



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA**

TIAGO SILVA LOPES

EQUIPAMENTOS DE *ELECTROSPINNING*:

Revisão Sistemática

BOM JESUS DA LAPA

2025

TIAGO SILVA LOPES

EQUIPAMENTOS DE *ELECTROSPINNING*:

Revisão Sistemática

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: PROF. ME. LUCAS ANINGER DE BARROS ROCHA

FICHA CATALOGRÁFICA

L864

Lopes, Tiago Silva

Equipamentos de *Electrospinning*: revisão sistemática. / Tiago Silva Lopes. – 2025.

74f.: il.

Orientador: Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Engenharia Mecânica 2. Equipamentos de *Electrospinning* 3. Revisão Sistemática I. Rocha, Lucas Aninger de Barros. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 620.1

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

TIAGO SILVA LOPES

EQUIPAMENTOS DE *ELECTROSPINNING*:

Revisão Sistemática

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Bom Jesus da Lapa, 10 de fevereiro de 2025.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Trabalho de Conclusão de Curso:

Prof. Me. Lucas Aninger De Barros Rocha, Presidente

Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Prof. Dr. Jorge Luis Oliveira Santos, Avaliador

Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

Prof. Me. Filipi Marques de Souza, Avaliador

Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, tornando possível a conclusão deste desafio acadêmico.

Primeiramente, agradeço a Lucas Aninger, meu orientador, por ter me aceitado como seu orientando, pela paciência e sugestões que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação e expertise foram inspiradores.

Agradeço também aos professores Jorge Luis e Filipi Marques, membros da banca avaliadora, por dedicarem seu tempo e conhecimento na análise e avaliação deste trabalho.

À minha família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo ao longo desta jornada acadêmica. Cada palavra de encorajamento foi fundamental para superar os desafios.

Aos amigos e colegas de curso, agradeço pela troca de experiências, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio mútuo. Cada momento compartilhado contribuiu para o crescimento acadêmico e pessoal.

Agradeço, acima de tudo, a Deus, cuja graça e orientação foram fontes constantes de força e inspiração ao longo desta jornada acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a concretização deste trabalho, seja com conselhos, contribuições técnicas ou simplesmente com palavras de estímulo.

Este trabalho não seria possível sem o auxílio e suporte dessas pessoas especiais.

Muito obrigado a todos!

EPÍGRAFE

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
volta ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

RESUMO

LOPES, Tiago Silva. **EQUIPAMENTOS DE *ELECTROSPINNING***: Revisão Sistemática. 2023. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Bom Jesus da Lapa - BA, 10 fev. 2025.

Este estudo sistemático abordou os equipamentos utilizados na técnica de *electrospinning*, analisando componentes-chave como fonte de alta tensão, *spinneret* e coletor. Detalhou-se minuciosamente as etapas do processo, desde a formação do cone de Taylor até a solidificação do jato e a deposição de fibras, considerando configurações específicas para o contexto de estudo em engenharia e adaptações a diferentes coletores. A análise aprofundada dos parâmetros, categorizados em solução, operação e ambiente, proporcionou uma compreensão abrangente dos fatores que moldam a eficácia do processo. A metodologia da revisão sistemática foi delineada para coleta e análise de dados de publicações de origem brasileira entre 2019 e 2024, utilizando a metodologia PRISMA. A análise qualitativa dos tipos de equipamentos e parâmetros foi complementada por uma análise quantitativa da distribuição das publicações, apresentando os resultados visualmente por meio de tabelas e gráficos. Os resultados obtidos oferecem uma visão detalhada dos equipamentos e parâmetros mais utilizados na técnica de *electrospinning*. Foi identificado que as fontes de alta tensão variam principalmente entre 10 kV e 30 kV, com destaque para o modelo KD 100 das bombas de seringa. As seringas utilizadas são, em sua maioria, de 3 ml e 5 ml, com agulhas entre 0,5 mm e 1 mm. Os parâmetros operacionais mais frequentes incluem tensões médias de 21,8 kV, taxas de fluxo em torno de 2,02 ml/h e distâncias de trabalho de aproximadamente 13,9 cm. Além disso, a pesquisa revelou que as publicações estão concentradas nas regiões Sudeste e Sul, especialmente em São Paulo, com forte presença de estudos voltados para a indústria alimentícia, saúde pública, e medicina, incluindo engenharia de tecidos e biotecnologia, com foco na liberação controlada de fármacos.

Palavras-chave: *Electrospinning*. Equipamentos de *Electrospinning*. Revisão Sistemática.

ABSTRACT

This systematic study investigated the equipment used in the electrospinning technique, analyzing key components such as high-voltage sources, spinnerets, and collectors. The process stages were thoroughly detailed, from the formation of the Taylor cone to the solidification of the jet and fiber deposition, considering specific configurations for engineering studies and adaptations to various collectors. A comprehensive analysis of parameters, categorized into solution, operation, and environment, provided an in-depth understanding of the factors influencing process effectiveness. The systematic review methodology was designed to collect and analyze data from Brazilian publications between 2019 and 2024, following the PRISMA methodology. The qualitative analysis of equipment types and parameters was complemented by a quantitative analysis of publication distribution, with results presented visually through tables and graphs. The findings provide a detailed overview of the most commonly used equipment and parameters in electrospinning. It was found that high-voltage sources mainly range from 10 kV to 30 kV, with the KD 100 syringe pump model being prominent. The syringes are mostly 3 ml and 5 ml, with needles ranging from 0.5 mm to 1 mm. The most frequent operational parameters include average voltages of 21.8 kV, flow rates around 2.02 ml/h, and working distances of approximately 13.9 cm. Additionally, the study revealed that publications are concentrated in the Southeast and South regions, particularly in São Paulo, with a strong presence of research focused on the food industry, public health, and medicine, including tissue engineering and biotechnology, with an emphasis on controlled drug release.

Keywords: Electrospinning. Electrospinning Equipment. Systematic Review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Progresso na pesquisa em eletrofiação com base na produção de publicações ao longo dos anos.....	15
Figura 2 – Ilustração esquemática do processo de eletrofiação com seus componentes e estrutura de fibras típicas.....	16
Figura 3 – Ilustração esquemática de diferentes orientações para o sistema de eletrofiação.....	17
Figura 4 – Imagens esquemáticas e reais da formação do Cone de Taylor para diferentes métodos de eletrofiação por fusão: a) seringa, b) borda e c) fio.....	19
Figura 5 – Diagrama mostrando o caminho percorrido por um jato eletricamente carregado....	20
Figura 6 – Fluxograma das diferentes configurações dos equipamentos da eletrofiação.....	23
Figura 7 – Esquematização do processo de eletrofiação de emulsão	22
Figura 8 – Esquematização do processo de eletrofiação coaxial.....	24
Figura 9 – Diferentes construções de eletrofiação por fusão utilizando métodos de aquecimento diversos, como (a) fluidos circulantes, (b) aquecedores elétricos, (c) pistolas de aquecimento ou (d) laser, e por meio do uso de (e) extrusoras de rosca, (f) êmbolos ou (g) pressão de ar para fornecer o polímero fundido ao spinneret.....	25
Figura 10 – Esquematização do processo de eletrofiação assistida por campo magnético.....	26
Figura 11 – Esquematização do processo de eletrofiação por bicomponente.....	27
Figura 12 – Esquematização do processo de eletrofiação por método de injeção de carga.....	28
Figura 13 – Esquematização do processo de eletrofiação em campo próximo.....	29
Figura 14 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tambor rotativo.....	30
Figura 15 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de pino com mandril rotativo.....	30
Figura 16 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tubo rotativo com eletrodos de borda afiada.....	31
Figura 17 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de mandril rotativo com condutor paralelo.....	32
Figura 18 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor condutor paralelo.....	32
Figura 19 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor com eletrodos padronizados.....	33
Figura 20 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tambor rotativo rotativos.....	34
Figura 21 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor com disco fino rotativo..	34

Figura 22 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor com duplo anel.....	35
Figura 23 – PRISMA representando o processo de seleção dos artigos encontrados.....	44
Figura 24 – Publicações por período (2019-2024)	47
Figura 25 – Publicações por Instituições.....	50
Figura 26 – Publicações por estados brasileiros.....	51
Figura 27 – Frequência da tensão aplicada nos estudos selecionados.....	57
Figura 28 – Frequência da taxa de fluxo nos estudos selecionados.....	61
Figura 29 – Frequência da distância de trabalho nos estudos selecionados.....	62
Figura 30 – Frequência de temperatura nos estudos selecionados.....	63
Figura 31 – Frequência da umidade nos estudos selecionados.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento sobre os parâmetros de solução/solvente.....	36
Tabela 2 – Detalhamento sobre as condições operacionais.....	38
Tabela 3 – Detalhamento sobre as condições do ambiente.....	39
Tabela 4 – Cronograma das etapas de construção da revisão sistemática.....	46
Tabela 5 – Relação de estudos selecionados classificados pela quantidade de citações.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equipamentos de eletrofiação utilizados nos estudos selecionados.....	54
Quadro 2 – Parâmetros de eletrofiação dos estudos selecionados.....	58

LISTA DE SÍMBOLOS

V_C	Voltagem crítica	[kV]
I	Corrente elétrica	[A]
R_0	Raio Crítico do jato	[m]
r_0	Raio inicial do jato	[m]
D_f	Diâmetro final do jato	[m]
H	Distância entre o bico e o coletor	[m]
h	Comprimento do <i>spinneret</i>	[m]
R	Raio externo do <i>spinneret</i>	[m]
L	Comprimento crítico do segmento do jato	[m]
γ	Tensão superficial do fluido	[din/cm]
k	Condutividade elétrica	[S/m]
Q	Taxa de fluxo	[m ³ /s]
ρ	Densidade do fluido	[kg/m ³]
χ	Comprimento de onda adimensional	-
ε	Constante dielétrica	-

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	INTRODUÇÃO AO ELECTROSPINNING	14
2.2	EQUIPAMENTOS DE ELECTROSPINNING	16
2.2.1	Fonte de Alta Tensão	17
2.2.2	<i>Spinneret</i>	17
2.2.3	Coletor	18
2.3	ETAPAS DO PROCESSO DE ELECTROSPINNING	18
2.3.1	Formação do Cone de Taylor	18
2.3.2	Estiramento do Jato Carregado	19
2.3.3	Afinamento do Jato Carregado	21
2.3.4	Solidificação do Jato e Deposição de Fibras	21
2.4	CONFIGURAÇÕES DE EQUIPAMENTOS DE ELECTROSPINNING	21
2.4.1	Configurações no Contexto do Estudo de Engenharia	22
2.4.2	Configurações Adaptadas às Variações no Tipo de Coletor	29
2.5	PARÂMETROS QUE AFETAM O PROCESSO de ELECTROSPINNING	35
2.5.1	Parâmetros da Solução	36
2.5.2	Condições de Operação	38
2.5.3	Condições de Ambiente	39
2.6	REVISÃO SISTEMÁTICA	40
2.6.1	Tipos de Revisões Literárias	40
2.6.2	Revisão Sistemática	41
3	METODOLOGIA	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	ESTUDOS SELECIONADOS	47
4.1.1	Publicações por Ano	47
4.1.2	Publicações por Instituições	50
4.1.3	Publicações por Estados	51
4.2	APARATOS DE ELETROFIAÇÃO	52
4.2.1	Fontes de Alta Tensão	52
4.2.2	Bombas Injetoras	52

4.2.3	Capacidade das Seringas e Calibres das Agulhas	53
4.2.4	Tipos de Coletores	53
4.3	PARÂMETROS DE ELETROFIAÇÃO.....	57
4.3.1	Tensão Aplicada.....	57
4.3.2	Taxa de Fluxo.....	61
4.3.3	Distância de Trabalho	61
4.3.4	Temperatura e Umidade Relativa.....	62
5	CONCLUSÕES.....	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O *electrospinning* ou eletrofiação, com raízes no século XVIII, evoluiu com melhorias ao longo do tempo. Em 1934, Anton Formhals patenteou o primeiro método para produzir nanofibras a partir de soluções poliméricas. O conceito revolucionário do "cone de Taylor" surgiu com Geoffrey Taylor entre 1964-1969, mas o progresso estagnou por duas décadas por falta de métodos de observação precisos. O interesse ressurgiu nos anos 1990, com Jayesh Doshi e Darrell Reneker, marcando o renascimento do *electrospinning* na era moderna, impulsionado por avanços na microscopia eletrônica de varredura. (KEIROUZ *et al.*, 2023).

O processo de eletrofiação é, fundamentalmente, um fenômeno hidrodinâmico carregado que ocorre sob a influência de um campo elétrico, resultando na formação de materiais nanofibrados variando de submicrométricos a nanométricos por meio de forças eletrostáticas (HUANG *et al.*, 2022).

Recentemente, esta técnica tem ganhado considerável destaque nos laboratórios, emergindo como uma forma altamente eficaz de produzir fibras contínuas em escala nanométrica. Além disso, a indústria já estabelecida tem aplicado o *electrospinning* para fabricar produtos, como filtros, altamente eficientes, demonstrando a relevância e aplicabilidade desse processo em diversos domínios (TUCKER *et al.*, 2012).

Os elementos essenciais no processo de eletrofiação envolvem uma fonte de alta tensão, um bico e um coletor condutivo (XUE *et al.*, 2019). No funcionamento desse processo, um jato é gerado e passa por uma fase de 'instabilidade de chicoteamento' após a formação de uma geometria cônica. Esses jatos são estirados a alta velocidade devido ao campo elétrico, solidificando-se e formando nanofibras no coletor (ZHAO *et al.*, 2021).

Atualmente, o processo de eletrofiação tem sido amplamente estudado, especialmente devido ao seu potencial em áreas, como por exemplo, a farmacêutica e a biomédica (OMER *et al.*, 2021). A versatilidade e promessa da eletrofiação têm levado a uma investigação substancial, resultando em uma ampliação na exploração de várias técnicas documentadas na literatura. Este crescimento na pesquisa destaca a importância da eletrofiação como um componente fundamental no avanço da nanotecnologia (YALCINKAYA, 2019).

1.1 JUSTIFICATIVA

A técnica de *electrospinning* tem se consolidado como uma tecnologia promissora em diversas áreas, incluindo engenharia, medicina e biotecnologia. Com o crescimento de sua aplicação, torna-se essencial realizar uma revisão abrangente dos equipamentos utilizados, a fim de proporcionar um entendimento mais claro dos componentes essenciais ao processo, como fontes de alta tensão, *spinnerets* e coletores. Este estudo se distingue por seu enfoque detalhado nos equipamentos e parâmetros operacionais mais comuns, com a intenção de contribuir para um conhecimento mais aprofundado da técnica no Brasil. A metodologia de revisão sistemática foi adotada para garantir uma análise robusta e rigorosa das publicações brasileiras de 2019 a 2024, oferecendo uma base sólida para futuras investigações e melhorias no uso da eletrofiação em diferentes campos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é realizar uma revisão sistemática e abrangente dos equipamentos de *electrospinning* descritos na literatura científica, identificando os diferentes tipos de equipamentos utilizados para *electrospinning*, incluindo suas características específicas e parâmetros de operação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e categorizar os equipamentos de *electrospinning* usados em publicações brasileiras de 2019 a 2024;
- Analisar os principais parâmetros operacionais, como voltagem e taxa de fluxo, descritos nas publicações;
- Quantificar as publicações sobre equipamentos de *electrospinning* no Brasil, mostrando a frequência e áreas mais abordadas;
- Coletar dados adicionais para fornecer uma visão clara do estado atual dos equipamentos de *electrospinning* no Brasil.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos essenciais e informações fundamentais relacionados ao processo de eletrofiação, seus equipamentos, classificações e parâmetros de funcionamento. Também será tratada um pouco da história da eletrofiação, explorada de forma sucinta, destacando a evolução dessa técnica ao longo dos anos no meio científico. Os principais componentes dos equipamentos de eletrofiação e suas funções, bem como as diferentes classificações desses dispositivos. Além disso, serão apresentados os parâmetros de funcionamento que desempenham um papel crucial na obtenção de nanofibras com propriedades desejadas.

2.1 INTRODUÇÃO AO ELECTROSPINNING

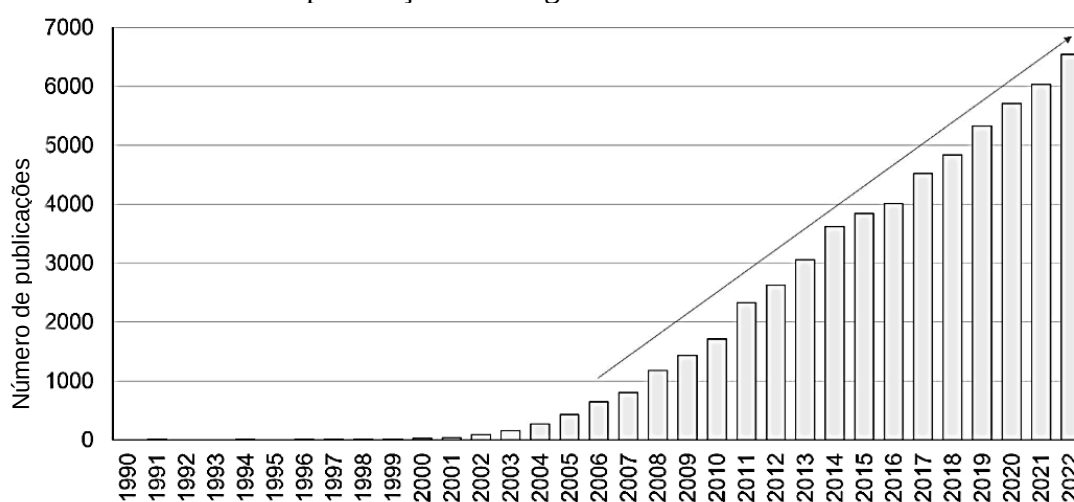
A técnica de eletrofiação, para produção de nanofibras, tem uma história notável que abrange quase quatro séculos, marcada por descobertas e conquistas significativas. É amplamente reconhecida como o método predominante para a fabricação desses materiais, proporcionando resultados com altos padrões de segurança, qualidade e eficiência (FERREIRA NASCIMENTO *et al.*, 2015).

As nanofibras se trata de uma categoria especial de materiais em que, pelo menos em uma de suas dimensões (comprimento, largura ou altura), a medida é igual ou inferior a aproximadamente 100 nanômetros. Essas dimensões extraordinariamente pequenas conferem propriedades únicas e frequentemente aprimoradas ao material, diferenciando-o de materiais em escalas maiores. Esses materiais têm aplicações diversas, abrangendo setores como biomedicina (criação de estruturas para engenharia de tecidos), meio ambiente (filtros de ar e membranas para purificação de água), sensoriamento químico ou biossensoriamento (dispositivos sensíveis para detecção de substâncias químicas) e conversão e armazenamento de energia (baterias e dispositivos de armazenamento de energia) (MERCANTE *et al.*, 2021).

A eletrofiação desempenhou um papel fundamental ao introduzir nanofibras poliméricas no vasto cenário da nanotecnologia e ciência dos materiais nas décadas de 1990 e 2000. Essa inovação promoveu uma metamorfose notável na fabricação de fibras, deslocando-se de um processo em larga escala, que exigia substanciais investimentos, para um método amplamente aplicável e economicamente acessível, viabilizando a produção de fibras em bancadas laboratoriais. Além disso, sua influência se estende por diversas áreas, desde ciência e tecnologia de materiais até as ciências da vida e a medicina clínica (RENEKER; YARIN, 2008).

De acordo com Keirouz et al. (2023), o processo de eletrofiação tem atraído grande atenção na área da pesquisa científica desde o início do século XX, com um aumento exponencial no número de trabalhos publicados, conforme Figura 1. Esses estudos se concentraram nos parâmetros de operação da eletrofiação e na compreensão de como diferentes polímeros podem ser transformados em fibras

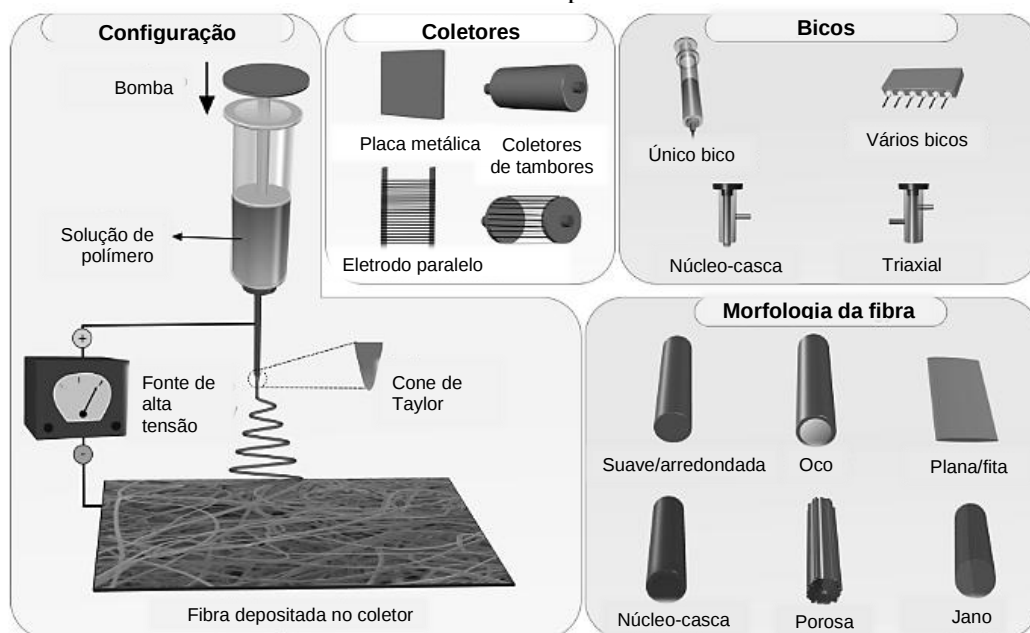
Figura 1 – Progresso na pesquisa em eletrofiação com base na produção de publicações ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de Keirouz et al., 2023

O princípio fundamental da eletrofiação reside na pulverização de uma solução, suspensão ou uma fusão em um intenso campo elétrico para criar fibras contínuas. O dispositivo básico de eletrofiação é composto por três componentes essenciais: uma fonte de alta tensão, um bico de eletrofiação e um coletor (GUO *et al.*, 2022). A Figura 2 esquematiza o dispositivo central da eletrofiação, bem como diferentes configurações de coletores, tipos de bicos e a morfologia das fibras resultantes.

