

## PRODUÇÃO DE MEMBRANAS PELA COMBINAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS E DE BASE BIOLÓGICA POR ELETROFIAÇÃO

Nicolyn Nunes de Souza Alves, Ivone Regina de Oliveira.

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, nicolynunes.br@gmail.com, ivonero@univap.br.

### Resumo

O alginato de sódio (SA) é um polímero natural solúvel em água e biocompatível usado na administração de medicamentos, curativos e engenharia de tecidos. Por conter as propriedades de não toxicidade inerente, biocompatibilidade excepcional, propriedades físicas desejáveis e alta similaridade com os tecidos humanos, o polímero sintético de base biológica, ácido polivinílico (PVA) é um dos hidrogéis mais estudados. A combinação desses polímeros com a tecnologia de eletrofiação abriu a oportunidade de inovação em áreas que exigiam alta especificidade e afinidade do material, como a engenharia de tecidos. Assim, essa proposta tem como objetivo a produção de membranas pela combinação desses polímeros por eletrofiação visando aplicação como biomateriais para curativos ou scaffolds.

**Palavras-chave:** Eletrofiação, membranas, polímeros naturais, polímeros de base biológica.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Química

### Introdução

Os materiais nanoestruturados têm atraído considerável atenção devido às propriedades únicas que surgem de seu comportamento estrutural dependente do tamanho, tornando-os de interesse nas áreas de engenharia de tecidos, administração de drogas, biossensores, energia e muito mais. Entre os materiais nanoestruturados disponíveis, as nanofibras engenheiradas (NFs) carregam uma gama de novas propriedades físicas e químicas que superam muitas limitações presentes em seus correspondentes em macroescalas (JADBABAEI, 2021).

A eletrofiação é um processo que usa um campo elétrico para controlar a formação e deposição de polímeros, sendo um método notavelmente eficiente, rápido e barato, que vem sendo amplamente explorado por conta da produção de fibras com alta semelhança à micro-nanoestrutura da matriz extracelular (MEC) (KREPSZTUL, 2019).

A técnica de produção de nanoestruturas por eletrofiação está sendo constantemente aperfeiçoada para produzir *scaffolds* com arquitetura semelhante à MEC natural. A estrutura 3D altamente porosa dos scaffolds não somente implica o melhor suporte para a adesão celular, mas também fornece um ambiente ideal para a migração e proliferação de células (YANG, 2016).

Além disso, as estruturas bidimensionais produzidas por meio da técnica de eletrofiação desempenham um papel fundamental na fabricação de produtos substitutos da pele que abrangem com sucesso todas as propriedades desejadas para o fechamento de feridas e regeneração da pele.

Os polímeros naturais são considerados candidatos adequados devido à sua arquitetura intrínseca, propriedades biológicas, alta semelhança com os componentes da MEC e podem apresentar propriedades antimicrobianas em comparação com os derivados sintéticos, e assim, menos imediatos para induzir imunotoxicidade e respostas inflamatórias crônicas.

Os polímeros sintéticos apresentam a deficiência de falta de locais de ligação celular. Materiais naturais têm excelente biocompatibilidade e existem sítios biológicos na superfície que pode ser especificamente reconhecida pelas células interinas as quais podem promover a migração, adesão celular e proliferação e acelerar a regeneração e reconstrução do tecido.

O alginato de sódio (AS) é um polímero natural, solúvel em água e biocompatível usado na administração de medicamentos, curativos e engenharia de tecidos (STONE, 2013), (LEE, 2011); são copolímeros binários não ramificados biocompatíveis que tem sido amplamente utilizado como um tipo de biomaterial desejado em muitos campos.

As nanofibras de ácido polivinílico (PVA) são amplamente utilizadas como biomateriais devido à excelente hidrofiliabilidade, alta biocompatibilidade e propriedades mecânicas (ISLAM, 2010),

# A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

(KOSKI,2003). Sua flexibilidade e tenacidade são boas, por isso é um polímero sintético de base biológica típico que é usado para melhorar as propriedades físicas através da mistura com outros materiais com propriedades físicas ruins (SAFI,2006).

