de Ciências - TEMA*, 21(32), 82. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

Reul, L. T. A., Carvalho, L. H., & Canedo, E. L. (2018). *Características Reológicas e Térmicas de Compósitos Policaprolactona / Babaçu*. 3(2017), 174–182.

Rinaudo, M., & A, M. R. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 603–632. 10.1016/j.propolymsci.2006.06.001

Santos Filho, E. A. dos, Luna, C. B. B., Siqueira, D. D., Araújo, E. M., & Wellen, R. M. R. (2020). Efeito do recozimento nas propriedades mecânicas, térmicas e termomecânicas da PCL. *Research, Society and Development*, 9(12), e13191210764. 10.33448/rsd-v9i12.10764

Sebastião V. Canevarolo Junior. (2003). *Técnicas de Caracterização de Polímeros* (Artliber).

Sen, C. K. (2019). *Human wounds and its burden: an updated compendium of estimates*. Mary Ann Liebert, Inc., publishers 140 Huguenot Street, 3rd Floor New

Sizílio, R. H., Galvão, J. G., Trindade, G. G. G., Pina, L. T. S., Andrade, L. N., & Gonsalves, J. K. M. C. (2018). Chitosan / pvp-based mucoadhesive membranes as a promising delivery system of betamethasone-17-valerate for aphthous stomatitis. *Carbohydrate Polymers*, 190(February), 339–345. 10.1016/j.carbpol.2018.02.079

Verde, D. dos S. V., Mendes, M. I. de S., Souza, A. da S., Pinto, C. R., Nobre, L. V. C., Melo, J. E. dos S., & Ledo, C. A. da S. (2021). Ácido ascórbico e polivinilpirrolidona no cultivo in vitro de *Dioscorea* spp. *Research, Society and Development*, 10(9), e10510917812. 10.33448/rsd-v10i9.17812

Zargar, V., Asghari, M., & Dashti, A. (2015). A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng Reviews*, 2(3), 204–226.