Figura 2 – Ilustração esquemática do processo de eletrofiação com seus componentes e estrutura de fibras típicas



Fonte: Adaptado de Topuz; Uyar, 2020

A eletrofiação é influenciada pela complexa interação entre superfícies, formas, comportamento dos materiais e carga elétrica (RENEKER; YARIN, 2008). As fibras resultantes desse processo exibem diâmetros reduzidos, variando de nanômetros a micrômetros, e apresentam uma área de superfície ampliada em comparação com as fibras produzidas por métodos convencionais de fiação (BHARDWAJ; KUNDU, 2010). A morfologia das fibras é predominantemente determinada pela fase de instabilidade de curvatura na qual as fibras são depositadas (XUE *et al.*, 2019).

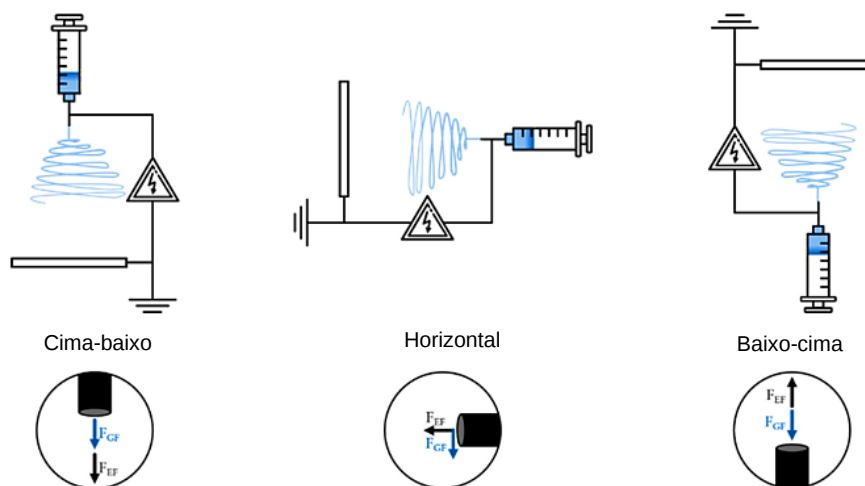
2.2 EQUIPAMENTOS DE ELECTROSPINNING

Como mencionado anteriormente, o processo de *electrospinning* é intrinsecamente dependente de equipamentos específicos que desempenham um papel fundamental em sua execução. Nesta seção, será realizada uma análise aprofundada, explorando as configurações nas quais os componentes-chave são geralmente dispostos e identificando os elementos necessários para assegurar que o processo ocorra de maneira eficaz e precisa.

Inicialmente, existem três orientações comuns para sistemas de eletrofiação: horizontal, de cima para baixo e de baixo para cima (Figura 3). Na qual, no sistema horizontal, a agulha e o coletor são dispostos de tal forma que o processo de eletrofiação ocorre paralelo ao solo, com a gravidade atuando perpendicularmente às forças elétricas. No sistema de cima para baixo, a formação das fibras segue a direção da gravidade. Já no sistema de baixo para cima, a formação

das fibras ocorre em direção contrária à da gravidade (SURESH; BECKER; GLASMACHER, 2020).

Figura 3 – Ilustração esquemática de diferentes orientações para o sistema de eletrofiação



Fonte: Adaptado de Suresh; Becker; Glasmacher, 2020

2.2.1 Fonte de Alta Tensão

Quando se trata de componentes, a fonte de alta tensão desempenha um papel vital no processo de eletrofiação, desempenhando um papel crítico na criação do campo elétrico necessário para a produção de nanofibras. Operando normalmente na faixa de 1 a 60 kV, essa fonte de alimentação fornece a voltagem essencial para induzir o processo de eletrofiação (ZHANG *et al.*, 2019). Além disso, é relevante observar que a fonte de alimentação é geralmente configurada para fornecer uma corrente contínua (CC) durante o funcionamento do processo (BHARDWAJ; KUNDU, 2010).

2.2.2 Spinneret

O *spinneret*, que também pode ser conhecido por bico de eletrofiação, é um componente crucial no processo de *electrospinning* (em muitos casos, se faz uso de uma seringa), sua função é extrudar a solução polimérica ou o material fundido para a formação de nanofibras. Ele desempenha um papel central na diferenciação entre métodos de eletrofiação com e sem agulhas, onde que em métodos com bico, o *spinneret* pode ser monopolar ou ter múltiplas agulhas concêntricas, enquanto em métodos sem agulhas, a sua configuração pode variar,

incluindo estruturas como fios, cilindros, esferas, entre outras possibilidades (KEIROUZ *et al.*, 2023).

2.2.3 Coletor

O coletor, no contexto da eletrofiação, atua como um componente determinante no direcionamento do trajeto do jato de polímero. Sua polaridade, que pode ser oposta à do *spinneret*, ou a sua conexão com aterramento, desempenha um papel essencial. Este componente é responsável por orientar o depósito e descarga das fibras na superfície, sendo fundamental para a formação das membranas. Embora sua influência na taxa de produção de fibras seja limitada, a configuração específica do coletor exerce significativa influência na morfologia das fibras produzidas durante o processo de eletrofiação (KEIROUZ *et al.*, 2023).

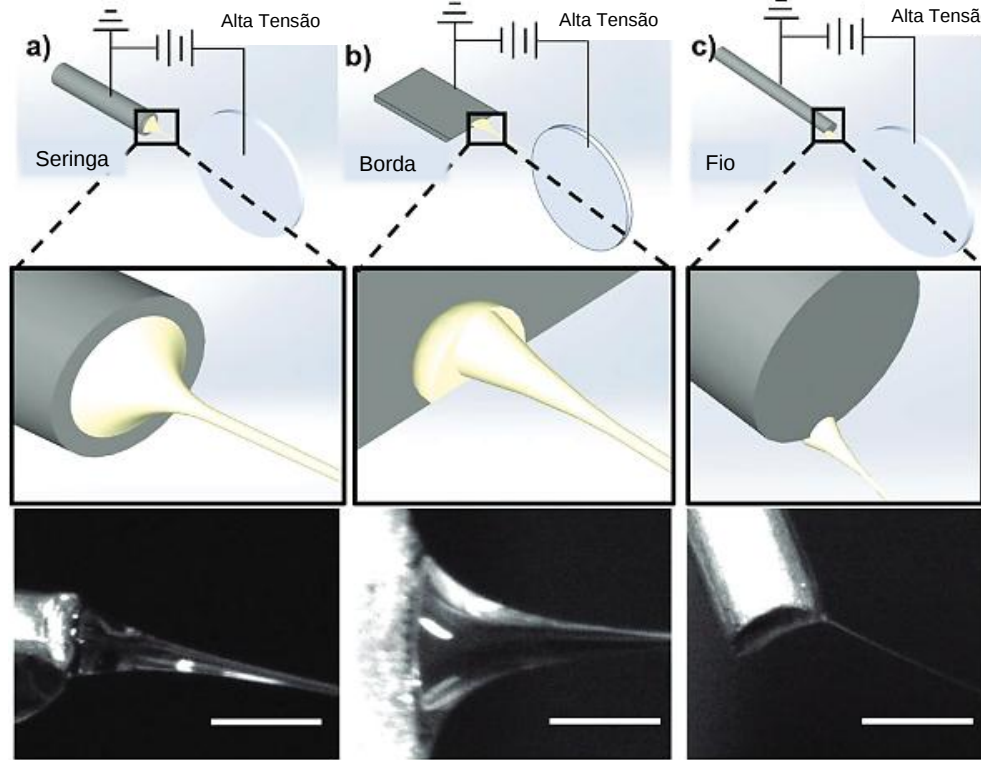
2.3 ETAPAS DO PROCESSO DE ELECTROSPINNING

De acordo com Xue et al. (2019), no que diz respeito a como funciona o processo, de fato, do *electrospinning*, se pode subdividir em quatro etapas consecutivas: (i) a formação do cone de Taylor ou jato em forma de cone; (ii) extensão do jato carregado ao longo de uma trajetória reta; (iii) afinamento do jato na presença de um campo elétrico e desenvolvimento de instabilidade elétrica de flexão; (iv) endurecimento e coleta do jato na forma de fibra(s) sólida(s) em um coletor.

2.3.1 Formação do Cone de Taylor

Na primeira etapa do processo de eletrofiação, quando há diferença de potencial entre o *spinneret* e o coletor, ocorre a separação de cargas no líquido, com as da mesma polaridade do *spinneret* migrando para a superfície da gota, gerando excesso de cargas. Com o aumento da voltagem, mais cargas se acumulam na superfície da gota. Embora a tensão superficial favoreça uma forma esférica para minimizar a energia superficial, a repulsão eletrostática a deforma, resultando no Cone de Taylor, representado na Figura 4 (XUE *et al.*, 2019).

Figura 4 – Imagens esquemáticas e reais da formação do Cone de Taylor para diferentes métodos de eletrofiação por fusão: a) seringa, b) borda e c) fio.



Fonte: Adaptado de Morikawa et al., 2019

Xue et al. (2019) também menciona que quando o campo elétrico atinge uma intensidade adequada a uma voltagem crítica, a repulsão eletrostática será suficientemente forte para superar a tensão superficial. Como resultado, a gotícula se deformará em uma forma cônica. Nesse caso, a voltagem crítica pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$V_c^2 = \frac{4H^2}{h^2} \left[\ln\left(\frac{2h}{R}\right) - 1,5 \right] (1,3\pi R\gamma)(0,09) \quad (1)$$

Sendo V_c a voltagem crítica, H é a distância entre a ponta do *spinneret* e o coletor, h é o comprimento do *spinneret*, R é o raio externo do *spinneret* e γ é a tensão superficial do fluido. As unidades de H , h e R são todas em centímetros, enquanto a unidade de γ é din/cm e a unidade da voltagem é kV.

2.3.2 Estiramento do Jato Carregado

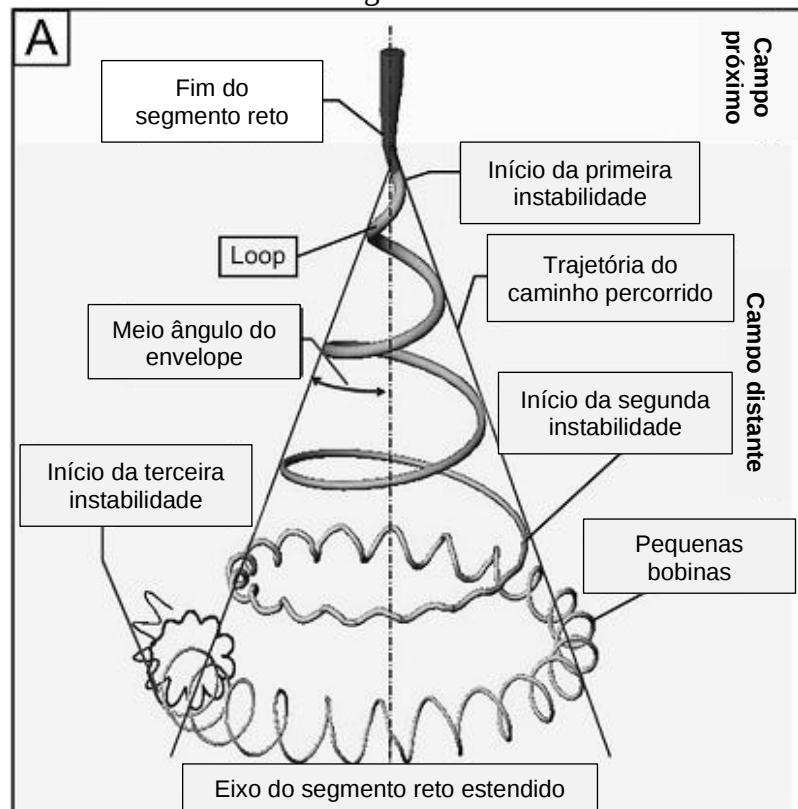
Na segunda etapa, Xue et al. (2019) menciona que após a formação do Cone de Taylor, ocorre a ejeção de um jato eletricamente carregado que é acelerado pelo campo elétrico.

Inicialmente, o jato cônico percorre uma trajetória quase linear por uma distância específica a partir da extremidade do *spinneret* (Figura 5). Durante esse percurso, as cargas superficiais acompanham o jato, gerando uma corrente ao longo dele. É possível medir facilmente a velocidade, comprimento e diâmetro da parte reta do jato. Além disso, o comprimento crítico do segmento reto é estimado pela seguinte equação:

$$L = \frac{4kQ^3}{\pi\rho^2 I^2} \left(\frac{1}{R_0^2} - \frac{1}{r_0^2} \right) \quad (2)$$

Sendo L o comprimento crítico do segmento, k é a condutividade elétrica do fluido, Q é a taxa de fluxo, ρ é a densidade do fluido, I é a corrente elétrica que passa pelo jato, R_0^2 é o raio crítico do jato e r_0^2 é o raio inicial do jato.

Figura 5 – Diagrama mostrando o caminho percorrido por um jato eletricamente carregado



Fonte: Adaptado Xue et al., 2019

2.3.3 Afinamento do Jato Carregado

Já na terceira etapa, após a saída do jato carregado, ele acelera inicialmente, mas devido à tensão superficial e forças viscoelásticas, sua aceleração diminui, causando a redução contínua do diâmetro do jato. Quando a aceleração atinge um valor constante, perturbações devido à repulsão eletrostática entre as cargas na superfície levam a instabilidades, incluindo duas simétricas e uma não simétrica. A terceira instabilidade provoca uma rápida dobra e alongamento do jato, reduzindo significativamente seu diâmetro (Figura 5) e resultando na formação de nanofibras de diâmetros ultrafinos (XUE *et al.*, 2019).

No contexto visto acima, onde se tem um jato líquido carregado com instabilidades de curvatura em um campo elétrico, é possível calcular o diâmetro do jato final por meio da seguinte fórmula:

$$d_f = \left[\gamma \varepsilon \frac{2Q^2}{\pi I^2 (2\ln\chi - 3)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

Onde d_f é o diâmetro final do jato, γ é a tensão superficial do fluido, ε é a constante dielétrica do meio circundante ao jato, Q é a taxa de fluxo do líquido, I é a corrente elétrica através do jato e χ corresponde ao comprimento de onda adimensional da instabilidade de curvatura.

2.3.4 Solidificação do Jato e Deposição de Fibras

Na etapa final, ao longo do processo de alongamento, o jato eletricamente carregado se solidifica para dar origem às fibras, um processo que pode ser desencadeado pela evaporação do solvente ou pelo resfriamento da fusão. Quando essa solidificação ocorre de maneira gradual, o alongamento do jato carregado é prolongado, resultando em fibras de diâmetro mais reduzido. Após a conclusão da solidificação, com as fibras depositadas em um coletor, se forma então as mantas como produto final (XUE *et al.*, 2019).

2.4 CONFIGURAÇÕES DE EQUIPAMENTOS DE ELECTROSPINNING

As diferentes configurações dos equipamentos da eletrofiação pode ser esquematizada em um fluxograma, destacando a subdivisão entre ajustes de design baseados no cenário

específico a ser investigado e variações no tipo de coletor (Figura 6). No primeiro ramo do fluxograma, emergem técnicas notáveis como eletrofiação de emulsão, eletrofiação coaxial, eletrofiação por rolo, eletrofiação de fusão, entre outras. No segundo ramo, são apresentadas abordagens como eletrofiação com coletor cilíndrico rotativo, eletrofiação com coletor mandril giratório e pino, eletrofiação com eletrodos e coletor tubular giratório, dentre outros mais (NADAF *et al.*, 2022).

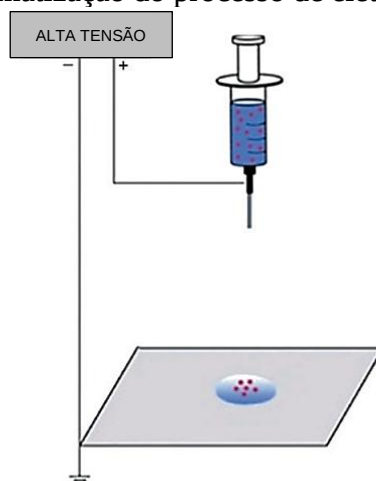
2.4.1 Configurações no Contexto do Estudo de Engenharia

A eletrofiação adapta-se a diferentes cenários por meio de ajustes de design específicos. Essas modificações consideram as necessidades particulares do contexto em estudo, refletindo em variações significativas nas configurações dos equipamentos.

2.4.1.1 Eletrofiação de Emulsão

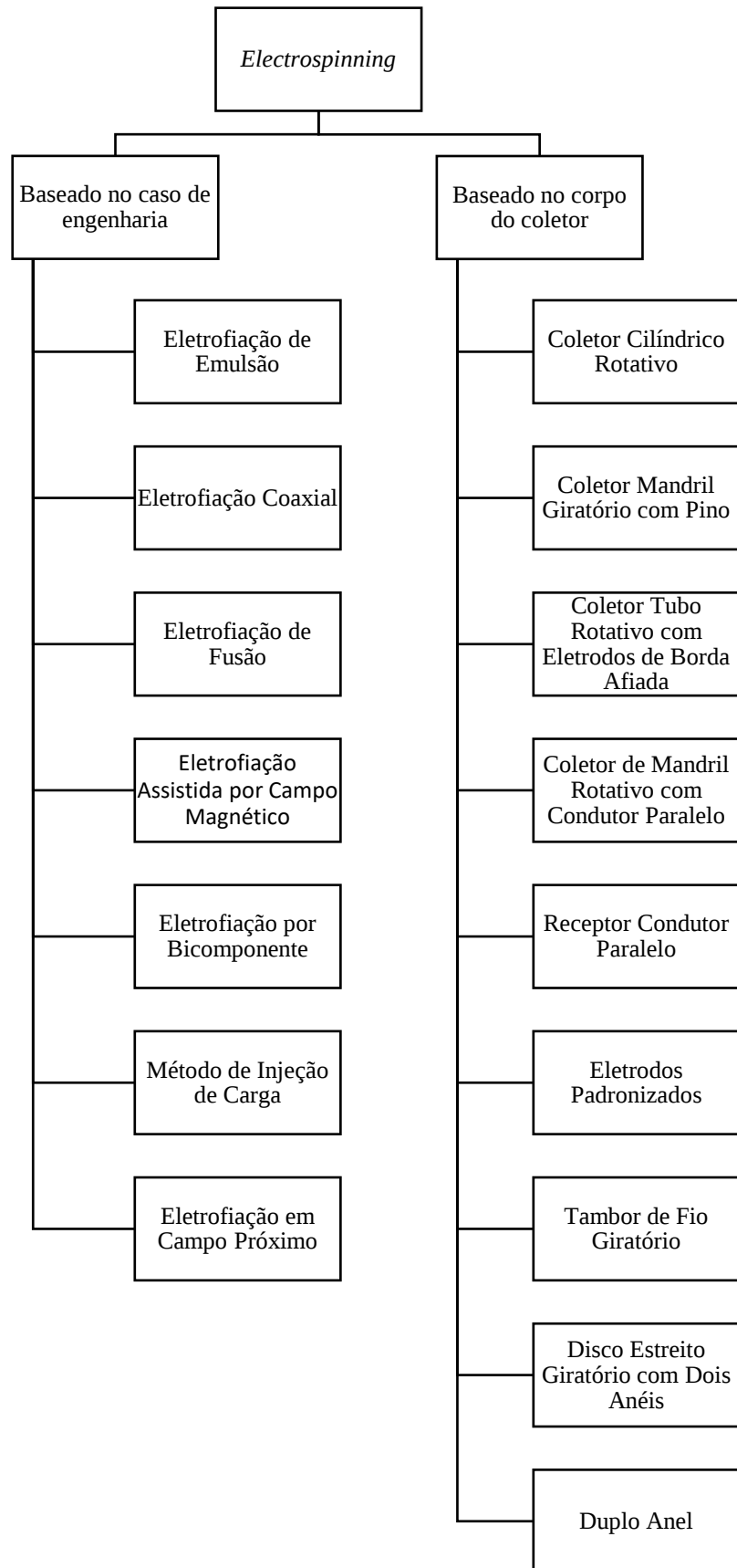
Na eletrofiação por emulsão, a diferença crucial na configuração está na etapa de emulsificação prévia das soluções imiscíveis. Antes da rotação simultânea, as soluções são emulsificadas, resultando em uma fase aquosa com agentes ativos que migrará para o centro do jato durante a eletrofiação. Essa abordagem elimina o uso de solventes comuns, destacando-se da técnica de mistura padrão. A emulsificação cria uma fase aquosa contendo ingredientes ativos que migrará para o centro do jato durante a eletrofiação, proporcionando uma estrutura de núcleo-casca à fibra final (Figura 7). Essa diferença fundamental na preparação das soluções influencia o resultado final do processo (NIKMARAM *et al.*, 2017).