## Metodologia

O sistema da técnica de eletrofição é comumente representado por uma seringa com uma agulha fixada na ponta da seringa, que é direcionada a uma base metálica que atua como suporte para a coleta da membrana de nano/microfibras. Tanto a agulha quanto a base metálica são conectadas a uma fonte de energia de alta tensão (1-30 kV) por meio de eletrodos. A agulha é carregada positivamente enquanto o coletor é aterrado ou carregado oposto à agulha para estabelecer uma diferença de potencial que facilita a formação e deposição de NFs.

Neste trabalho foram produzidas fibras eletrofiadas a partir da combinação de polímero natural como alginato de sódio (AS) com um polímero sintético de base biológica (PVA) variando os seguintes parâmetros, apresentados na Tabela 1.

As fibras eletrofiadas, ao entrar em contato com água, se degradam totalmente, o que dificulta no auxílio de regeneração de tecidos. É importante que as fibras se mantenham biodegradáveis, porém, é necessário que a degradação delas ocorra em um momento específico e, para impedir a degradação imediata, é necessário adicionar um agente reticulante como o ácido cítrico.

Tabela 1 – Parâmetros estudados para a fabricação das soluções e fibras.

Parâmetro	Varição
PVA	8%, 10% e 12% p/v
SA	estabelecida em 2%
Proporção (complexo)	70:30/ 60:40/ 50:50 (PVA:SA)
Teor de ácido cítrico	5% a 2%
Tensão	12 a 15kV
Vazão	0.48 a 0.55 ml/h
Distância agulha-coletor	10 a 15 cm
Umidade	30 a 38%
Temperatura	18 a 22°C

Fonte: O Autor.

## Resultados e Discussão

No transcorrer do preparo das soluções, observou-se que aquelas que permitiram melhor resultado na formação de fibras eram provenientes de soluções cuja proporção era PVA (10% p/v) / SA (2% p/v) 60:40 (STONE,2013). Para a reticulação das fibras, foi adicionado nas soluções concentrações diferentes de ácido cítrico, cuja que gerou melhor resultado foi a concentração de 4% p/v (ALOMA,2020). Além disso, as condições do processo de eletrofição que geraram fibras mais adequadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições utilizadas na eletrofição a partir da otimização dos demais parâmetros.

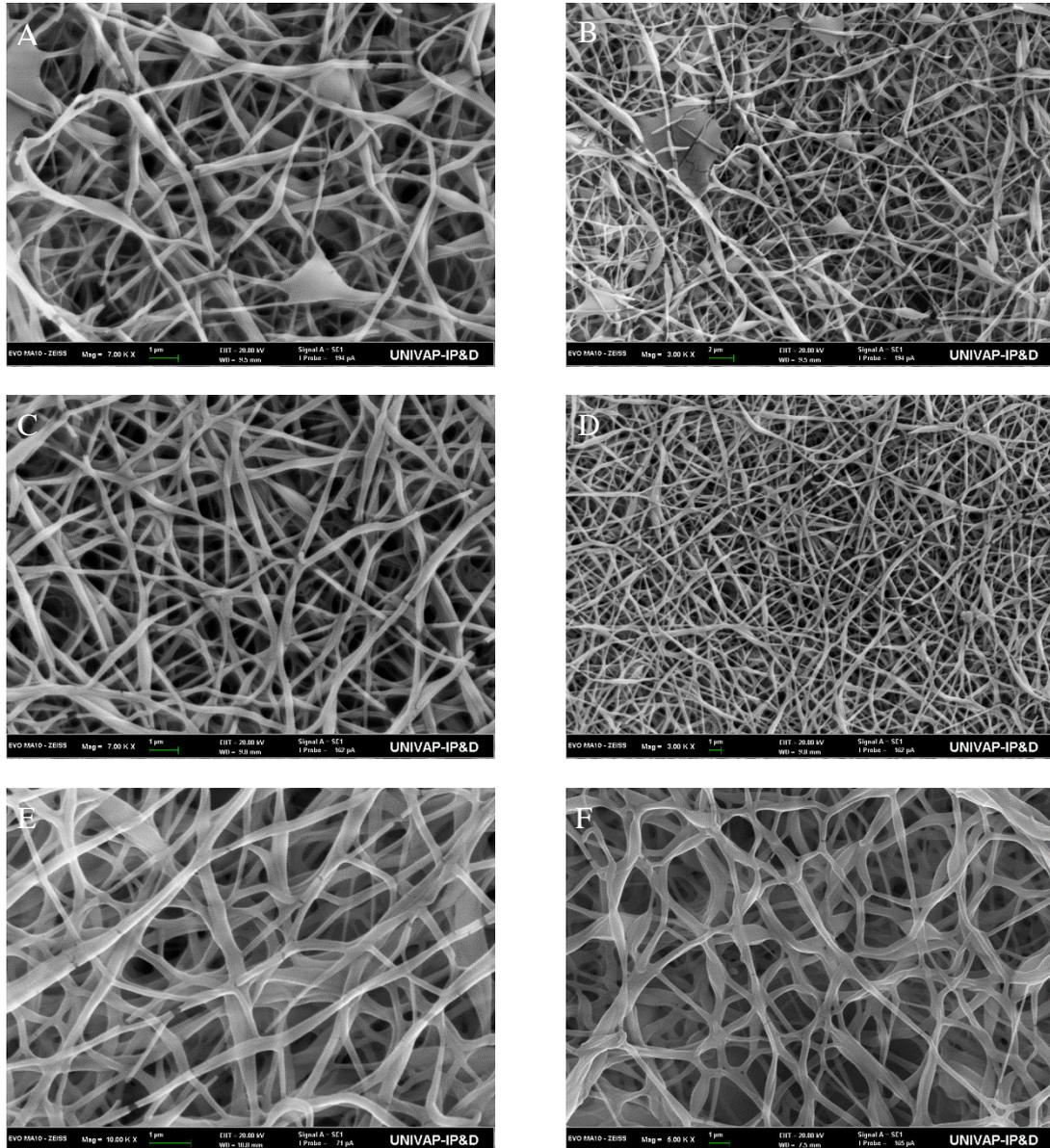
Tensão	15 kV
Vazão	0,5 ml/h
Distância	12 cm
Umidade	33%
Temperatura	21°C
Duração	2h30

Fonte: O autor.