Figura 7 – Esquematização do processo de eletrofiação de emulsão



Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

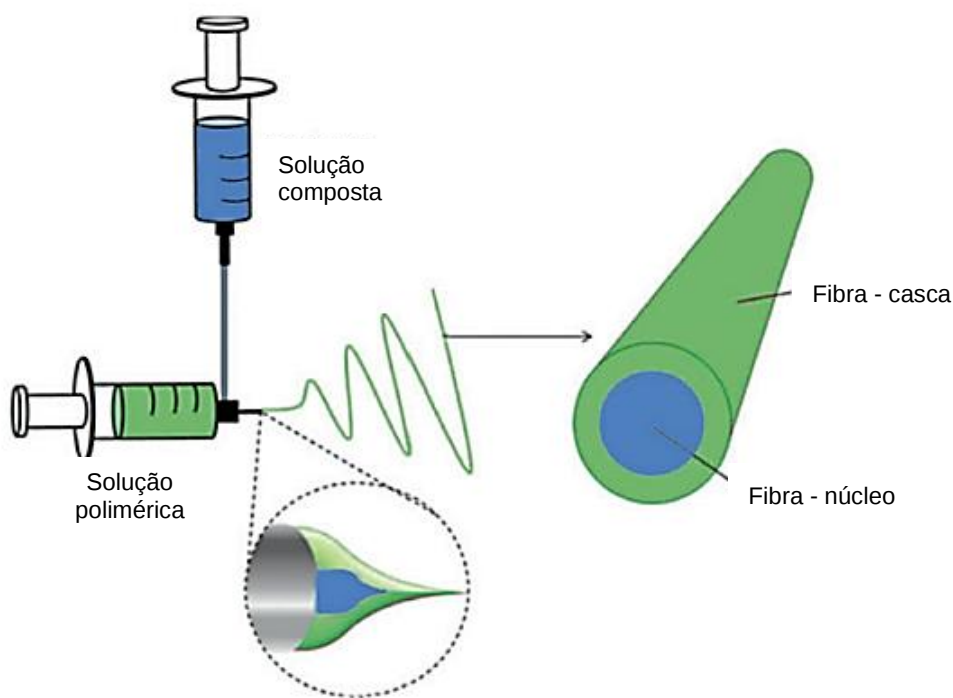
Figura 6 – Fluxograma das diferentes configurações dos equipamentos da eletrofiação



2.4.1.2 Eletrofiação Coaxial

A principal diferença dessa técnica em comparação a outras reside na abordagem coaxial da eletrofiação. Utilizando uma agulha com calibres diferentes para o material do núcleo e da casca, a técnica cria fibras coaxiais, onde diferentes polímeros ou materiais são depositados em camadas concêntricas (Figura 8). Isso proporciona maior controle sobre as propriedades das fibras resultantes, como a combinação de características semicondutoras e mecânicas em um único filamento. Em comparação com métodos convencionais, essa abordagem coaxial oferece versatilidade na formulação das soluções poliméricas, permitindo a obtenção de estruturas mais complexas e adaptadas a diversas aplicações (SERRANO-GARCIA; RAMAKRISHNA; THOMAS, 2022).

Figura 8 – Esquemática do processo de eletrofiação coaxial

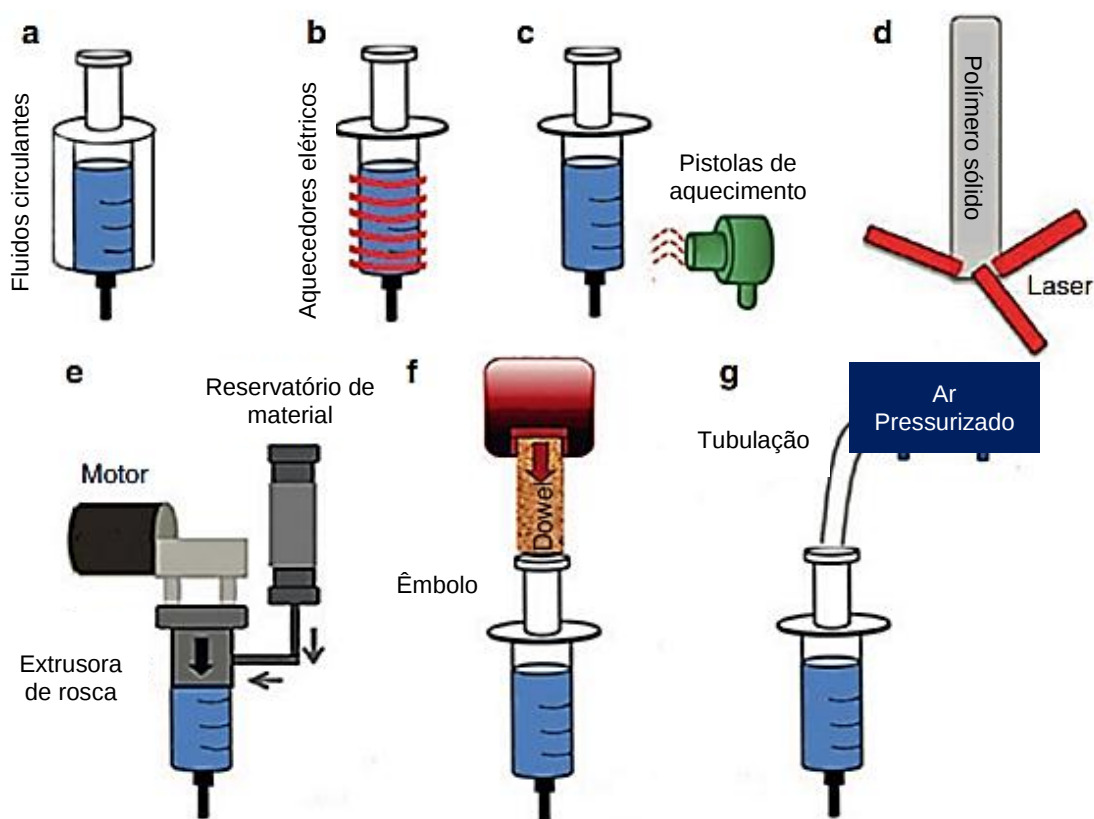


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.1.3 Eletrofiação de Fusão

A montagem envolve o processo convencional de eletrofiação, mas utiliza um polímero fundido (Figura 9). Diversas técnicas, como aquecimento elétrico, dispositivos de fusão a laser, pistolas de calor e fornos, são empregadas para fundir o polímero (NADAF *et al.*, 2022). É crucial um controle preciso da temperatura para assegurar que o polímero solidifique em fibras desejadas com propriedades específicas, destacando a fase crítica na qual a temperatura deve ser mantida abaixo do ponto de fusão antes de o polímero entrar em contato com qualquer superfície, permitindo assim o fluxo de alongamento necessário (BACHS-HERRERA *et al.*, 2021).

Figura 9 – Diferentes construções de eletrofiação por fusão utilizando métodos de aquecimento diversos, como (a) fluidos circulantes, (b) aquecedores elétricos, (c) pistolas de aquecimento ou (d) laser, e por meio do uso de (e) extrusoras de rosca, (f) êmbolos ou (g) pressão de ar para fornecer o polímero fundido ao *spinneret*.

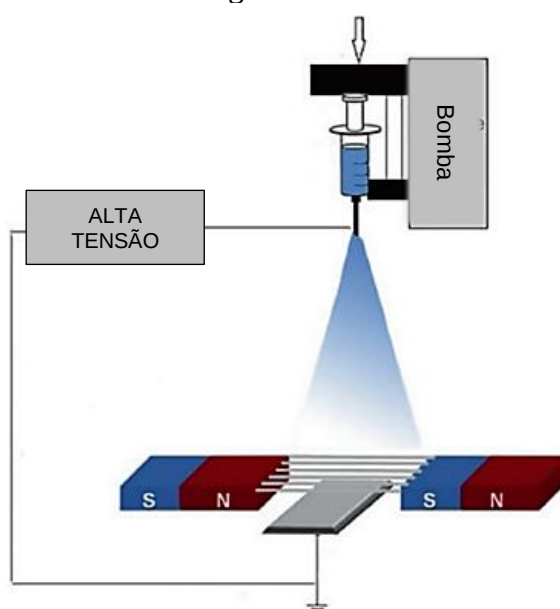


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.1.4 Eletrofiação Assistida por Campo Magnético

Essa técnica resulta em fibras com menor propensão à divisão em comparação com métodos sem campo magnético, proporcionando notável uniformidade, onde essa é a principal vantagem, consistência superior e na redução significativa da divisão em relação a abordagens convencionais, possibilitando a produção de fibras com diâmetros menores devido à alta velocidade (NADAF *et al.*, 2022). Neste método, dois ímãs de barra são introduzidos na região de coleta de uma configuração convencional. A distância entre os ímãs é mantida constante, e um campo magnético específico é aplicado no centro da lacuna entre eles (Figura 10) (MEI *et al.*, 2013).

Figura 10 – Esquematização do processo de eletrofiação assistida por campo magnético

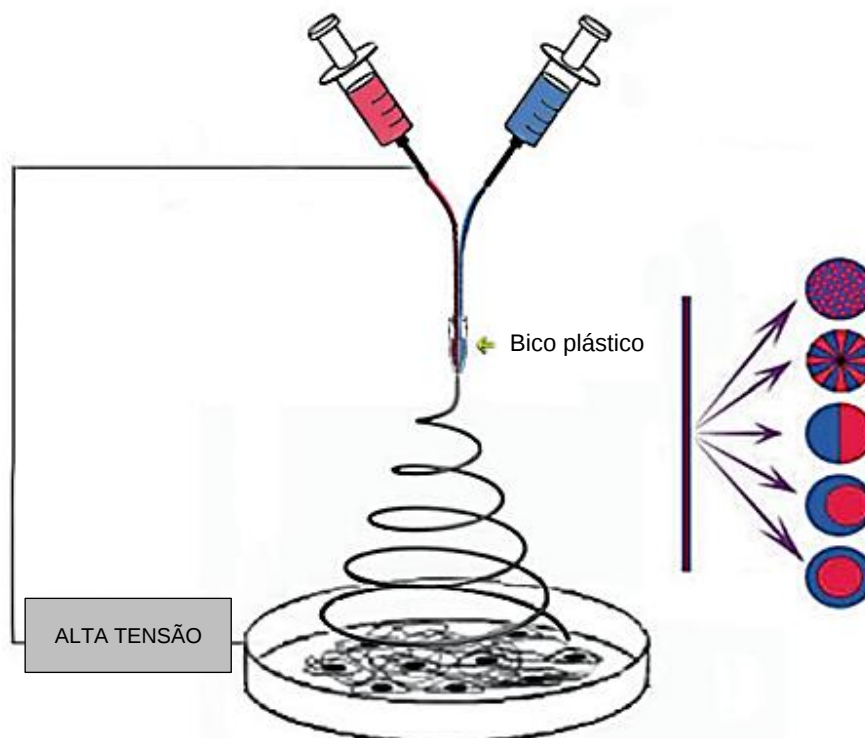


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.1.5 Eletrofiação por Bicomponente

Esta abordagem emprega um sistema de eletrofiação com um bico duplo projetado para alinhar duas agulhas em paralelo, viabilizando a extrusão simultânea de duas soluções poliméricas distintas (Figura 11). As soluções são então eletrofiadas simultaneamente sob alta voltagem, ajustando as taxas de alimentação de maneira variada para um controle mais preciso sobre as características do produto final (JIN *et al.*, 2014). As fibras por bicomponentes podem adotar diferentes formas, como estruturas segmentadas em formatos vazados, em fita ou simples, casca-núcleo, entre outras configurações (NADAF *et al.*, 2022).

Figura 11 – Esquematização do processo de eletrofiação por bicomponente

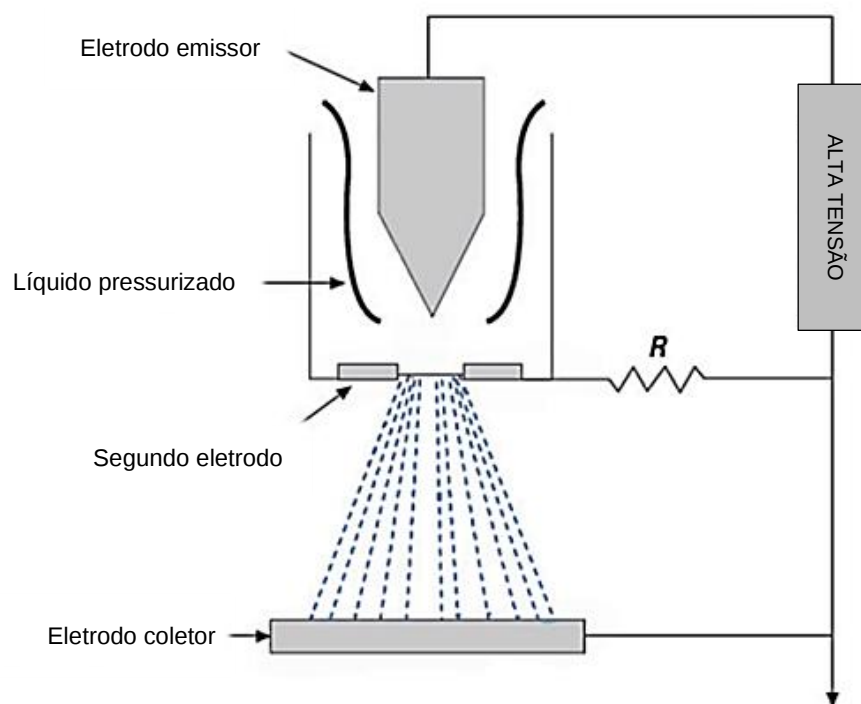


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.1.6 Eletrofiação por Método de Injeção de Carga

Duas abordagens semelhantes, onde Alghoraibi e Alomari (2018) e Nadaf et al. (2022), compartilham essa técnica, inicialmente desenvolvida para *eletrospray*, mas também aplicável à eletrofiação, cujo o método patenteado por Kelly envolve uma configuração de três eletrodos, incluindo um coletor, uma fonte de alta tensão e um fluido pressurizado não condutor (Figura 12). Dois eletrodos são imersos na solução, e a ponta do "eletrodo emissor" está posicionada sobre um orifício aterrado. A proximidade entre os eletrodos gera um campo elétrico intenso no fluido, que é pressionado através do orifício, resultando em filamentos altamente carregados. No entanto, essa técnica apresenta limitações, como a necessidade de fluidos com baixa condutividade e a falta de controle preciso sobre o tamanho das fibras.

Figura 12 – Esquematização do processo de eletrofiação por método de injeção de carga



Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

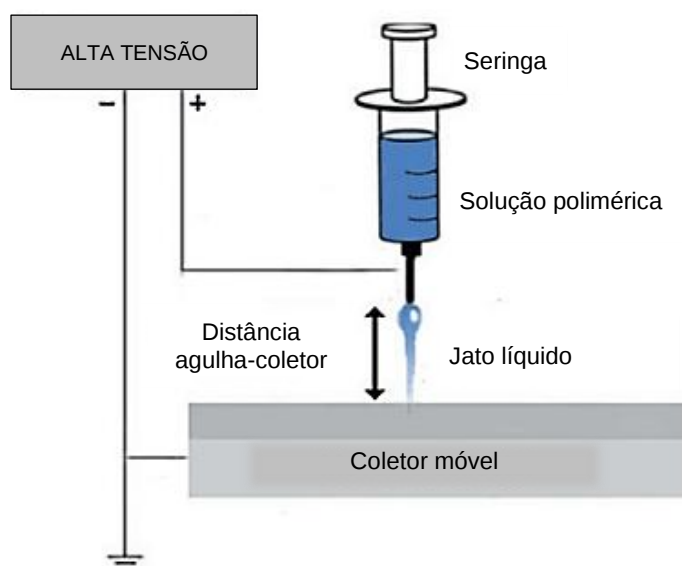
2.4.1.7 Eletrofiação em Campo Próximo

Este método mantém a configuração padrão, mas reduz a distância entre a agulha e o coletor (de 500 mm para 3 mm) para evitar instabilidades no jato (Figura 13). Essa proximidade torna-o adequado para *direct writing*, embora possa causar problemas como descarga elétrica devido à evaporação insuficiente do solvente. É crucial ajustar a solução polimérica com precisão. O processo começa com uma voltagem mais baixa (100–600 V), e voltagens mais altas resultam em fibras com diâmetros maiores. Dada a quantidade limitada de fibras coletadas, uma única gota de polímero é suficiente, eliminando a necessidade de um fluxo contínuo (NADAF et al., 2022).

A técnica de Eletrofiação em campo próximo representa uma estratégia simples, eficaz e economicamente viável para a deposição controlada de nanofibras, marcando um avanço significativo na preparação de nanofibras predefinidas. Contudo, sua aplicação encontra limitações relacionadas à formação de gotículas, tornando-a inadequada para processos contínuos em larga escala. Diversos fatores, como as condições ambientais, as propriedades das soluções poliméricas (tensão superficial, viscosidade e condutividade) e o diâmetro da ponta do

fuso, demandam uma investigação sistemática a fim de aprimorar a compreensão e controle desse método promissor (HE et al., 2017).

Figura 13 – Esquemática do processo de eletrofiação em campo próximo



Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

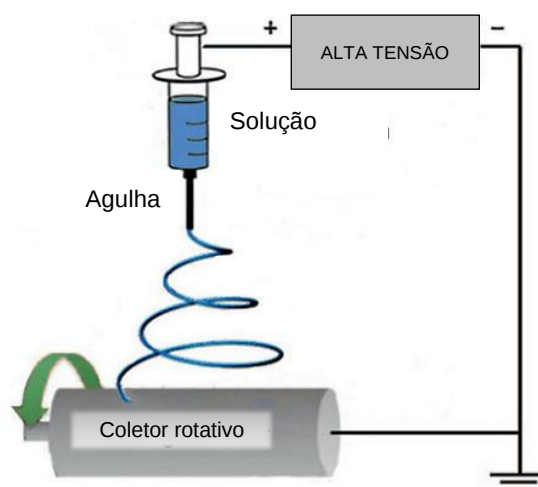
2.4.2 Configurações Adaptadas às Variações no Tipo de Coletor

A escolha do coletor desempenha um papel crucial na técnica de eletrofiação. Diversas abordagens, como coletores cilíndricos rotativos, mandris giratórios com pinos e outros, destacam-se por suas características distintas. A compreensão dessas variações no tipo de coletor é essencial para otimizar a eficiência do processo.