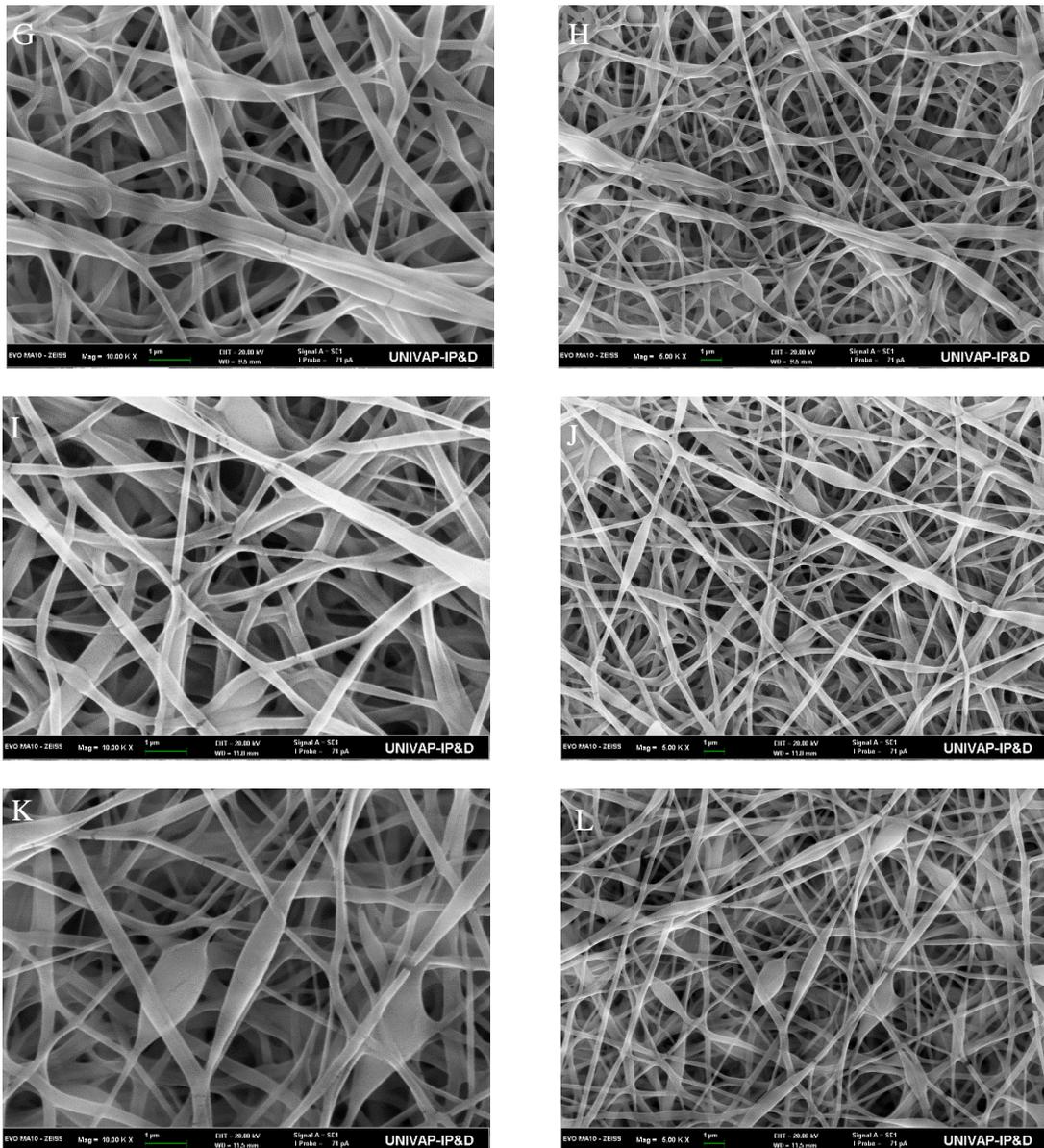
# A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Microscopias das fibras com variação na distância agulha coletor, sendo 10 cm (A e B), 11 cm (C e D), 12 cm (E e F), 13 cm (G e H), 14 cm (I e J) e 15 cm (K e L) são apresentadas na Figura 1. Fibras produzidas com distância de 12 cm em relação à distância agulha-coletor se mostraram mais finas.

Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de PVA/SA.



# A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições



Fonte: O autor.

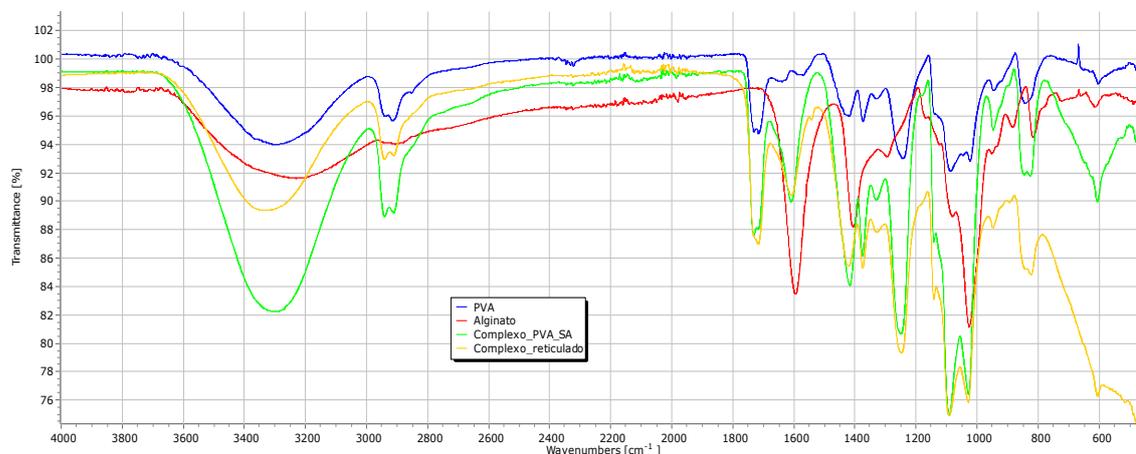
Os espectros de FTIR das fibras fornecem evidências da presença de grupos funcionais presentes na sua estrutura. Na figura 2 são apresentados espectros de uma amostra de PVA (azul), uma amostra de SA (amarelo) e uma fibra feita a partir do complexo PVA/SA (verde).