2.4.2.1 Coletor Cilíndrico Rotativo

Neste método, utiliza-se um eletrodo cilíndrico rotativo para coletar as fibras (Figura 14). O mandril rotativo é empregado para obter fibras totalmente alinhadas em vez de uma malha aleatória. A alta velocidade de rotação do mandril permite que as fibras se enrolem firmemente ao seu redor. Isso resulta em um alinhamento adequado das fibras, proporcionando uma coleta mais controlada e organizada em comparação com métodos que não envolvem a rotação do eletrodo cilíndrico (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 14 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tambor rotativo

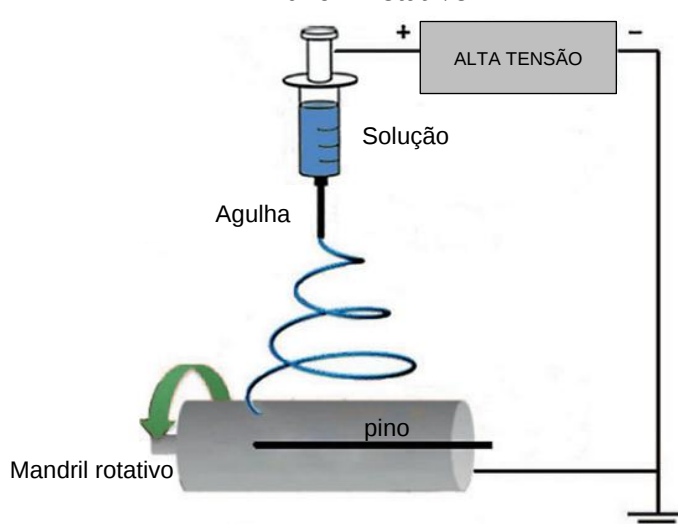


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.2 Coletor de Pino com Mandril Rotativo

Neste método, um pino afiado carregado negativamente é inserido em um mandril rotativo (Figura 15), o que melhora o alinhamento das fibras produzidas. Isso é alcançado ao criar um campo elétrico que se estende da ponta da agulha e converge para o pino localizado no mandril rotativo. Essa configuração promove a formação de fibras alinhadas durante o processo de eletrofiação (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 15 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de pino com mandril rotativo

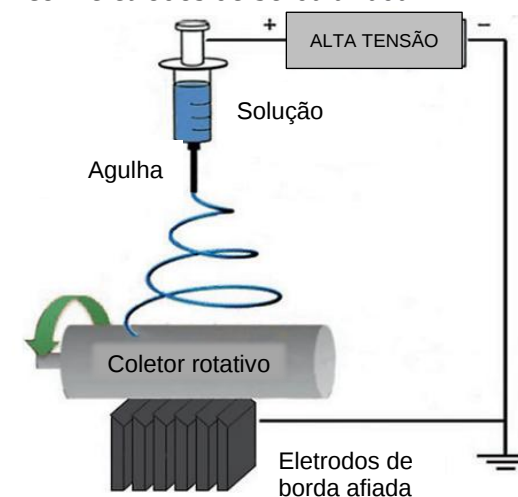


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.3 Coletor de tubo rotativo com eletrodos de borda afiada

Para superar o isolamento das fibras depositadas e possibilitar a deposição de camadas mais espessas de nanofibras ordenadas, foi desenvolvido o coletor de tubo rotativo com eletrodos de borda afiada (Figura 16). Ao aplicar eletrodos auxiliares de borda afiada carregados negativamente abaixo de um mandril rotativo isolante. Esse método permite inclinar a agulha e os eletrodos, possibilitando a deposição de fibras com orientações distintas e a fabricação de estruturas multicamadas com propriedades mecânicas personalizadas (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 16 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tubo rotativo com eletrodos de borda afiada

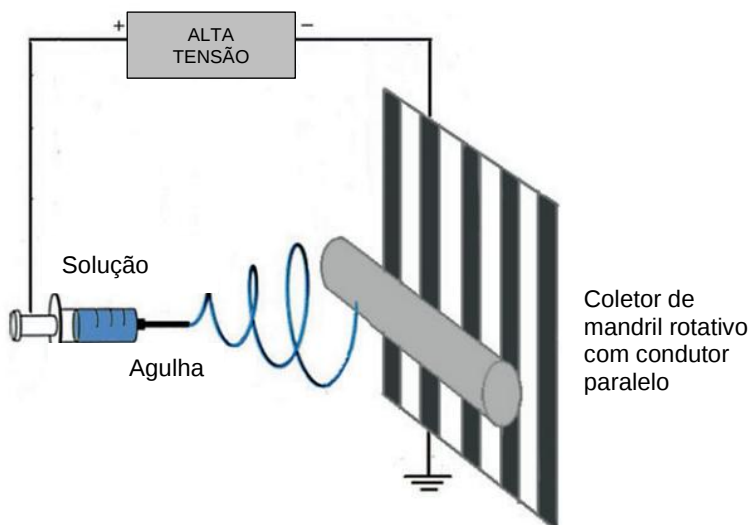


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.4 Coletor de Mandril Rotativo com Condutor Paralelo

No método de coletor de mandril rotativo com condutor paralelo, um mandril não condutor é posicionado entre a ponta da agulha e eletrodos auxiliares para ajustar o campo elétrico (Figura 17). A agulha é carregada positivamente, e os eletrodos auxiliares são carregados negativamente, orientando o campo elétrico da agulha para os eletrodos. As tiras condutoras paralelas concentram o campo elétrico ao longo de sua orientação, acelerando as fibras em direção aos eletrodos. Essa configuração permite produzir fibras alinhadas com uma rotação mais baixa (menos de 1000 rpm) em comparação ao uso apenas do mandril, otimizando a fabricação de fibras alinhadas no processo de eletrofiação (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 17 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de mandril rotativo com condutor paralelo

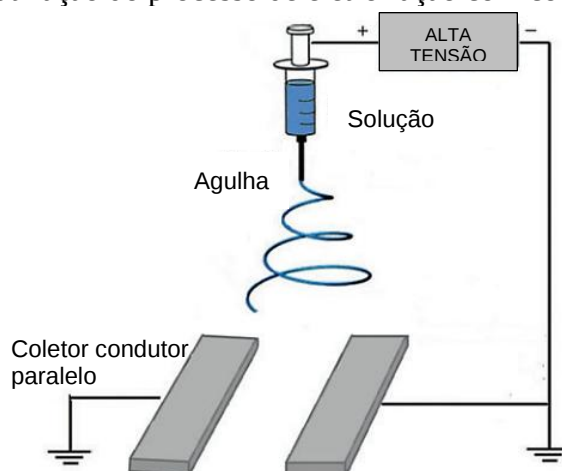


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.5 Coletor Condutor Paralelo

De acordo com Alghoraibi e Alomari (2018), um coletor condutor paralelo refere-se a um método na técnica de eletrofiação em que dois eletrodos condutores são posicionados paralelamente entre si para coletar as fibras eletrofiadas (Figura 18). Essa configuração cria um campo elétrico que divide as linhas em duas frações, apontando para as bordas do espaço entre os eletrodos. Esse design favorece a produção de fibras alinhadas, pois o estiramento do jato através do espaço entre os coletores paralelos atrai as linhas do campo elétrico, influenciando o processo de eletrofiação. A presença de cargas nas fibras depositadas contribui para o alinhamento e distribuição, devido à repulsão mútua entre as fibras.

Figura 18 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor condutor paralelo

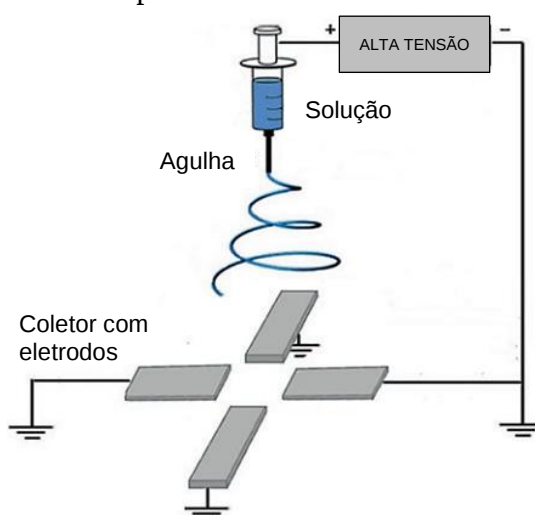


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.6 Coletor com Eletrodos Padronizados

Os eletrodos padronizados são uma variação da geometria de eletrodos paralelos, compartilhando os mesmos princípios físicos de deposição. No entanto, nesta configuração, mais eletrodos são empregados para criar mantas multicamadas com uma estrutura hierárquica controlada (Figura 19). Em comparação com os eletrodos paralelos convencionais, a utilização de múltiplos eletrodos padronizados possibilita a formação de mantas mais complexas, com cada eletrodo contribuindo para uma camada específica. Essa abordagem permite uma manipulação refinada da estrutura tridimensional do material eletrofiado, oferecendo versatilidade no design e controle preciso sobre as propriedades do produto final (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 19 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor com eletrodos padronizados

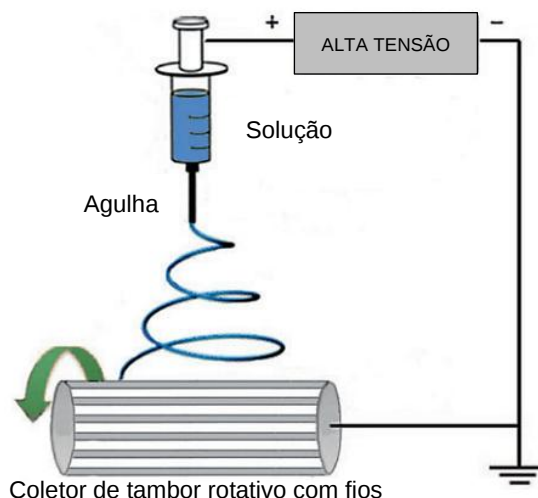


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.7 Coletor Tambor Rotativo com Fios

De acordo com Alghoraibi e Alomari (2018), este método se trata de uma combinação de duas geometrias já mencionadas para alinhar as fibras eletrofiadas (o tambor rotativo e os coletores de eletrodos paralelos). O coletor neste arranjo é composto por vários fios aterrados equidistantes, formando um cilindro (Figura 20). Nesta configuração, o campo elétrico é semelhante ao dos eletrodos paralelos devido à rotação do cilindro, resultando na deposição de fibras altamente alinhadas. A rotação contínua do coletor supera a limitação de deposição em curtos comprimentos de alguns centímetros.

Figura 20 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor de tambor rotativo

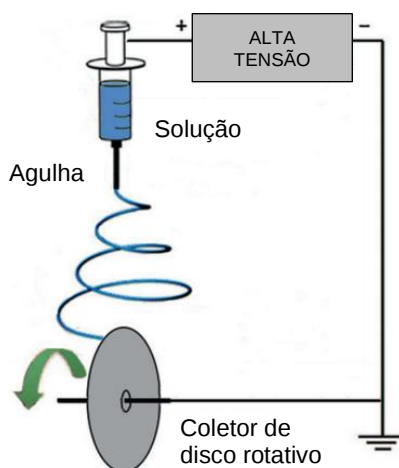


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.8 Coletor com Disco Fino Rotativo

Este método emprega um disco como coletor, direcionando as linhas do campo eletrostático para sua aresta, conforme mostrado na Figura 21. A rotação do disco facilita um alinhamento eficiente das nanofibras, seguindo as linhas do campo concentradas na borda. Durante a rotação, as fibras são continuamente enroladas ao longo da aresta, e a carga elétrica nas fibras antes de atingir o coletor resulta em repulsão, aumentando a distância entre fibras alinhadas. Apesar de sua eficácia na produção de fibras altamente alinhadas, o uso do disco fino rotativo enfrenta desafios, como a limitação da área de deposição e a perda de alinhamento à medida que a malha cresce tridimensionalmente. (ALGHORAIBI; ALOMARI, 2018).

Figura 21 – Esquematização do processo de eletrofiação com coletor com disco fino rotativo

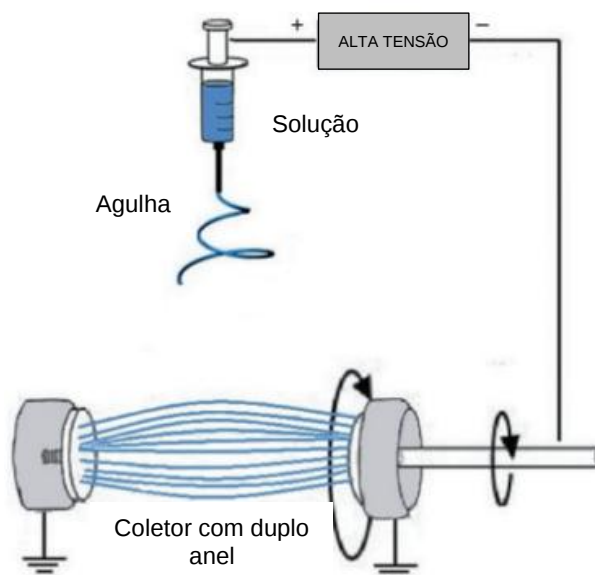


Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.4.2.9 Coletor com Duplo Anel

Conforme Alghoraibi e Alomari (2018), nesse método é utilizado dois eletrodos em formato de anéis como coletor (Figura 22). Este método é especialmente projetado para produzir fios nanofibrilares. Após a fase de eletrofiação, um dos anéis é girado pelo número desejado de torções. Essa geometria específica permite a criação de fibras altamente alinhadas. No entanto, a caracterização e o pós-processamento dessas fibras apresentam desafios, uma vez que há a possibilidade de perturbar o alinhamento das fibras durante essas etapas.

Figura 22 – Esquemática do processo de eletrofiação com coletor com duplo anel



Fonte: Adaptado de Alghoraibi; Alomari (2018)

2.5 PARÂMETROS QUE AFETAM O PROCESSO DE ELECTROSPINNING

Conforme Lubini (2016), a morfologia e o diâmetro das fibras produzidas por electrospinning são totalmente dependentes de vários parâmetros, como as propriedades intrínsecas da solução, como também as condições operacionais e até mesmo as condições ambientais. A otimização desses parâmetros é essencial para a obtenção controlada de nanofibras, permitindo ajustes precisos na morfologia e no diâmetro desejados. Essa abordagem destaca a complexidade e a sensibilidade inerentes ao processo de electrospinning.

2.5.1 Parâmetros da Solução

Dentre os parâmetros essenciais que influenciam diretamente o processo de *electrospinning*, destacam-se características intrínsecas da solução/solvente, tais como o peso molecular, sua concentração, viscosidade, tensão superficial, dentre outros mais detalhado na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 – Detalhamento sobre os parâmetros de solução/solvente

Parâmetros		Influências no processo de eletrofiação
Parâmetros da solução	Peso molecular	• O comprimento das cadeias poliméricas tem um efeito direto na facilitação ou obstrução da extensibilidade da cadeia; • É necessário ter entrelaçamentos topológicos suficientes, combinados com um sistema de solvente apropriado; • Em geral, polímeros de massa molecular mais alta estão associados a fibras mais uniformes, porém mais espessas. Enquanto uma massa molecular insuficiente pode tanto dificultar o processo de <i>electrospinning</i> quanto resultar em mantas de fibras não uniformes.
	Concentração	• Misturas compostas geralmente resultam em fibras maiores devido ao entrelaçamento mais denso do polímero; • Aumentar a concentração do polímero está associado a fibras uniformes e mais alongadas, com ausência ou menos morfologias secundárias (por exemplo, contas e teias de aranha) e um menor desvio padrão no diâmetro das fibras; • Baixas concentrações inibem a formação de fibras devido à tensão superficial inadequada, causando fragmentação do jato.
	Viscosidade	• A viscosidade aumenta à medida que as interações intermoleculares e/ou o peso molecular aumentam; • A viscosidade é dependente da taxa de cisalhamento e da temperatura; • Alcançar uma viscosidade apropriada durante o <i>electrospinning</i> pode prevenir a pulverização do polímero (baixa viscosidade) ou a formação de fibras de grande diâmetro (alta viscosidade).
	Tensão superficial	• A tensão superficial é responsável por desencadear os eventos eletro-hidrodinâmicos do processo de <i>electrospinning</i>. • Está associada à superfície líquida ocupando a área mínima necessária (a força requerida de uma massa específica ao longo de uma linha de comprimento unitário); • O campo elétrico necessário para iniciar o <i>electrospinning</i> correlaciona-se com a tensão superficial, que, por sua vez, dependerá da configuração do <i>spinneret</i>; • À medida que a tensão superficial aumenta, é necessário um campo elétrico mais forte para iniciar o <i>electrospinning</i>. Isso pode ser ajustado

	Condutividade/ Permissividade	durante o <i>electrospinning</i>, por exemplo, começando com uma voltagem mais alta e diminuindo-a após a formação de um jato estável; • Surfactantes podem melhorar a eletrofiabilidade ao aprimorar a dispersão do polímero e/ou aumentar a condutividade da solução (especialmente para <i>spinnerets</i> sem agulha); • Técnicas de <i>electrospinning</i> sem agulha requerem uma voltagem mais alta devido à maior tensão superficial que deve ser superada para iniciar a formação do jato. • Dois fenômenos eletrostáticos são desencadeados: a formação do cone de Taylor e a emissão do jato; repulsão eletrostática entre as cargas superficiais e uma força coulombiana aplicada pelo campo elétrico externo; • Uma condutividade adequada da solução aumenta o número de cargas que podem ser transportadas, reduzindo a voltagem mínima necessária para a erupção do jato; • Embora teoricamente o diâmetro da fibra diminua com o aumento da condutividade da solução, promovendo o estiramento do polímero, na prática, uma condutividade excessivamente alta resultará em jatos instáveis devido a descargas elétricas no ar; • A permissividade refere-se à proporção do deslocamento elétrico em relação à intensidade do campo elétrico. Reduzir a permissividade da solução pode aumentar a intensidade do campo elétrico; • Quando insuficiente, a introdução de pequenas quantidades de sal (por exemplo, NaCl, LiCl, brometo de tetraetilamônio [TEAB]) na solução polimérica pode aumentar significativamente a condutividade e a permissividade. Essa abordagem é comumente utilizada em <i>electrospinning</i> sem agulha para aumentar a produção de fibras, aumentando o número de cones de Taylor formados.
Parâmetros do solvente	Volatilidade/ pressão de vapor do solvente	• Durante o processo de <i>electrospinning</i>, a solidificação das fibras depende da taxa de evaporação do sistema solvente, sendo assim, a volatilidade do sistema solvente selecionado pode influenciar a morfologia das fibras; • Uma taxa adequada de evaporação permitirá a coleta de membranas secas, reduzindo o grau de aprisionamento do solvente; • Uma solução muito volátil pode induzir características/defeitos morfológicos (por exemplo, fibras porosas na presença de um polímero não solúvel em água) ou até mesmo dificultar o processo de <i>electrospinning</i>; • A pressão de vapor pode promover uma maior evaporação do solvente, gerando morfologias secundárias não cilíndricas, como teias de aranha; • Um termo comumente utilizado em <i>electrospinning</i>, taxa de evaporação, dependerá da combinação de vários parâmetros junto com a volatilidade do solvente, incluindo umidade

Constante dielétrica

relativa, distância de trabalho e configuração do *spinneret*.

- A constante dielétrica refere-se à capacidade do solvente de reter as repulsões eletrostáticas induzidas pela carga elétrica que afeta a distribuição da carga superficial;
- Uma constante dielétrica mais alta melhorará a distribuição da carga superficial e a estabilidade do jato. Por exemplo, a água apresenta uma constante dielétrica elevada que pode enfraquecer as repulsões eletrostáticas e, portanto, é comumente incorporada como parte de sistemas solventes.

Fonte: Adaptada de KEIROUZ et al. (2023)

2.5.2 Condições de Operação

Explorando os parâmetros operacionais, fica evidente que desempenham um papel vital no processo de eletrofiação, exercendo influência direta sobre as propriedades das fibras produzidas. Esses parâmetros, que englobam elementos como a tensão aplicada, a geometria do coletor, dentre outros, são indispensáveis para a manipulação precisa do processo. Uma análise mais detalhada dos parâmetros operacionais pode ser encontrada na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Detalhamento sobre as condições operacionais

Condições operacionais	Influências no processo de eletrofiação
Nota Geral	• Os requisitos das condições operacionais diferirão significativamente entre tecnologias de eletrofiação com agulha e sem agulha.
Tensão aplicada	• Como um processo eletro-hidrodinâmico, a eletrofiação depende da aplicação de alta voltagem a uma solução polimérica para iniciar o processo; • Uma voltagem mínima necessária, influenciada pela tensão superficial da solução polimérica e denominada voltagem crítica (V_c), deve ser ultrapassada para a geração do jato; • Aumentar a voltagem acima do limite necessário geralmente reduz o "tempo de voo" do jato, produzindo um caminho de jato instável com fibras de maior diâmetro ou morfologias secundárias de fibra; • Uma voltagem abaixo do limite necessário, na maioria das vezes, pulverizará a solução polimérica sobre o coletor ou ao longo do caminho do jato; • Tecnologias de eletrofiação sem agulha requerem uma V_c substancialmente mais alta devido à maior tensão superficial.
Vazão	• A vazão, que é a quantidade de solução exposta ao campo elétrico intenso em um determinado momento, é o principal contribuinte que afeta a tensão superficial e a V_c; • O efeito da vazão da solução será diretamente influenciado pela maioria dos parâmetros discutidos nesta tabela. Aumentar a taxa de vazão geralmente promoverá um estiramento insuficiente das fibras, o que pode resultar em fibras úmidas ou mais espessas com poros maiores;

	• A vazão desempenha um papel fundamental na eletrofiação baseada em agulhas multiaxiais. • Embora o termo "taxa de vazão" não seja normalmente usados na eletrofiação sem agulha, a maneira como a solução é introduzida no <i>spinneret</i> sem agulha (por exemplo, via cartilagem, um banho de solução, entre outros) pode afetar positiva ou negativamente a homogeneidade das membranas fibrosas produzidas.
Distância de trabalho	• A distância de trabalho refere-se à distância entre o <i>spinneret</i> e o coletor, que define o caminho do jato; • Aumentar a distância de trabalho pode proporcionar mais tempo para a evaporação de um solvente menos volátil e para a solidificação do polímero. A expansão do caminho do jato também está associada a fibras mais finas e vice-versa; • Exceder a distância crítica pode interromper a eletrofiação ou produzir fibras defeituosas devido a instabilidades de flexão prolongadas, afetando a ramificação das fibras.
Geometria do coletor	• A geometria do coletor pode afetar diretamente as propriedades micro e macromorfológicas das fibras depositadas; • Um coletor pode fornecer alinhamento (por exemplo, um mandril rotativo), orientação (por exemplo, um coletor cilíndrico ao redor de um <i>spinneret</i> rotativo), padrões fáceis (por exemplo, malha de favo de mel) e produção em massa (por exemplo, sistema de cilindro duplo para suporte têxtil).
Design do <i>spinneret</i>	• O tipo de <i>spinneret</i> é a diferença fundamental entre a eletrofiação com agulha e sem agulha; • A configuração do <i>spinneret</i> afetará a saída de cada tecnologia, a complexidade e arquitetura das fibras desenvolvidas (por exemplo, coaxial) e até mesmo as propriedades das construções desenvolvidas (por exemplo, macroestruturas 3D ou alinhamento devido a um <i>spinneret</i> rotativo).

Fonte: Adaptada de KEIROUZ et al. (2023)

2.5.3 Condições de Ambiente

As condições do ambiente desempenham um papel significativo no processo de eletrofiação, sendo a temperatura e umidade dois fatores influenciadores essenciais. Abaixo está uma análise mais aprofundada (Tabela 3), destacando suas implicações durante o processo.

Tabela 3 – Detalhamento sobre as condições do ambiente

Condições do ambiente	Influências no processo de eletrofiação
Temperatura	• A temperatura da câmara durante a eletrofiação afetará a viscosidade e a tensão superficial da solução, a taxa de evaporação do solvente e a taxa de solidificação do jato; • Dependendo das propriedades do polímero e do sistema de solventes, a temperatura de trabalho pode influenciar positiva ou negativamente o processo.
Umidade relativa	• Uma umidade relativa elevada pode induzir não uniformidade e, no caso de polímeros higroscópicos,

configurações únicas de fibras (como fibras porosas, marcadas por pequenas covinhas ou depressões) quando outros parâmetros da solução são adequadamente atendidos;

- A umidade elevada também pode dificultar a eletrofiação, afetando a distribuição total de carga e reduzindo a densidade de carga superficial;
- Devido à rápida evaporação do solvente, uma umidade muito baixa pode reduzir o caminho do jato em voo, produzindo fibras mais espessas.

Fonte: Adaptada de KEIROUZ et al. (2023)

2.6 REVISÃO SISTEMÁTICA

Nessa seção, é abordada diferentes tipos de revisão literária, com enfoque especial na revisão sistemática, visando fornecer compreensões importantes para a elaboração de textos científicos. Será explicada, de forma sucinta, as características de cada abordagem, destacando a relevância e as nuances de cada tipo de revisão na pesquisa acadêmica.

2.6.1 Tipos de Revisões Literárias

Diferentes abordagens na revisão bibliográfica surgem como valiosas alternativas para alcançar uma compreensão abrangente da produção científica em um campo, área ou tema específico. Destacam-se entre as mais frequentemente empregadas: revisão narrativa, estado da arte, revisão sistemática, meta-análise, revisão integrativa e metassíntese (CANUTO; OLIVEIRA, 2020).

De acordo com Canuto e Oliveira (2020), se pode sintetizar cada revisão da seguinte forma:

- **Revisão Narrativa:** a revisão narrativa oferece uma visão abrangente do desenvolvimento de um determinado tema de maneira rápida e não estruturada. Desse modo, proporciona uma atualização ágil sobre a temática.
- **Estado da Arte:** O estado da arte possibilita o mapeamento, descrição e inventário da produção acadêmica em variados campos de conhecimento, demarcando contexto temporal e geográfico. Assim, facilita uma visão ampla da produção analisada. Contudo, a amplitude da análise, que abrange diversas áreas do conhecimento, vários tipos de material e períodos temporais, pode dificultar a comparabilidade e restringir a profundidade de análise, frequentemente limitada à avaliação de resumos.

- **Revisão Sistemática:** A revisão sistemática aborda uma pergunta específica por meio de um método claro e passível de reprodução, viabilizando a confirmação da eficácia de intervenções de natureza clínica. Contudo, a análise restrita a apenas um tipo de estudo, frequentemente os experimentais, pode limitar a compreensão abrangente do problema em questão.
- **Meta-Análise:** A meta-análise envolve a síntese quantitativa de uma produção específica, possibilitando o tratamento estatístico dos dados e sendo frequentemente utilizada em conjunto com revisões sistemáticas. No contexto da psicanálise, a meta-análise se refere à análise realizada a partir da reconstrução de casos clínicos, contribuindo para o avanço das proposições teóricas nesse campo.
- **Revisão Integrativa:** A revisão integrativa distingue-se pela síntese de resultados provenientes de diversos tipos de estudos (experimentais, quase experimentais, teóricos, empíricos) sobre um objeto de estudo específico. Além disso, ela incorpora a temporalidade como uma de suas características distintivas. Semelhante ao estado da arte, a multiplicidade de materiais pode apresentar desafios à análise, ao mesmo tempo em que tem o potencial de aprimorar a profundidade dos resultados.
- **Metassíntese:** A metassíntese facilita uma síntese interpretativa e crítica de estudos qualitativos, valorizando tanto a estrutura final dos resultados quanto o processo sistemático da pesquisa. Essa abordagem possibilita a delimitação temporal e espacial do material analisado. Contudo, devido à amplitude do material examinado, são necessários vários recortes durante o processo de pesquisa, os quais orientam para resultados diferenciados.

2.6.2 Revisão Sistemática

Conforme discutido previamente, as revisões sistemáticas representam uma abordagem para consolidar evidências científicas, respondendo de maneira transparente e reproduzível a uma questão de pesquisa específica. Nesse processo, busca-se abranger todas as evidências publicadas sobre o tema em questão, ao mesmo tempo em que realiza uma avaliação sistemática da qualidade dessas evidências (LAME, 2019).

Para a elaboração de uma revisão sistemática, é recomendável buscar diretrizes que forneçam um guia passo a passo para cada etapa da pesquisa. Existem várias diretrizes

amplamente reconhecidas, incluindo o *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (MOHER *et al.*, 2009), o *Methodological Expectations for Cochrane Intervention Reviews* (MECIR) (HIGGINS *et al.*, 2016) e o *Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology* (MOOSE) (STROUP *et al.*, 2000), que são frequentemente utilizadas e reconhecidas por sua contribuição à qualidade e transparência na condução e relato de revisões sistemáticas.

Essas diretrizes compartilham a ênfase na transparência, rigor metodológico e estruturação do relato em revisões sistemáticas. Elas fornecem checklists específicos, envolvem especialistas, são periodicamente atualizadas e oferecem apoio à comunidade científica. Cada uma tem um foco específico, como aplicabilidade ampla (PRISMA), revisões de intervenções em saúde (MECIR) e revisões de estudos observacionais em epidemiologia (MOOSE). Essas orientações buscam garantir a qualidade e confiabilidade das revisões sistemáticas na pesquisa.

3 METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática com o objetivo de responder à seguinte pergunta central: "Quais tipos de equipamentos de *electrospinning* têm sido utilizados em pesquisas brasileiras no período de 2019 a 2024 e quais parâmetros de operação estão associados a esses equipamentos?".

Com base nas diretrizes de Bramer et al. (2017), enfatizando a importância do uso de múltiplas bases de dados, a busca foi realizada em diversas plataformas relevantes, como Scielo, Google Acadêmico, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) e Periódicos Capes. Palavras-chave específicas, como: "*electrospinning*", "equipamentos", "técnica", "métodos" e "aplicação", foram utilizadas com o objetivo de catalogar esses dispositivos em diversas áreas de pesquisa.

Seguindo as orientações de Meline (2006), para estabelecer os critérios de inclusão e exclusão nesta revisão sistemática, a prioridade foi dada a artigos de origem brasileira, com foco exclusivo em publicações de acesso aberto (*open access*). Foram excluídos trabalhos fora do intervalo temporal de 2019 a 2024, bem como aqueles cujo conteúdo não contribuía para responder à pergunta central do estudo.

Moher (2015) discute as práticas de revisão formal por pares enquanto Waffenschmidt et al. (2019) aborda a diferença entre a triagem dupla e a triagem única, destacando que a triagem única pode ser mais eficiente em termos de tempo e recursos. Considerando que esta revisão foi conduzida individualmente, a revisão formal por pares não foi aplicada, mas o processo seguiu critérios rigorosos para assegurar a qualidade e a confiabilidade dos resultados.

Para estudos que abordaram mais de um equipamento, foram consideradas todas as configurações mencionadas nos estudos, assegurando uma análise abrangente dos dispositivos de *electrospinning*, inclusive em situações de múltiplos equipamentos.

Na fase subsequente, a coleta de dados foi realizada por meio de um formulário de extração estruturado, utilizando o *Microsoft Excel* como ferramenta auxiliadora, abrangendo informações cruciais, como tipo de equipamento, parâmetros de operação e dados relevantes. A quantidade de citações foi um critério de avaliação de qualidade, visto que as citações estão sendo cada vez mais usadas como indicadores de desempenho na política de pesquisa e dentro do sistema de pesquisa (AKSNES; LANGFELDT; WOUTERS, 2019).

Com a conclusão da coleta, foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa para explorar os tipos de equipamentos e parâmetros de operação. A quantificação incluiu a frequência de publicações ao longo do período determinado (2019-2024), destacando a

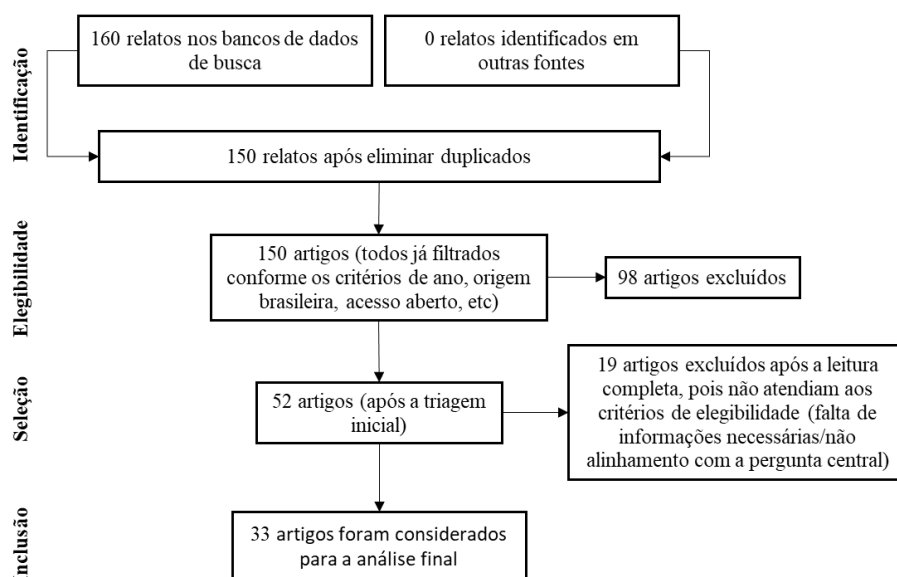
quantidade de trabalhos publicados por ano, instituição e por estado brasileiro. Os dados relacionados aos parâmetros operacionais, como tensão aplicada, taxa de fluxo e distância de trabalho, temperatura e umidade, foram apresentados em histogramas, permitindo identificar as faixas de maior concentração. Além disso, os diâmetros médios das fibras obtidas, as soluções utilizadas e suas respectivas aplicações foram organizados em tabelas detalhadas, enquanto a distribuição das aplicações por área foi representada graficamente, facilitando a análise e interpretação dos resultados.

O fluxograma PRISMA (Figura 23) foi utilizado para mapear as etapas da seleção dos estudos e garantir a transparência e a reprodutibilidade do processo. Inicialmente, a busca na literatura resultou em 160 artigos, que foram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos.

Durante a triagem inicial, 10 artigos foram excluídos devido à duplicação, totalizando 150 artigos para a primeira avaliação. Esta fase consistiu na leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, com o objetivo de identificar artigos que estivessem alinhados com o foco da pesquisa.

Após a triagem inicial, foram selecionados 52 artigos para análise mais detalhada. Na fase subsequente, foi realizada a leitura completa desses artigos, permitindo a exclusão de 19 estudos que não atendiam aos critérios de inclusão, como a ausência de informações cruciais ou não alinhamento com a questão central da pesquisa. Assim, restaram 33 artigos, que foram de fato analisados e utilizados para a análise qualitativa dos equipamentos de *electrospinning*.

Figura 23 – PRISMA representando o processo de seleção dos artigos encontrados



Fonte: Autor (2024)

Um aspecto fundamental foi a garantia da conformidade ética, com respeito rigoroso aos direitos autorais e atribuição adequada de créditos aos autores originais. Embora as considerações éticas relacionadas à condução de revisões sistemáticas em pesquisas educacionais não sejam frequentemente explicitadas, reconhece-se sua importância, pois essas revisões são amplamente consultadas e referenciadas em documentos que exercem impacto significativo nas decisões políticas e práticas educacionais (ZAWACKI-RICHTER *et al.*, 2019).

Por fim, um cronograma inicial foi seguido, com prazos específicos definidos para cada tarefa. O cronograma foi guiado por um prazo fixado de 3 meses, com flexibilidade em relação ao progresso, permitindo a coordenação das etapas de acordo com os prazos estabelecidos. No entanto, o trabalho foi concluído em menor tempo, totalizando 50 dias, aproximadamente 1 mês e 20 dias. Abaixo estão apresentados o cronograma esperado e o realizado, detalhando cada etapa:

1. Definição da pergunta de pesquisa:
 - **Esperado:** Formulação da pergunta de pesquisa.
 - **Realizado:** Já foi feita a formulação da pergunta de pesquisa.
2. Desenvolvimento de um protocolo:
 - **Esperado:** Desenvolver um protocolo que detalhe os critérios de elegibilidade, métodos de busca de literatura e plano de extração de dados.
 - **Realizado:** Desenvolvido um protocolo que detalha os critérios de elegibilidade, métodos de busca de literatura e plano de extração de dados.
3. Busca de literatura (Dia 1-20):
 - **Esperado:** Realizar uma busca abrangente na literatura usando várias bases de dados já definidas e estratégias de busca utilizando palavras-chave e filtros.
 - **Realizado:** 14/10 – 24/10 (10 dias).
4. Triagem de títulos e resumos (Dia 21-35):
 - **Esperado:** Avaliar os títulos e resumos dos estudos identificados para determinar se atendem aos critérios de elegibilidade.
 - **Realizado:** 25/10 – 29/10 (4 dias).
5. Avaliação de texto completo (Dia 36-50):
 - **Esperado:** Avaliar os textos completos dos estudos selecionados para determinar se atendem aos critérios de elegibilidade.
 - **Realizado:** 30/10 – 09/11 (10 dias).

6. Extração de dados (Dia 51-60):
 - **Esperado:** Extrair os dados relevantes dos estudos incluídos.
 - **Realizado:** 10/11 – 20/11 (10 dias).
7. Avaliação da qualidade (Dia 61-65):
 - **Esperado:** Avaliar a qualidade dos estudos incluídos usando a quantidade de citações como um indicador de desempenho.
 - **Realizado:** 21/11 (1 dia).
8. Síntese de dados (Dia 66-75):
 - **Esperado:** Sintetizar os dados extraídos.
 - **Realizado:** 22/11 – 27/11 (5 dias).
9. Redação e revisão do relatório (Dia 76-90):
 - **Esperado:** Revisar o relatório da revisão sistemática, incluindo toda a introdução e métodos, e redigir os resultados, discussão e conclusões. Revisar o relatório para garantir que esteja claro, preciso e completo.
 - **Realizado:** 28/11 – 03/12 (5 dias).

Tabela 4 – Cronograma das etapas de construção da revisão sistemática

Atividade	14-out-24 a 12-nov-24	13-nov-24 a 12-dez-24	13-dez-24 a 12-jan-25
Definição da pergunta de pesquisa			
Desenvolvimento de um protocolo			
Busca de literatura			
Triagem de títulos e resumos			
Avaliação de texto completo			
Extração de dados			
Avaliação da qualidade			
Síntese de dados			
Redação e revisão do relatório			

Fonte: Autor (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, será apresentada a análise geral dos resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia de revisão sistemática, com ênfase nos tipos de equipamentos utilizados e nos parâmetros operacionais do processo em si.

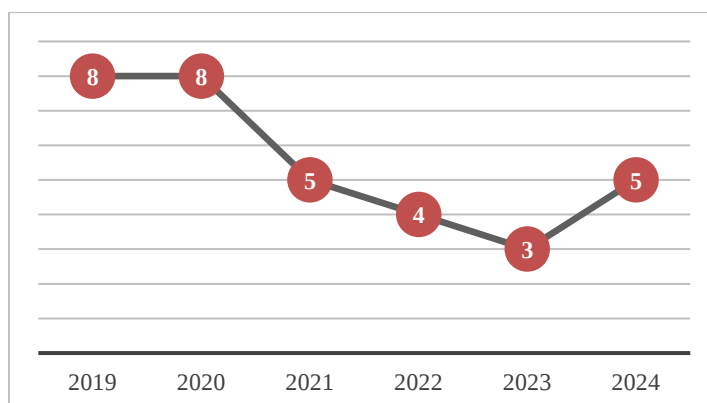
4.1 ESTUDOS SELECIONADOS

Após a aplicação dos critérios de inclusão e elegibilidade, foram selecionados 33 artigos para a análise final desta revisão sistemática. Esses estudos foram avaliados com base em parâmetros como ano de publicação, instituição de origem, autores e, principalmente, o número de citações, utilizado como um dos indicadores de qualidade (Tabela 3). Ressalta-se que alguns artigos ainda não possuem citações, uma vez que foram publicados recentemente. No entanto, essa ausência não foi considerada um indicativo de baixa qualidade, dado o tempo limitado para que tais trabalhos sejam reconhecidos e citados na comunidade científica.

4.1.1 Publicações por Ano

A distribuição dos artigos ao longo do período analisado revela um comportamento variado, com picos em 2019 e 2020, cada um contabilizando 8 publicações, o que representa o maior número de estudos registrados nos anos analisados. Nos anos seguintes, observou-se uma diminuição no número de trabalhos, atingindo o ponto mais baixo em 2023, com apenas 3 publicações. No entanto, em 2024, houve uma leve recuperação, totalizando 5 publicações, sugerindo um possível reaquecimento do interesse pela aplicação de equipamentos de *electrospinning* no Brasil (Figura 24).

Figura 24 – Publicações por período (2019-2024)



Fonte: Autor (2024)

Tabela 5 – Relação de estudos selecionados classificados pela quantidade de citações

Nº	Autores/Ano	Título	Citações	Instituição
1	Fonseca; Cruxen, et al. (2019)	Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol	116	Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - RS
2	Bortolassi et al. (2019)	Composites based on nanoparticle and pan electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal	94	Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - SP
3	dos Santos et al. (2020)	Core-sheath nanostructured chitosan-based nonwovens as a potential drug delivery system for periodontitis treatment	59	EMBRAPA Instrumentação - SP
4	Fonseca; de Oliveira et al. (2019)	Electrospinning of native and anionic corn starch fibers with different amylose contents	50	Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - RS
5	Bonfim; Cruz; Bretas et al. (2021)	A sustainable recycling alternative: Electrospun pet-membranes for air nanofiltration	46	Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - SP
6	da Silva et al. (2019)	Ocular biocompatibility of dexamethasone acetate loaded poly(ϵ -caprolactone) nanofibers	40	Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - MG
7	Bonfim; Cruz; Guerra et al. (2021)	Development of filter media by electrospinning for air filtration of nanoparticles from pet bottles	29	Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - SP
8	Cruz et al. (2023)	Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning	24	Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - RS
9	Pires et al. (2022)	Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity	22	Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - RS
10	de Siqueira et al. (2019)	Influence of PLLA/PCL/HA scaffold fiber orientation on mechanical properties and osteoblast behavior	21	Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) - SP
11	Mata et al. (2022)	Composition Effects on the Morphology of PVA/Chitosan Electrospun Nanofibers	19	Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - SP
12	Machado; Alexis; de Sousa (2019)	Nanostructured and photochromic material for environmental detection of metal ions	18	Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - MG
13	Avila et al. (2020)	Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning	17	Universidade Federal do Pampa (Unipampa) - RS
14	Castro et al. (2020)	Water-based synthesis of photocrosslinked hyaluronic acid/polyvinyl alcohol membranes: Via electrospinning	15	Universidade de Campinas (UNICAMP) - SP
15	Mendes et al. (2021)	Electrospun Nanofibrous Architectures of Thrombin-Loaded Poly (ethylene oxide) for Fasterin VivoWound Clotting	14	Universidade de Campinas (UNICAMP) - SP
16	Reis et al. (2020)	VPA/PLGA microfibers produced by coaxial electrospinning for the treatment of central nervous system injury	14	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - RS
17	Marsi et al. (2019)	Electrospun Nanofibrous Poly (Lactic Acid)/Titanium Dioxide Nanocomposite Membranes for Cutaneous Scar Minimization	11	Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) - SP

18	Schiefferdecker et al. (2019)	Comparative Study of the Structure and Properties of Poly (Vinylidene Fluoride) / Montmorillonite-Polypyrrole Nanocomposites Prepared by Electrospinning and Solution Casting	10	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - SC
19	Morais et al. (2023)	Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibrous Mat Loaded with Green Propolis Extract, Chitosan and Nystatin as an Innovative Wound Dressing Material	8	Universidade de São Paulo (USP) - SP
20	Santos et al. (2020)	Preparation of porous poly (lactic acid) fibers by medium field electrospinning for tissue engineering applications	7	Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - SC
21	Medina et al. (2020)	Low oxygen pressure synthesis of NdNiO ₃ - δ nanowires by electrospinning	5	Universidade Federal do ABC (UFABC) - SP
22	Guellis et al. (2021)	Incorporation of fluorescent dyes in electrospun chitosan/poly (ethylene oxide)	4	Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - PR
23	Cantalice et al. (2021)	Polyaniline-based electrospun polycaprolactone Nanofibers: Preparation and characterization	4	Universidade Federal de Alagoas (UFAL) - AL
24	Conti et al. (2022)	TiO ₂ Hollow Nanofiber/Polyaniline Nanocomposites for Ammonia Detection at Room Temperature	3	EMBRAPA Instrumentação - SP
25	de Moraes Segundo et al. (2022)	Virucidal PVP-Copper Salt Composites against Coronavirus Produced by Electrospinning and Electrospinning	3	Universidade Federal do Ceará (UFC) - CE
26	Dognani et al. (2020)	Electrospun natural rubber fibers-based flexible conductive membranes	1	Universidade Estadual Paulista (UNESP) - SP
27	Pascoalino et al. (2020)	Caracterização e avaliação do comportamento termorresponsivo de fibras de Ecovio®/PNIPAAm eletrofiadas	1	Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - PR
28	Da Silva et al. (2023)	Structural characterization of polymeric nanofibers of polyvinylidene fluoride (PVDF)	0	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP) - SP
29	Santos; Pezzin (2024)	Poly (vinyl alcohol) membranes produced by portable electrospinning device for in situ applications	0	Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - SC
30	Trindade et al. (2024)	Spinning a Sustainable Future: Electrospun Polysaccharide-Protein Fibers for Plant-Based Meat Innovation	0	Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) - SP
31	Gouvêa; Andrade (2024)	Development of Bilayer Polysaccharide-Based Films Combining Extrusion and Electrospinning for Active Food Packaging	0	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - RJ
32	Clerici et al. (2024)	Electrospun Poly- ϵ -Caprolactone Nanofibers Incorporating Keratin Hydrolysates as Innovative Antioxidant Scaffolds	0	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - RS
33	dos Santos et al. (2024)	Production of PHB Scaffolds Reinforced with HAp Through Electrospinning	0	Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) - BA

Fonte: Autor (2024)

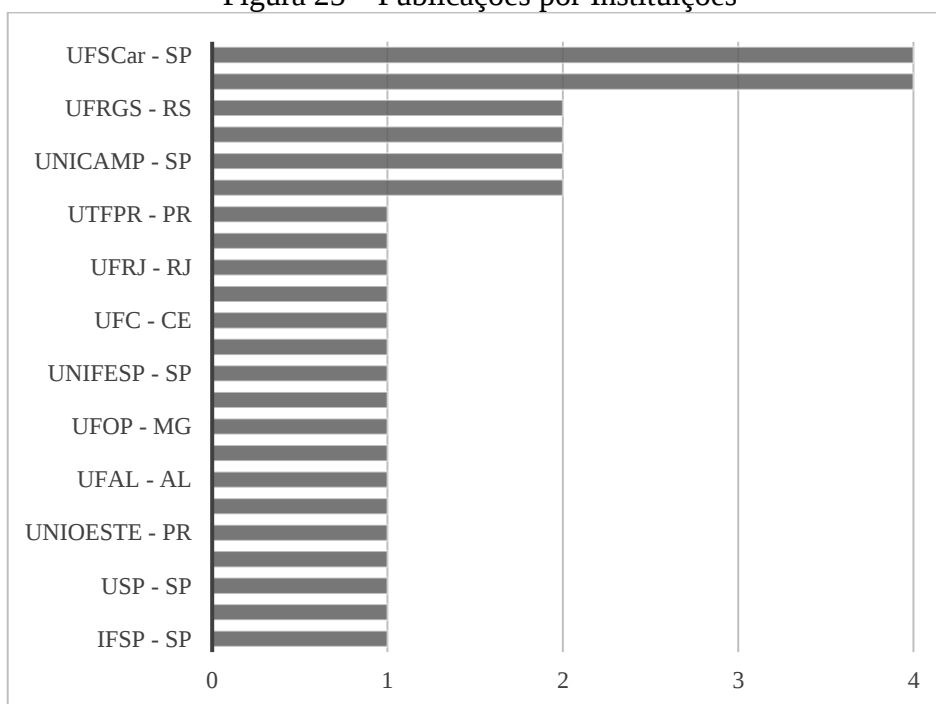
4.1.2 Publicações por Instituições

A análise das publicações por instituição demonstra que a maior parte dos estudos foi realizada em universidades distribuídas por diversas regiões do Brasil (Figura 25). As instituições com maior número de publicações incluem a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar – SP), com destaque de 3 estudos, e a Universidade Federal de Pelotas (UFPel – RS), que também contribuiu com 3 publicações. Outras universidades de referência, como a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS – RS), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC – SC) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP – SP), aparecem com representatividade semelhante.

Além disso, foi registrada a participação de instituições de pesquisa não universitárias, como a EMBRAPA Instrumentação (SP), enfatizando o papel de centros de pesquisa tecnológica no desenvolvimento do campo.

Essa distribuição evidencia a contribuição significativa das universidades federais e estaduais na produção científica envolvendo equipamentos de *electrospinning*. A dispersão dos dados entre instituições de diferentes estados reflete o interesse abrangente dessa tecnologia em várias regiões do país, confirmando sua relevância nacional para a ciência e a inovação tecnológica.

Figura 25 – Publicações por Instituições



Fonte: Autor (2024)

4.1.3 Publicações por Estados

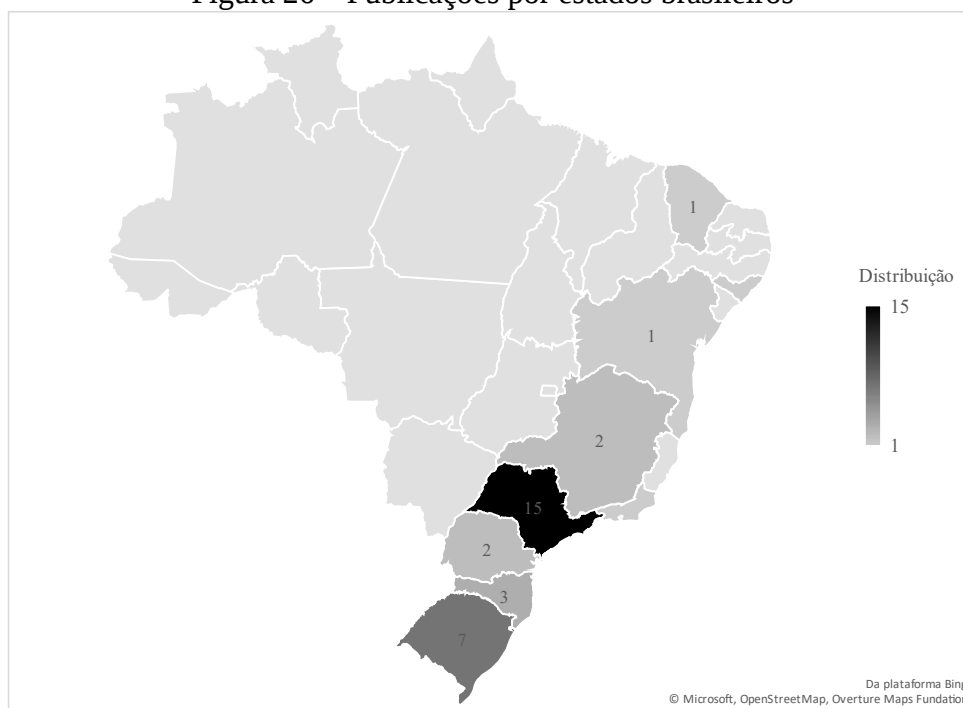
A análise das publicações por estado mostra uma concentração significativa em algumas regiões do Brasil, com destaque para o estado de São Paulo, com 15 publicações, representando quase metade do total registrado (Figura 26). Este número reflete o protagonismo de São Paulo como um polo consolidado de pesquisa científica no país, apoiado pela presença de instituições de excelência, como USP, UNICAMP, UFSCar e EMBRAPA.

A Região Sul também demonstra relevância, com destaque para o Rio Grande do Sul (7 publicações), seguido por Santa Catarina (3) e Paraná (2). Esse desempenho evidencia a presença de instituições bem estabelecidas na área de materiais e engenharia, como UFRGS, UFSM e UDESC, que têm produzido contribuições significativas no campo.

Em Minas Gerais e no Rio de Janeiro, foram registradas 2 e 1 publicações, respectivamente. Esses estados possuem importantes centros de pesquisa, como UFMG e UFRJ, que, embora tenham menor representatividade numérica, mantêm sua relevância no cenário nacional.

Os estados do Nordeste, representados por Alagoas, Bahia e Ceará, aparecem com 1 publicação cada, indicando que o tema começa a ser explorado na região, ainda que de forma incipiente. Essa participação, embora pequena, aponta para o potencial de crescimento futuro, especialmente com o fortalecimento de programas de pesquisa regionais.

Figura 26 – Publicações por estados brasileiros



Fonte: Autor (2024)

Os dados mostram que as publicações estão concentradas em regiões com maior tradição científica e infraestrutura de pesquisa, como o Sudeste e o Sul. A ausência de publicações em regiões como o Norte e o Centro-Oeste aponta para a oportunidade de explorar o tema em locais ainda pouco representados, ampliando o alcance da pesquisa e fortalecendo a produção científica em todo o país.

4.2 APARATOS DE ELETROFIAÇÃO

Nesta seção, foram analisados os principais aparatos usados nos estudos que aplicaram a técnica de eletrofiação. Os dados foram organizados em um quadro (Quadro 1), listando as instituições e as especificações dos equipamentos, como fontes de alta tensão, bombas de seringa, seringas, agulhas e coletores. O objetivo foi identificar padrões nos aparatos, destacando os componentes mais usados e suas características técnicas, para entender melhor como essas escolhas influenciam os resultados experimentais.

4.2.1 Fontes de Alta Tensão

A análise das fontes de alta tensão revela uma diversidade de modelos e capacidades de fornecimento. As fontes com informações mais detalhadas apresentam faixas de operação variando entre 10 kV e 30 kV, com algumas chegando até 50 kV (Quadro 1). As fontes de maior capacidade operam na faixa de 50 kV, como as utilizadas por instituições renomadas, como a USP e a UFSCar. É possível observar uma presença significativa de fontes de alta tensão fabricadas pelas empresas *Gamma High Voltage Research*, *Bertan*, *ISNTOR* e *Electrotest* nas universidades, o que sugere um padrão na escolha de fontes mais adequadas para o processo de eletrofiação, provavelmente visando garantir maior confiabilidade e eficiência nesse processo.

4.2.2 Bombas Injetoras

O Quadro 1 apresenta uma variedade de bombas injetoras utilizadas nos diferentes estudos, com alguns deles optando por alternativas que não envolvem bombas, como o uso manual ou da força gravitacional e a viscosidade da solução. As bombas injetoras desempenham um papel crucial no controle do fluxo do líquido durante o processo de eletrofiação e a escolha do modelo impacta diretamente na precisão do processo.

O modelo mais comumente utilizado nas instituições é, sem dúvida, o KD 100 (*KD Scientific*), observado em universidades como UNICAMP, UFPEL, UFSCar e UNIPAMPA. A frequência de seu uso reflete sua confiabilidade e precisão no fornecimento de fluido. Além do KD 100, outros modelos também são empregados, incluindo sistemas com motores de passo e redutores, que convertem movimento rotacional em linear e são controlados por Arduino. Essa configuração sugere uma solução de baixo custo e portátil, visando alcançar uma eficiência similar à de produtos industriais.

4.2.3 Capacidade das Seringas e Calibres das Agulhas

Com base nos dados apresentados (Quadro 1), as capacidades das seringas utilizadas variam entre 1 ml e 12 ml. Entre os estudos analisados, seringas de 3 ml e 5 ml foram as mais frequentemente relatadas, sendo as de plástico predominantes devido à sua ampla disponibilidade, enquanto algumas instituições optaram por seringas de vidro.

Quanto ao calibre das agulhas, observou-se uma variação entre 0,5 mm e 1 mm. Agulhas mais finas ($\leq 0,8$ mm) foram associadas, nos estudos analisados, à produção de fibras mais delicadas e uniformes, sendo especialmente empregadas em áreas como medicina regenerativa, engenharia biomédica e ciência dos materiais. Já agulhas com calibres em torno de 1 mm foram utilizadas em aplicações que demandam fibras de maior diâmetro, como na engenharia eletrônica, em encapsulamento para liberação controlada de fármacos e em estudos com eletrofiação coaxial. Essas escolhas refletem a relação direta entre a configuração do aparato e os requisitos específicos de cada área de pesquisa.

4.2.4 Tipos de Coletores

O tipo de coletor mais comum nos estudos selecionados é o do tipo plano, geralmente composto por placas ou discos metálicos, amplamente utilizado em diversas instituições. Esse modelo é popular em processos de eletrofiação devido à sua simplicidade, facilidade de operação e eficácia na coleta de fibras.

Além dos coletores planos, alguns estudos destacam o uso de coletores rotativos, que oferecem vantagens específicas, como a formação de fibras com maior uniformidade e alinhamento. Essa característica é especialmente relevante para aplicações que demandam materiais com melhor qualidade e homogeneidade estrutural, tornando os coletores rotativos uma escolha estratégica em determinados contextos experimentais.

Quadro 1 – Equipamentos de eletrofiação utilizados nos estudos selecionados

Instituição	Fonte Alta Tensão	Bomba Injetora	Seringa	Agulha	Coletor	Artigos	Área de Estudo
EMBRAPA Instrumentações	Glassman High Voltage Inc	New Era Pump Systems Inc	3 ml	1,02 mm (ext.) 0,65 mm (int.)	Cilindro rotativo	Core-sheath nanostructured chitosan-based nonwovens as a potential drug delivery system for periodontitis treatment	Medicina / Engenharia Biomédica
						TiO ₂ Hollow Nanofiber/Polyaniline Nanocomposites for Ammonia Detection at Room Temperature	Engenharia Elétrica / Sensores
IFSP	Fonte CC ajustável (0–30 kV, 0,400 mA)	Sem uso (forças gravitacionais / viscosidade da solução)	3-10 ml	25,0x0,7 mm 22G1 (hipodérmica)	Placa metálica	Structural characterization of polymeric nanofibers of polyvinylidene fluoride (PVDF)	Engenharia de Materiais / Dispositivos Eletrônicos
UNIFESP	Sem Informações	Sem Informações	5 ml	21G	Cilindro rotativo	Influence of PLLA/PCL/HA scaffold fiber orientation on mechanical properties and osteoblast behavior	Engenharia de Tecidos / Medicina Regenerativa
UNICAMP	Testtech	KD 100 (KD Scientific)	10 ml	0,8 mm	Placa metálica	Water-based synthesis of photocrosslinked hyaluronic acid/polyvinyl alcohol membranes: Via electrospinning	Medicina / Liberação Controlada de Fármacos
						Electrospun Nanofibrous Architectures of Thrombin-Loaded Poly(ethylene oxide) for Fasterin VivoWound Clotting	Medicina Regenerativa / Engenharia de Tecidos
USP	EH6005C (0-50kV) (Electrotest HIPOT CC)	Elite I/W PROGR SINGLE (Harvard Apparatus)	5 ml	0,6 mm	Cilindro rotativo	Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibrous Mat Loaded with Green Propolis Extract, Chitosan and Nystatin as an Innovative Wound Dressing Material	Medicina / Engenharia Biomédica
UDESC	Ajustável/compacta 220 V (CA) para 10 kV (CC) (10x10x5,2 cm)	Manual	10 mL (descartável)	0,55x20 mm (24G 3/4")	Placa metálica	Poly(vinyl alcohol) membranes produced by portable electrospinning device for in situ applications	Medicina / Biotecnologia
UDESC	QSC2020 - 0-20 kV (CC) (Inergiae)	Bomba de seringa (0,6 a 600 mL/h)	10 ml (descartável)	0,55x20 mm (24G 3/4")	Placa metálica		
UDESC	Leybold - 0-6 kV	SDA 1800 (SDAMed)	10 ml	0,7x25 mm	Cilindro rotativo	Preparation of porous poly (lactic acid) fibers by medium field electrospinning for tissue engineering applications	Engenharia de Tecidos / Medicina Regenerativa
UNIVAP	203R (Bertan)	Sem Informações	5 ml (BDR)	23G (Inbras)	Placa metálica	Electrospun Nanofibrous Poly (Lactic Acid)/Titanium Dioxide Nanocomposite Membranes for Cutaneous Scar Minimization	Medicina / Engenharia Biomédica

UNIOESTE	30-R (Bertan)	SP100I Syringe Pump (World Precision Instruments)	5 ml (vidro)	0,70 mm (hipodérmica)	Placa metálica	Incorporation of fluorescent dyes in electrospun chitosan/poly(ethylene oxide)	Engenharia de Sensores / Biotecnologia
UNESP	Spellman Bertan Série 225	(Cole Parmer)	(plástica)	23G	Placa metálica	Electrospun natural rubber fibers-based flexible conductive membranes	Engenharia Eletrônica / IoT (Internet das Coisas)
UFAL	CC (até 30 kV)	Sem uso (forças gravitacionais / viscosidade da solução)	(vidro)	1,2 mm	Placa metálica	Polyaniline-based electrospun polycaprolactone Nanofibers: Preparation and characterization	Engenharia Eletrônica / Física Aplicada
UNIFEI	(Gamma High Voltage Research)	Harvard Apparatus PHD 2000	12 ml	Sem informações	Placa metálica	Nanostructured and photochromic material for environmental detection of metal ions	Engenharia de Materiais / Química Analítica
UFOP	(Gamma High Voltage Research)	(Arti Glass)	(Arti Glass)	22G	Disco metálico	Ocular biocompatibility of dexamethasone acetate loaded poly(ϵ -caprolactone) nanofibers	Medicina / Oftalmologia
UFPEL	INSES-HV30 (INSTOR)	KD 100 (KD Scientific)	3 ml (plástica)	0,7 mm	Placa metálica	Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
				0,8 mm		Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning; Thermal resistance and antioxidant activity	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
UFPEL	ES30R-5W/DM (Gamma High Voltage Research)	KD 100 (KD Scientific)	3 ml (plástica)	16G (Fisher Scientific)	Placa metálica	Electrospinning of native and anionic corn starch fibers with different amylose contents	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
UFPEL	FA +30 kV (Faíscas)	KD 100 (KD Scientific)	3 mL (plástica)	0,8 mm	Placa metálica	Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
UFSC	Instor Apparatus (30 kV)	(Instor Apparatus)	10 ml	0,66 mm	Placa metálica	Comparative Study of the Structure and Properties of Poly(Vinylidene Fluoride)/ Montmorillonite-Polypyrrole Nanocomposites Prepared by Electrospinning and Solution Casting	Engenharia Eletrônica / Materiais
UFSCar	T1CP 300 304n (iSeg)	KD 100 (KD Scientific)	12 ml	0,7 mm	Cilindro rotativo	Composites based on nanoparticle and pan electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal	Engenharia de Materiais / Saúde Pública
			10 ml (BD Plastipak)	0,7 (BD Precision Glide)		A sustainable recycling alternative: Electrospun pet-membranes for air nanofiltration	Engenharia de Materiais / Saúde Pública

				0,7 mm/0,55 mm/0,3 mm (BD Precision Glide)		Development of filter media by electrospinning for air filtration of nanoparticles from pet bottles	Engenharia de Materiais / Filtração
UFSCar	EH6005C 0-50 kV (Electrotest HIPOT CC)	Elite I/W PROGR SINGLE (Harvard Apparatus)	5 ml (plástica)	0,55 mm	Cilindro rotativo	Composition Effects on the Morphology of PVA/Chitosan Electrospun Nanofibers	Engenharia de Materiais / Medicina
UNIFESP	Aparelho de Eletrofiação (FLUIDNATEK LE-10, BIOINICIA)	Aparelho de Eletrofiação (FLUIDNATEK LE-10, BIOINICIA)	5 ml	1,03 mm	Cilindro rotativo	Spinning a Sustainable Future: Electrospun Polysaccharide-Protein Fibers for Plant-Based Meat Innovation	Engenharia de Alimentos / Biotecnologia
UFABC	Es30-0	Sem Informações	(comercial)	0,5 mm	Folha de alumínio	Low oxygen pressure synthesis of NdNiO ₃ -δnanowires by electrospinning	Engenharia Eletrônica / Tecnologia
UFC	(até 30 kV)	Sem Informações	Sem Informações	21G	Placa metálica	Virucidal PVP-Copper Salt Composites against Coronavirus Produced by Electrospinning and Electrospraying	Engenharia de Materiais / Saúde Pública
UNIPAMPA	INSES-HV30 (INSTOR)	KD 100 (KD Scientific)	1 ml	0,7 mm	Placa metálica	Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
UFRJ	(0–26 kV)	Sem Informações	10 ml	0,5 mm	Placa metálica	Development of Bilayer Polysaccharide-Based Films Combining Extrusion and Electrospinning for Active Food Packaging	Engenharia de Materiais / Indústria Alimentícia
UFRGS	Aparelho de eletrofiação (IME Technologies)	Aparelho de eletrofiação (IME Technologies)	Sem Informações	(agulha coaxial)	Placa metálica	VPA/PLGA microfibers produced by coaxial electrospinning for the treatment of central nervous system injury	Engenharia de Tecidos / Neurociência
UFRGS	Aparelho de eletrofiação (BR Robotics)	Aparelho de eletrofiação (BR Robotics)	3 ml	0,5 mm	Placa metálica	Electrospun Poly-ε-Caprolactone Nanofibers Incorporating Keratin Hydrolysates as Innovative Antioxidant Scaffolds	Medicina Regenerativa / Engenharia de Tecidos
UNIVASF	Fonte chaveada Huntkey LW - 6350HG (12 V para 20 kV)	Motor de passo e redutor, convertendo movimento rotacional em linear, controlada por Arduino	5 ml	0,80 mm	Cilindro rotativo	Production of PHB Scaffolds Reinforced with HAP Through Electrospinning	Engenharia de Tecidos / Biotecnologia
UTFPR	(máximo de 30 kV)	SP100 da WPI	(plástica)	Sem Informações	Placa metálica	Caracterização e avaliação do comportamento termorresponsivo de fibras de Ecovio®/PNIPAAm eletrofiadas	Biotecnologia / Engenharia de Tecidos

4.3 PARÂMETROS DE ELETROFIAÇÃO

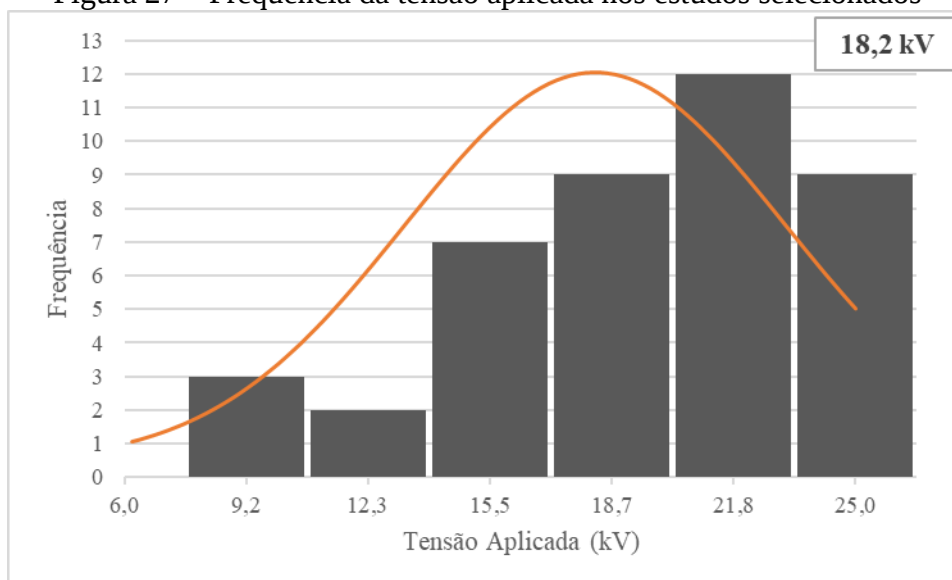
Nesta seção, é apresentada uma análise detalhada dos parâmetros operacionais utilizados nos estudos selecionados, com ênfase nos equipamentos e nas condições ambiente necessárias para o funcionamento ideal da eletrofiação. Os parâmetros analisados incluem tensão aplicada, taxa de fluxo, distância de trabalho, temperatura e umidade, conforme resumido no Quadro 2.

4.3.1 Tensão Aplicada

A tensão aplicada, gerada pela fonte de alta tensão, é um parâmetro crucial no processo de eletrofiação, pois influencia diretamente a formação e estabilidade do jato de polímero. Essa variável reflete a flexibilidade dos equipamentos utilizados, possibilitando a adaptação a diferentes aplicações e materiais.

O histograma apresentado (Figura 27) ilustra a distribuição das tensões aplicadas nos estudos analisados (Quadro 1). Observa-se que a maior frequência dos dados está concentrada na faixa de 21,8 kV, sendo este o valor mais recorrente entre as configurações experimentais. A média geral calculada para os estudos é de 18,2 kV, indicando uma preferência por uma faixa de tensões intermediária nos processos de eletrofiação. Essa escolha pode estar relacionada à busca por um equilíbrio entre a estabilidade do jato e a formação de fibras com características adequadas para suas aplicações específicas.

Figura 27 – Frequência da tensão aplicada nos estudos selecionados



Fonte: Autor (2024)

Quadro 2 – Parâmetros de eletrofiação dos estudos selecionados

Instituição	Tensão aplicada (kV)	Taxa de fluxo (ml/h)	Distância (cm)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Artigos
EMBRAPA Instrumentações	25	0,6 (casca) e 0,3 (núcleo)	5	25 ± 3	25 a 40	Core-sheath nanostructured chitosan-based nonwovens as a potential drug delivery system for periodontitis treatment
	20	0,48 (casca) e 0,24 (núcleo)	4	25 ± 2	25	TiO ₂ Hollow Nanofiber/Polyaniline Nanocomposites for Ammonia Detection at Room Temperature
IFSP	15	(viscosidade e forças gravitacionais)	15	22 a 25	Sem informações	Structural characterization of polymeric nanofibers of polyvinylidene fluoride (PVDF)
UNIFESP	18	1	12	25	31 a 54	Influence of PLLA/PCL/HA scaffold fiber orientation on mechanical properties and osteoblast behavior
UNICAMP	20 a 25	0,3 a 1	15	20 a 25	20 a 30	Water-based synthesis of photocrosslinked hyaluronic acid/polyvinyl alcohol membranes: Via electrospinning
	25	1	15	Sem informações	40 a 45	Electrospun Nanofibrous Architectures of Thrombin-Loaded Poly(ethylene oxide) for Fasterin VivoWound Clotting
USP	20	0,5	10	22	40	Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibrous Mat Loaded with Green Propolis Extract, Chitosan and Nystatin as an Innovative Wound Dressing Material
UDESC	6 e 8	1,2	5 e 6	22	45	Poly(vinyl alcohol) membranes produced by portable electrospinning device for in situ applications
UDESC	6	0,5	2 e 4	25 ± 2	Sem informações	Preparation of porous poly (lactic acid) fibers by medium field electrospinning for tissue engineering applications
UNIVAP	12	0,05	10	25 ± 2	30 a 40	Electrospun Nanofibrous Poly (Lactic Acid)/Titanium Dioxide Nanocomposite Membranes for Cutaneous Scar Minimization
UNIOESTE	18	0,5	18	22 ± 1	46 ± 5	Incorporation of fluorescent dyes in electrospun chitosan/poly(ethylene oxide)
UNESP	15	0,5	10	40	Sem informações	Electrospun natural rubber fibers-based flexible conductive membranes

UFAL	15; 17; 18 e 20	4,8	12	25 a 29	62 a 69	Polyaniline-based electrospun polycaprolactone Nanofibers: Preparation and characterization
UNIFEI	19	1,8	18	Sem informações	Sem informações	Nanostructured and photochromic material for environmental detection of metal ions
UFOP	25	3,6	9	20 a 25	Sem informações	Ocular biocompatibility of dexamethasone acetate loaded poly(ϵ -caprolactone) nanofibers
UFPEL	25	0,6	20	25 ± 2	$45 \pm 2\%$	Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol
	15 e 18	0,6 e 0,8	15	22 ± 5	30	Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity
UFPEL	18	0,75	20	16 ± 2	43 ± 5	Electrospinning of native and anionic corn starch fibers with different amylose contents
UFPEL	23	0,6	15 e 20	22 ± 2	45 ± 5	Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning
UFSC	17,5	2,5	30	20	50	Comparative Study of the Structure and Properties of Poly(Vinylidene Fluoride)/Montmorillonite-Polypyrrole Nanocomposites Prepared by Electrospinning and Solution Casting
UFSCar	25	0,2	15	20	Sem informações	Composites based on nanoparticle and pan electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal
	20	0,8 e 1,0	10	25	Sem informações	A sustainable recycling alternative: Electrospun pet-membranes for air nanofiltration
	20	0,8	10	Sem informações	Sem informações	Development of filter media by electrospinning for air filtration of nanoparticles from pet bottles
UFSCar	20	30	10	22	40	Composition Effects on the Morphology of PVA/Chitosan Electrospun Nanofibers
UNIFESP	18 a 24	1,8 a 3	12	20 a 25	50 a 60	Spinning a Sustainable Future: Electrospun Polysaccharide–Protein Fibers for Plant-Based Meat Innovation

UFABC	20	1	20	24	60	Low oxygen pressure synthesis of NdNiO ₃ - δ nanowires by electrospinning
UFC	14	4	17	21	54	Virucidal PVP-Copper Salt Composites against Coronavirus Produced by Electrospinning and Electrospraying
UNIPAMPA	18	1	15	23 $\pm$ 2	45 $\pm$ 2	Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning
UFRJ	15	0,66	20	23	60	Development of Bilayer Polysaccharide-Based Films Combining Extrusion and Electrospinning for Active Food Packaging
UFRGS	16 a 25	2,0 (casca) e 0,2 (núcleo)	15	22	45	VPA/PLGA microfibers produced by coaxial electrospinning for the treatment of central nervous system injury
UFRGS	20	4,8	15	25	Sem informações	Electrospun Poly- ϵ -Caprolactone Nanofibers Incorporating Keratin Hydrolysates as Innovative Antioxidant Scaffolds
UNIVASF	20	2,45	25	26 a 28,5	30 a 60	Production of PHB Scaffolds Reinforced with HAp Through Electrospinning
UTFPR	10 a 20	1	15 a 25	25	45	Caracterização e avaliação do comportamento termorresponsivo de fibras de Ecovio®/PNIPAAm eletrofiadas

Fonte: Autor (2024)

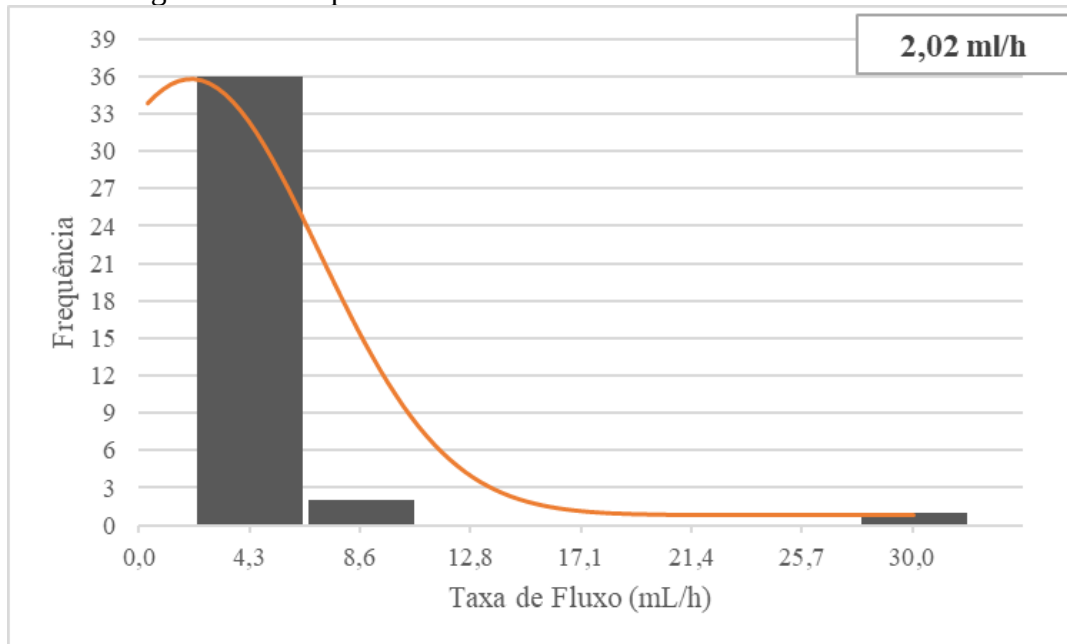
4.3.2 Taxa de Fluxo

A taxa de fluxo é um parâmetro essencial no processo de eletrofiação, pois determina a quantidade de solução polimérica fornecida durante a formação das fibras. Ela influencia diretamente a espessura, a uniformidade e a qualidade do material produzido.

Conforme apresentado na Figura 28, a maior parte dos estudos analisados utilizou taxas de fluxo próximas a 4,3 ml/h, enquanto a média geral foi de 2,02 ml/h. Isso mostra uma preferência por valores moderados, provavelmente porque esses fluxos oferecem maior estabilidade ao processo. Taxas muito baixas podem causar interrupções no fornecimento da solução, enquanto taxas muito altas podem formar gotas na ponta do capilar e prejudicar a uniformidade das fibras.

Além disso, taxas menores permitem mais tempo para a evaporação do solvente e a solidificação do polímero, o que favorece a formação de fibras mais finas e regulares. Em contrapartida, taxas mais altas exigem ajustes em outros parâmetros, como a distância de trabalho, para evitar problemas na qualidade do material.

Figura 28 – Frequência da taxa de fluxo nos estudos selecionados



Fonte: Autor (2024)

4.3.3 Distância de Trabalho

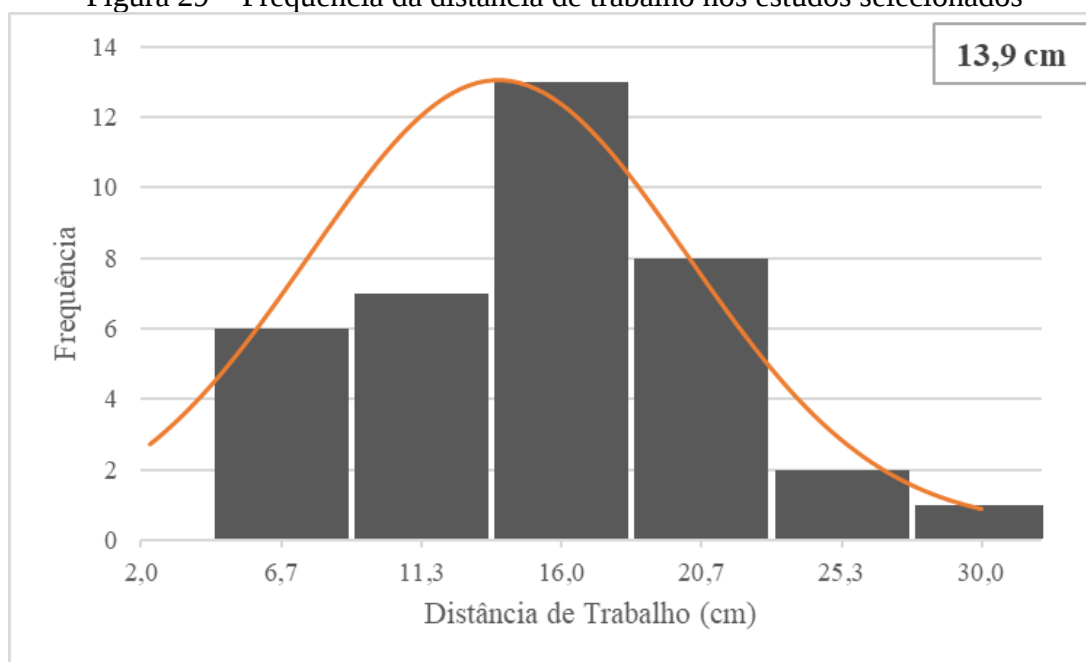
A distância de trabalho é um parâmetro importante na eletrofiação, pois ela influencia o tempo disponível para a evaporação do solvente e a solidificação do polímero, impactando

diretamente o diâmetro e a uniformidade das fibras. Distâncias maiores permitem uma melhor evaporação e formação de fibras mais finas, enquanto distâncias menores podem resultar em fibras mais grossas ou com gotas residuais devido à solidificação incompleta.

Observa-se a distribuição das distâncias de trabalho utilizadas nos estudos revisados (Figura 29). O intervalo mais frequente está próximo de 16 cm, enquanto a média geral das distâncias utilizadas foi de 13,9 cm. Isso indica que a maioria dos estudos adota valores intermediários, buscando equilíbrio entre a formação adequada das fibras e a eficiência do processo.

Distâncias muito curtas (<10 cm) podem gerar fibras grossas ou irregulares devido ao tempo insuficiente para a evaporação completa do solvente. Por outro lado, distâncias excessivamente longas (>25 cm) podem causar instabilidade no jato, prejudicando a precisão no depósito das fibras e aumentando as chances de desuniformidade. Assim, a escolha de valores próximos à média é estratégica para garantir fibras de qualidade e estabilidade no processo.

Figura 29 – Frequência da distância de trabalho nos estudos selecionados



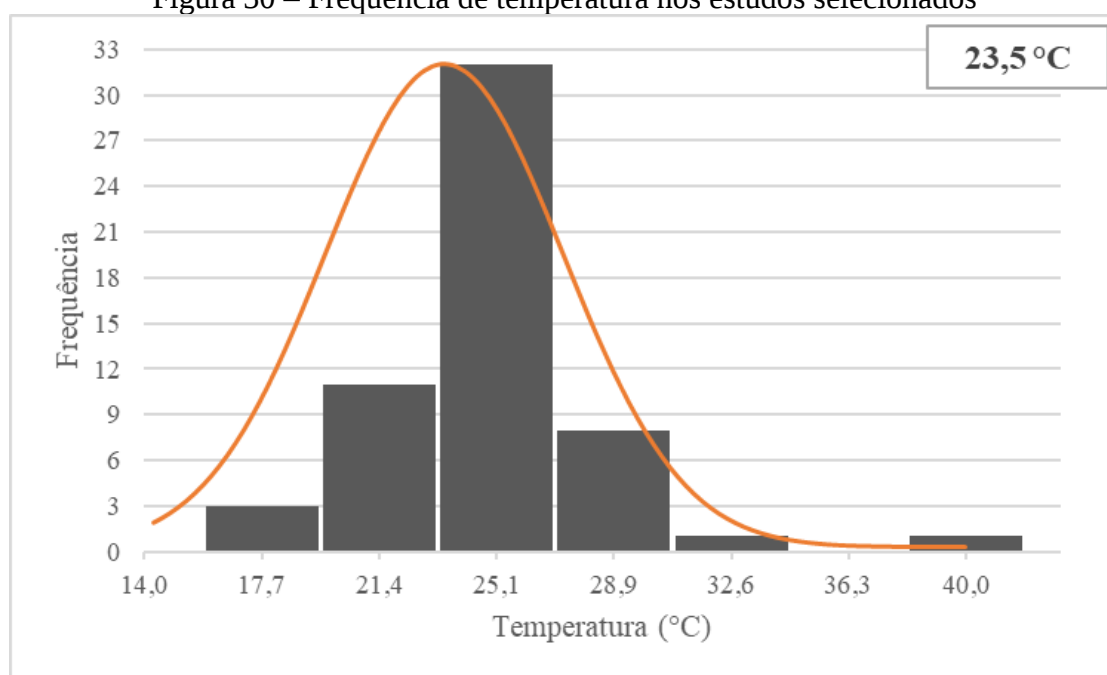
Fonte: Autor (2024)

4.3.4 Temperatura e Umidade Relativa

A temperatura e a umidade relativa do ambiente são parâmetros fundamentais no processo de eletrofiação, pois afetam a formação das fibras ao interagir com as propriedades físico-químicas da solução e o comportamento do jato em voo.

A figura 30 mostra que a maior frequência de temperaturas utilizadas está na faixa de 23,5 °C, enquanto os valores se concentram principalmente entre 21,4 °C e 25,1 °C. Temperaturas nessa faixa são ideais para manter o equilíbrio entre a viscosidade e a taxa de evaporação do solvente, permitindo a solidificação eficiente das fibras sem comprometer sua uniformidade. Temperaturas mais baixas podem aumentar a viscosidade da solução, dificultando o alongamento do jato e a formação de fibras finas. Por outro lado, temperaturas mais altas aumentam a taxa de evaporação do solvente, mas podem levar a instabilidades no processo, como a formação de fibras irregulares ou com defeitos.

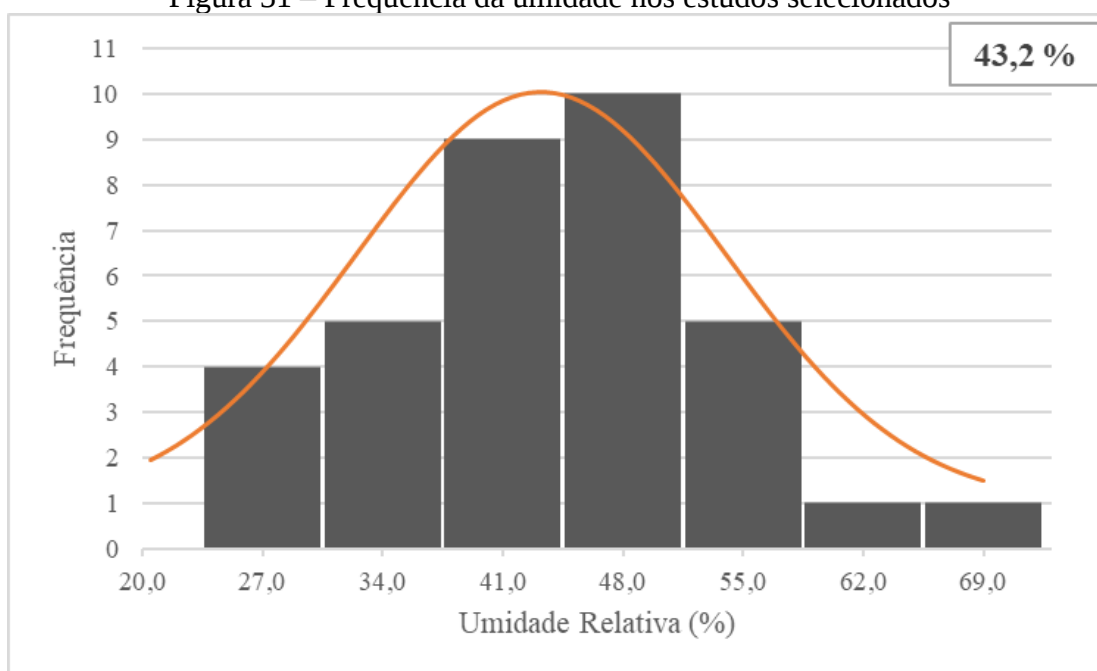
Figura 30 – Frequência de temperatura nos estudos selecionados



Fonte: Autor (2024)

Em relação à umidade relativa, a média identificada foi de 43,2%, com maior frequência na faixa de 41% a 48% (Figura 31), valores considerados intermediários e adequados para a eletrofiação. Umidades muito altas (>55%) podem gerar problemas como não uniformidade nas fibras e até a formação de estruturas porosas. Por outro lado, umidades muito baixas (<30%) podem provocar uma evaporação rápida do solvente, reduzindo o tempo de voo do jato e resultando em fibras mais espessas e menos controladas.

Figura 31 – Frequência da umidade nos estudos selecionados



Fonte: Autor (2024)

Os efeitos desses dois parâmetros são interdependentes. Por exemplo, uma temperatura elevada combinada com baixa umidade pode acelerar excessivamente a evaporação do solvente, comprometendo a formação das fibras. Já uma umidade elevada em conjunto com temperaturas mais baixas pode dificultar a distribuição de carga no jato, aumentando a possibilidade de formação de defeitos nas fibras. A faixa de temperatura ($\sim 23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) e de umidade relativa ($\sim 43,2\%$) identificada nos estudos analisados parece representar uma escolha equilibrada, otimizando o processo de eletrofiação para a produção de fibras uniformes e com propriedades desejadas.

5 CONCLUSÕES

Esta revisão sistemática revelou que os equipamentos de *electrospinning*, utilizados em pesquisas brasileiras no período de 2019 a 2024, apresentam características e configurações ajustadas às necessidades específicas de cada aplicação. A maioria dos estudos analisados utilizou fontes de alta tensão com capacidade entre 10 – 30 kV, bombas injetoras, destacando o modelo KD 100 como o mais utilizado, seringas de 3 – 5 ml, agulhas com calibres entre 0,5 – 1 mm e coletores majoritariamente planos, com presença de alguns rotativos. Os parâmetros operacionais mais frequentes incluíram tensões em torno de 21,8 kV, taxas de fluxo de 2,02 ml/h, distâncias de trabalho médias de 13,9 cm e condições ambientais controladas (temperatura média de 23,5 °C e umidade relativa de 43,2%).

A análise também destacou a concentração das pesquisas em instituições do Sudeste e Sul do Brasil, com São Paulo liderando em número de publicações, e a presença de estudos iniciais em outras regiões, indicando potencial de crescimento. As áreas mais relevantes de aplicação do *electrospinning* no Brasil incluem a Engenharia de Materiais, com foco na indústria alimentícia e saúde pública, além de sua utilização na Medicina, particularmente na Engenharia de Tecidos e Biotecnologia, com ênfase na liberação controlada de fármacos.

Este trabalho respondeu à pergunta de pesquisa ao identificar os tipos de equipamentos e os parâmetros operacionais mais utilizados, além de mapear a distribuição geográfica e institucional das publicações. Esses dados fornecem uma base sólida para os avanços futuros na aplicação e disseminação do *electrospinning* no Brasil.

REFERÊNCIAS

- AKSNES, D. W.; LANGFELDT, L.; WOUTERS, P. Citations, Citation Indicators, and Research Quality: An Overview of Basic Concepts and Theories. **SAGE Open**, v. 9, n. 1, 1 jan. 2019.
- ALGHORAIBI, I.; ALOMARI, S. Different Methods for Nanofiber Design and Fabrication. *Em: Handbook of Nanofibers*. **Springer International Publishing**, 2018. p. 1–46.
- AVILA, L. B.; FONTES, M. R. V.; ZAVAREZE, E. DA R.; MORAES, C. C.; MORAIS, M. M.; ROSA, G. S. DA. Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning. **Polymers**, v. 12, n. 12, p. 1–19, 1 dez. 2020.
- BACHS-HERRERA, A.; YOUSEFZADE, O.; VALLE, L. J. DEL; PUIGGALI, J. Melt electrospinning of polymers: Blends, nanocomposites, additives and applications *Applied Sciences (Switzerland)* **MDPI AG**, 2 fev. 2021.
- BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. **Biotechnology Advances**, v. 28, p. 325–347, 2010.
- BONFIM, D. P. F.; CRUZ, F. G. S.; BRETAS, R. E. S.; GUERRA, V. G.; AGUIAR, M. L. A sustainable recycling alternative: Electrospun pet-membranes for air nanofiltration. **Polymers**, v. 13, n. 7, 1 abr. 2021.
- BONFIM, D. P. F.; CRUZ, F. G. S.; GUERRA, V. G.; AGUIAR, M. L. Development of Filter Media by Electrospinning for Air Filtration of Nanoparticles from PET Bottles. **Membranes** 2021, Vol. 11, Page 293, v. 11, n. 4, p. 293, 19 abr. 2021.
- BORTOLASSI, A. C. C.; GUERRA, V. G.; AGUIAR, M. L.; SOUSSAN, L.; CORNU, D.; MIELE, P.; BECHELANY, M. Composites based on nanoparticle and pan electrospun nanofiber membranes for air filtration and bacterial removal. **Nanomaterials**, v. 9, n. 12, 1 dez. 2019.
- BRAMER, W. M.; RETHLEFSEN, M. L.; KLEIJNEN, J.; FRANCO, O. H. Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews: A prospective exploratory study. **Systematic Reviews**, v. 6, n. 1, 6 dez. 2017.
- CANTALICE, J. D. DE A.; JÚNIOR, E. G. M.; FREITAS, J. D. DE; SILVA, R. C. DA; FAEZ, R.; COSTA, L. M. M.; RIBEIRO, A. S. Polyaniline-based electrospun polycaprolactone nanofibers: preparation and characterization. **Polímeros**, v. 31, n. 1, p. e2021002, 10 maio 2021.
- CANUTO, L. T.; OLIVEIRA, A. A. S. DE. MÉTODOS DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NOS ESTUDOS CIENTÍFICOS. **Psicologia em Revista**, v. 26, n. 1, p. 83–102, 13 abr. 2020.
- CASTRO, K. C. DE; BURGA-SANCHEZ, J.; NOGUEIRA CAMPOS, M. G.; MEI, L. H. I. Water-based synthesis of photocrosslinked hyaluronic acid/polyvinyl alcohol membranes via electrospinning. **RSC Advances**, v. 10, n. 52, p. 31271–31279, 21 ago. 2020.

CLERICI, N. J.; VENCATO, A. A.; HELM JÚNIOR, R.; DAROIT, D. J.; BRANDELLI, A. Electrospun Poly- ϵ -Caprolactone Nanofibers Incorporating Keratin Hydrolysates as Innovative Antioxidant Scaffolds. **Pharmaceuticals** **2024**, Vol. 17, Page 1016, v. 17, n. 8, p. 1016, 1 ago. 2024.

CONTI, P. P.; SANTOS, D. M. DOS; GOLDTHORPE, I. A.; CORREA, D. S. TiO₂ Hollow Nanofiber/Polyaniline Nanocomposites for Ammonia Detection at Room Temperature. **ChemNanoMat**, v. 8, n. 8, p. e202200154, 1 ago. 2022.

CRUZ, E. P. DA; JANSEN, E. T.; FONSECA, L. M.; HACKBART, H. C. DOS S.; SIEBENEICHLER, T. J.; PIRES, J. B.; GANDRA, E. A.; ROMBALDI, C. V.; ZAVAREZE, E. DA R.; DIAS, A. R. G. Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning. **Food Chemistry**, v. 406, p. 134954, 16 abr. 2023.

DOGNANI, G.; SILVA, A. A. DA; CABRERA, F. C.; FAITA, F. L.; SAÉNZ, C. A. T.; BECHTOLD, I. H.; JOB, A. E.; AGOSTINI, D. L. DA S. Electrospun natural rubber fibers-based flexible conductive membranes. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 3, p. e-12816, 16 set. 2020.

FERREIRA NASCIMENTO, M. L.; SANTOS ARAÚJO, E.; CORDEIRO, E. R.; PEQUENO DE OLIVEIRA, A. H.; PEQUENO DE OLIVEIRA, H. A Literature Investigation about Electrospinning and Nanofibers: Historical Trends, Current Status and Future Challenges. **Nanotechnology** (Vol. 9).

FONSECA, L. M.; CRUXEN, C. E. DOS S.; BRUNI, G. P.; FIORENTINI, Â. M.; ZAVAREZE, E. DA R.; LIM, L. T.; DIAS, A. R. G. Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 1182–1190, 15 out. 2019.

FONSECA, L. M.; OLIVEIRA, J. P. DE; OLIVEIRA, P. D. DE; ROSA ZAVAREZE, E. DA; DIAS, A. R. G.; LIM, L. T. Electrospinning of native and anionic corn starch fibers with different amylose contents. **Food Research International**, v. 116, p. 1318–1326, 1 fev. 2019.

GOUVÊA, R. F.; ANDRADE, C. T. Development of Bilayer Polysaccharide-Based Films Combining Extrusion and Electrospinning for Active Food Packaging. **Polysaccharides**, v. 5, n. 2, p. 129–141, 1 jun. 2024.

GUELLIS, C.; ROSSIN, A. R. S.; BESSEGATO, G. G.; DRAGUNSKI, D. C.; BARICCATTI, R. A.; LINDINO, C. A. Incorporation of Fluorescent Dyes in Electrospun Chitosan/Poly(ethylene oxide). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 5, p. 1040–1050, 30 abr. 2021.

GUO, Y.; WANG, X.; SHEN, Y.; DONG, K.; SHEN, L.; ALZALAB, A. A. A. Research progress, models and simulation of electrospinning technology: a review. **Journal of Materials Science Springer**, 1 jan. 2022.

HIGGINS, J. P.; LASSERSON, T.; CHANDLER, J.; TOVEY, D.; CHURCHILL, R. Methodological Expectations of Cochrane Intervention Reviews. **Cochrane**, Londres, 2016.

HUANG, H.; SONG, Y.; ZHANG, Y.; LI, Y.; LI, J.; LU, X.; WANG, C. Electrospun Nanofibers: Current Progress and Applications in Food Systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 5, p. 1391–1409, 9 fev. 2022.

JIN, G.; LEE, S.; KIM, S. H.; KIM, M.; JANG, J. H. Bicomponent electrospinning to fabricate three-dimensional hydrogel-hybrid nanofibrous scaffolds with spatial fiber tortuosity. **Biomedical Microdevices**, v. 16, n. 6, p. 793–804, 30 out. 2014.

KEIROUZ, A.; WANG, Z.; REDDY, V. S.; NAGY, Z. K.; VASS, P.; BUZGO, M.; RAMAKRISHNA, S.; RADACSI, N. The History of Electrospinning: Past, Present, and Future Developments. **Advanced Materials Technologies**, v. 8, n. 11, p. 2201723, 1 jun. 2023.

LAME, G. Systematic literature reviews: An introduction Proceedings of the International Conference on Engineering Design, **ICED**. Cambridge University Press, 2019

MACHADO, R. C. L.; ALEXIS, F.; SOUSA, F. B. DE. Nanostructured and Photochromic Material for Environmental Detection of Metal Ions. **Molecules** **2019**, Vol. 24, Page 4243, v. 24, n. 23, p. 4243, 21 nov. 2019.

MARSI, T. C. O. *et al.* Electrospun Nanofibrous Poly (Lactic Acid)/Titanium Dioxide Nanocomposite Membranes for Cutaneous Scar Minimization. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, p. 490111, 20 dez. 2019.

MATA, G. C. DA; MORAIS, M. S.; OLIVEIRA, W. P. DE; AGUIAR, M. L. Composition Effects on the Morphology of PVA/Chitosan Electrospun Nanofibers. **Polymers**, v. 14, n. 22, p. 4856, 1 nov. 2022.

MEDINA, M. S.; RAMIREZ, B. N.; FERREIRA, P. M. G. L.; HUANG, H. P.; ZENATTI, A.; LANFREDI, A. J. C.; ESCOTE, M. T. Low oxygen pressure synthesis of NdNiO₃- δ nanowires by electrospinning. **Nano Express**, v. 1, n. 1, p. 010028, 30 abr. 2020.

MEI, L.; HAN, R.; GAO, Y.; FU, Y.; LIU, Y. Effect of electric field intensity on the morphology of magnetic-field-assisted electrospinning PVP nanofibers. **Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition**, v. 28, n. 6, p. 1107–1111, dez. 2013.

MELINE, T. T Selecting Studies for Systematic Review: Inclusion and Exclusion Criteria. **Contemporary Issues in Communication Science and Disorders**. v. 33. p. 21–27. 2006.

MENDES, L. G.; FERREIRA, F. V.; SIELSKI, M. S.; LIVI, S.; ROCCO, S. A.; SFORÇA, M. L.; BURGA-SÁNCHEZ, J.; VICENTE, C. P.; MEI, L. H. I. Electrospun Nanofibrous Architectures of Thrombin-Loaded Poly(ethylene oxide) for Fasterin VivoWound Clotting. **ACS Applied Bio Materials**, v. 4, n. 6, p. 5240–5250, 21 jun. 2021.

MERCANTE, L. A.; ANDRE, R. S.; MACEDO, J. B.; PAVINATTO, A.; CORREA, D. S. Electrospun nanofibers and their applications: advances in the last decade. **Nova Sociedade Brasileira de Química**, 2021.

MOHER, D. Optimal strategies to consider when peer reviewing a systematic review and meta-analysis. **BMC Medicine**, v. 13, n. 1, 2 nov. 2015.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. 1006–1012, 1 out. 2009.

MORAES SEGUNDO, J. DE D. P. DE *et al.* Virucidal PVP-Copper Salt Composites against Coronavirus Produced by Electrospinning and Electrospraying. **Polymers** 2022, Vol. 14, Page 4157, v. 14, n. 19, p. 4157, 4 out. 2022.

MORAIS, M. S.; BONFIM, D. P. F.; AGUIAR, M. L.; OLIVEIRA, W. P. Electrospun Poly (Vinyl Alcohol) Nanofibrous Mat Loaded with Green Propolis Extract, Chitosan and Nystatin as an Innovative Wound Dressing Material. **Journal of Pharmaceutical Innovation**, v. 18, n. 2, p. 704–718, 1 jun. 2023.

MORIKAWA, K.; VASHISTH, A.; GRIMME, C. J.; GREEN, M. J.; NARAGHI, M. Wire Melt Electrospinning of Thin Polymeric Fibers via Strong Electrostatic Field Gradients. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 304, n. 1, 1 jan. 2019.

NADAF, A.; GUPTA, A.; HASAN, N.; FAUZIYA, N.; AHMAD, S.; KESHARWANI, P.; AHMAD, F. J. Recent update on electrospinning and electrospun nanofibers: current trends and their applications. **RSC Advances**. Royal Society of Chemistry, 23 ago. 2022.

NIKMARAM, N.; ROOHINEJAD, S.; HASHEMI, S.; KOUBAA, M.; BARBA, F. J.; ABBASPOURRAD, A.; GREINER, R. Emulsion-based systems for fabrication of electrospun nanofibers: Food, pharmaceutical and biomedical applications. **RSC Advances**. Royal Society of Chemistry, 2017.

OMER, S.; FORGÁCH, L.; ZELKÓ, R.; SEBE, I. Scale-up of Electrospinning: Market Overview of Products and Devices for Pharmaceutical and Biomedical Purposes. **Pharmaceutics** 2021, Vol. 13, Page 286, v. 13, n. 2, p. 286, 22 fev. 2021.

PASCOALINO, L. A.; SOUZA, R. L. DE; MARQUES, N. D. N.; CURTI, P. S. Caracterização e avaliação do comportamento termorresponsivo de fibras de Ecovio®/ PNIPAAm eletrofiadas. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 3, p. e-12830, 16 set. 2020.

PIRES, J. B.; FONSECA, L. M.; SIEBENEICHLER, T. J.; CRIZEL, R. L.; SANTOS, F. N. DOS; HACKBART, H. C. DOS S.; KRINGEL, D. H.; MEINHART, A. D.; ZAVAREZE, E. DA R.; DIAS, A. R. G. Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 162, p. 112111, 1 dez. 2022.

REIS, K. P.; SPERLING, L. E.; TEIXEIRA, C.; SOMMER, L.; COLOMBO, M.; KOESTER, L. S.; PRANKE, P. VPA/PLGA microfibers produced by coaxial electrospinning for the treatment of central nervous system injury. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 53, n. 4, 2020.

RENEKER, D. H.; YARIN, A. L. Electrospinning jets and polymer nanofibers. **Polymer**, v. 49, n. 10, p. 2387–2425, 13 maio 2008.

SANTOS, A. L. DOS; HENRIQUE PEZZIN, S. Poly(vinyl alcohol) membranes produced by portable electrospinning device for in situ applications. **Polímeros**, v. 34, n. 3, p. e20240032, 7 out. 2024.

SANTOS, A. L. DOS; TOMAZ DUARTE, M. A.; PEZZIN, S. H.; SILVA, L.; DOMINGUES, J. A. Preparation of porous poly (lactic acid) fibers by medium field electrospinning for tissue engineering applications. **Materials Research**, v. 23, n. 2, 2020.

SANTOS, D. M. DOS; CHAGAS, P. A. M.; LEITE, I. S.; INADA, N. M.; ANNUNZIO, S. R. DE; FONTANA, C. R.; CAMPANA-FILHO, S. P.; CORREA, D. S. Core-sheath nanostructured chitosan-based nonwovens as a potential drug delivery system for periodontitis treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 142, p. 521–534, 1 jan. 2020.

SANTOS, T. I. D. DOS; SILVA DANTAS, A. C. DA; OLIVIER, N. C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, C.; SOUSA MOURA, J. A. DE. Production of PHB Scaffolds Reinforced with HAp Through Electrospinning. **Materials Research**, v. 27, p. e20230472, 15 abr. 2024.

SCHIEFFERDECKER, V. DE M.; BARRA, G. M. O.; RAMÔA, S. D. A. S.; MERLINI, C. Comparative Study of the Structure and Properties of Poly(Vinylidene Fluoride)/Montmorillonite-Polypyrrole Nanocomposites Prepared by Electrospinning and Solution Casting. **Frontiers in Materials**, v. 6, 13 ago. 2019.

SERRANO-GARCIA, W.; RAMAKRISHNA, S.; THOMAS, S. W. Electrospinning Technique for Fabrication of Coaxial Nanofibers of Semiconductive Polymers. **Polymers**, v. 14, n. 23, 1 dez. 2022.

SILVA, G. R. DA; LIMA, T. H.; FERNANDES-CUNHA, G. M.; ORÉFICE, R. L.; SILVA-CUNHA, A. DA; ZHAO, M.; BEHAR-COHEN, F. Ocular biocompatibility of dexamethasone acetate loaded poly(ϵ -caprolactone) nanofibers. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 142, p. 20–30, 1 set. 2019.

SILVA, J. A. S. G. DA; SILVA, W. R. DA; SILVA, A. N. R. DA; KÜNZEL, R.; BORTOLETO, J. R. R.; MELO, E. B. DE; ULSEN, C.; TRINDADE, N. M. Structural characterization of polymeric nanofibers of polyvinylidene fluoride (PVDF). **Polímeros**, v. 33, n. 1, p. e20230011, 29 maio 2023.

SIQUEIRA, L. DE; RIBEIRO, N.; PAREDES, M. B. A.; GRENHÔ, L.; CUNHA-REIS, C.; TRICHÊS, E. S.; FERNANDES, M. H.; SOUSA, S. R.; MONTEIRO, F. J. Influence of PLLA/PCL/HA scaffold fiber orientation on mechanical properties and osteoblast behavior. **Materials**, v. 12, n. 23, 1 dez. 2019.

STROUP, D. F.; BERLIN, J. A.; MORTON, S. C.; OLKIN, I.; WILLIAMSON, G. D.; RENNIE, D.; MOHER, D.; BECKER, B. J.; SIPE, T. A.; THACKER, S. B. Meta-analysis of Observational Studies in Epidemiology: **A Proposal for Reporting**. *JAMA*, v. 283, n. 15, p. 2008–2012, 19 abr. 2000.

SURESH, S.; BECKER, A.; GLASMACHER, B. Impact of Apparatus Orientation and Gravity in Electrospinning—A Review of Empirical Evidence. **Polymers** 2020, Vol. 12, Page 2448, v. 12, n. 11, p. 2448, 22 out. 2020.

TOPUZ, F.; UYAR, T. Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. **Food Research International**, v. 130, p. 108927, 1 abr. 2020.

TRINDADE, L. G. DA; ZANCHET, L.; BONSANTO, F. P.; BRAGA, A. R. C. Spinning a Sustainable Future: Electrospun Polysaccharide–Protein Fibers for Plant-Based Meat Innovation. **Foods** **2024**, Vol. 13, Page 2962, v. 13, n. 18, p. 2962, 19 set. 2024.

TUCKER, N.; STANGER, J. J.; STAIGER, M. P.; RAZZAQ, H.; HOFMAN, K. The History of the Science and Technology of Electrospinning from 1600 to 1995. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 7, n. 3, p. 63–73, 1 jun. 2012.

WAFFENSCHMIDT, S.; KNELANGEN, M.; SIEBEN, W.; BÜHN, S.; PIEPER, D. Single screening versus conventional double screening for study selection in systematic reviews: A methodological systematic review. **BMC Medical Research Methodology**, v. 19, n. 1, 28 jun. 2019.

XUE, J.; WU, T.; DAI, Y.; XIA, Y. Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. **Chemical reviews**, v. 119, n. 8, p. 5298, 4 abr. 2019.

YALCINKAYA, F. Preparation of various nanofiber layers using wire electrospinning system. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 5162–5172, 1 dez. 2019.

ZAWACKI-RICHTER, O.; KERRES, M.; BEDENLIER, S.; BOND, M.; BUNTINS EDS, K. Systematic Reviews in Educational Research. **Springer VS**. 2019.

ZHANG, Z. M.; DUAN, Y. S.; XU, Q.; ZHANG, B. A review on nanofiber fabrication with the effect of high-speed centrifugal force field. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 14, 1 jul. 2019.

ZHAO, K.; KANG, S. X.; YANG, Y. Y.; YU, D. G. Electrospun Functional Nanofiber Membrane for Antibiotic Removal in Water: Review. **Polymers** **2021**, Vol. 13, Page 226, v. 13, n. 2, p. 226, 11 jan. 2021.