As bandas características de PVA apresentam-se em 3280 (O-H), 2917 (CH), 1690 (C=O), 1425 (C-H de CH<sub>2</sub>), 1324 (C-H), 1081 (C-O) e 839 (CC) cm<sup>-1</sup>, e as bandas de SA são observadas entre 3000 e 3600 cm<sup>-1</sup> (OH), 2920 - 2850 cm<sup>-1</sup> (C-H), e 1649 - 1460 cm<sup>-1</sup> (carboxilato).

Já para a fibra do complexo após a reticulação, bandas características de ácido cítrico são observadas entre 1692-1743 cm<sup>-1</sup> (C=O) e 1385-1560 cm<sup>-1</sup> (-COO), evidenciando que houve *cross-linking* no complexo.

# A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 2 – Espectros FTIR das fibras.



Fonte: O autor.

## Conclusão

O presente estudo demonstrou que para a obtenção de nanofibras poliméricas íntegras e com homogeneidade morfológica por eletrofição é necessário otimizar as condições do processo.

Observou-se que o preparo das soluções individuais de PVA e SA influenciam na qualidade da fibra após formado o complexo; soluções de PVA são necessariamente preparadas a 80°C enquanto a solução de SA é preparada em temperatura ambiente.

Além disso, os parâmetros de eletrofição influenciam a formação da fibra; distâncias maiores tendem a produzir fibras mais espessas. Além disso, valores de tensão baixos e vazões muito altas, dificultam a evaporação do solvente e, portanto, não há formação do filamento fibroide.

A concentração do ácido cítrico na solução foi variada até se verificar o cross-linking nas fibras por meio dos espectros FTIR, mas que não excedesse o limite de toxicidade (ácido cítrico inibe a degradabilidade da fibra, mas, em alta quantidade no organismo, torna-se tóxico). Dessa forma, foram realizados testes onde a melhor concentração foi de 4% p/v. A fibra também foi colocada em contato com água para testar a degradabilidade, mostrando-se resistente após a reticulação.

## Referências

Lee, K. Y; Mooneya, D. J. et. Al. **Progress in Polymer Science**. 24 mar 2011

K. K. Aloma, S. Sukaryo, S. Oemar et. Al. **Synthesis of Nanofibers from Alginate-Polyvinyl Alcohol using Electrospinning Methods**. 2020

J. M. Yang, J. H. Yang, S. C. Tsou, C. H. Ding, C. C. Hsu, K. C. Yang, C. C. Yang, K. S. Chen, S. W. Chen, J. S. Wan et. Al. **Cell proliferation on PVA/sodium alginate and PVA/poly( $\gamma$ -glutamic acid) electrospun fiber**. 19 jan 2016

S. Jadbabaei, M. Kolahdoozan, F. Naeimib, H. Ebadi-Dehaghanic **Preparation and characterization of sodium alginate-PVA polymeric scaffolds by electrospinnig method for skin tissue engineering aplications**. et. Al. 29 mai 2021

S. Safi, M. Morshed, S. A. Hosseini Ravandi, M. Ghiaci et. Al. **Study of Electrospinning of Sodium Alginate, Blended Solutions of Sodium Alginate/Poly(vinyl alcohol) and Sodium Alginate/Poly(ethylene oxide)**. 18 jun 2006

## A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Md. S. Islam, M. R. Karim et. Al. **Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/alginate blend nanofibers by electrospinning method.** 7 abr 2010

S. A. Stone, P. Gosavi, T. J. Athauda, R. R. Ozer et. Al. **In situ citric acid crosslinking of alginate/polyvinyl alcohol electrospun nanofibers.** 26 jun 2013

J. W. Krepsztul, T. Rydzkowski, I. M. Pozoga, V. K. Thakur et. Al. **Biopolymers for Biomedical and Pharmaceutical Applications: Recent Advances and Overview of Alginate Electrospinning.** 15 jan 2019

A. Koski, K. Yim, S. Shivkumar et al. **Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning.** 14 may 2003.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq).