

HIDROGEL DE ÁLCOOL POLIVINÍLICO COM POTENCIAL ANTIMICROBIANO: UMA REVISÃO

Hiléia Carvalho Barreto Bezerra^{1*}

Débora Kauanna Régis Da Luz²

Dany Geraldo Kramer³

Resumo

A *Escherichia coli* é uma bactéria Gram-negativa presente no trato intestinal humano, podendo causar infecções severas em suas cepas patogênicas. O avanço da resistência antimicrobiana tem reduzido a eficácia de antibióticos como o ciprofloxacino, demandando novas estratégias terapêuticas. Entre elas, destacam-se os hidrogéis poliméricos, especialmente os de poli(álcool vinílico) (PVA), capazes de promover liberação controlada de fármacos e minimizar efeitos adversos. Este trabalho objetivou realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de hidrogéis no tratamento de infecções por *E. coli*, buscando reduzir efeitos colaterais sistêmicos e a probabilidade de resistência bacteriana. A pesquisa utilizou PubMed, ScienceDirect e Periódicos Capes, selecionando cinco artigos relevantes. Os estudos indicam que a combinação de PVA com ciprofloxacino apresenta ótimo desempenho na liberação controlada, elevada eficácia antimicrobiana e boa biocompatibilidade. Essa associação surge como alternativa promissora para curativos, dispositivos biomédicos e terapias antimicrobianas localizadas.

Palavras-chave: *Escherichia coli*; Ciprofloxacino; Hidrogéis; Poli (álcool vinílico).

1 INTRODUÇÃO

As infecções bacterianas constituem um grave problema de saúde pública global, afetando milhões de pessoas e exigindo terapias cada vez mais complexas. Entre os microrganismos de maior importância clínica destaca-se a *Escherichia coli*, bactéria Gram-negativa da família

Enterobacteriaceae, amplamente conhecida por sua função comensal no trato intestinal, mas também por suas cepas patogênicas, responsáveis por infecções urinárias, gastrointestinais e sistêmicas. O avanço da resistência bacteriana representa um dos maiores desafios atuais. A *E. coli* multirresistente se destaca por sua ampla disseminação e pela capacidade de adquirir mecanismos que reduzem a eficácia de diversos antibióticos, incluindo fluoroquinolonas como o ciprofloxacino, contribuindo para quadros persistentes e recorrentes (Shariati et al., 2022).

As terapias tradicionais, com administração oral ou intravenosa de antibióticos, frequentemente causam efeitos colaterais sistêmicos e expõem tecidos saudáveis ao fármaco. Além disso, curativos convencionais apresentam limitações quanto à manutenção da umidade, proteção e liberação prolongada de agentes antimicrobianos. O ciprofloxacino, uma fluoroquinolona de amplo espectro, atua inibindo enzimas essenciais à replicação do DNA bacteriano. Entretanto, seu uso repetido tem gerado aumento da resistência microbiana e efeitos adversos significativos (Choipang et al., 2018; Thairin et al., 2022). Assim, torna-se fundamental desenvolver sistemas capazes de promover liberação controlada e localizada do fármaco, elevando a eficácia terapêutica e reduzindo a toxicidade sistêmica.

Hidrogéis poliméricos têm ganhado destaque devido à elevada capacidade de absorção de água, biocompatibilidade e flexibilidade. Esses materiais permitem incorporar e liberar agentes terapêuticos de forma controlada, sendo vantajosos em aplicações tópicas e implantáveis (Raina et al., 2022). Entre os polímeros utilizados, o PVA se destaca pela excelente biocompatibilidade e pela possibilidade de ajustar suas propriedades mecânicas. Estudos mostram que hidrogéis com ciprofloxacino apresentam atividade antimicrobiana significativa frente a *E. coli* e *Staphylococcus aureus*, prolongando a ação do fármaco e reduzindo a necessidade de reaplicações (Choipang et al., 2018; Greene et al., 2023; Raina et al., 2022). Assim, objetivou-se realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de hidrogéis no tratamento de infecções por *E. coli*.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente estudo é uma revisão bibliográfica descritiva, baseada na coleta, análise e síntese de informações científicas já publicadas, sem realização de experimentos. Esse tipo de revisão permite compreender o conhecimento existente, apontar avanços, limitações e tendências sobre o tema.

A pesquisa foi realizada nas bases PubMed, ScienceDirect e Periódicos Capes, utilizando descritores relacionados a *Escherichia coli*, ciprofloxacino, hidrogéis, poli(álcool vinílico) e liberação controlada, com foco em estudos experimentais e revisões sistemáticas sobre hidrogéis de PVA com atividade antibacteriana.

A análise dos artigos considerou técnicas de síntese, eficiência na liberação do fármaco e resultados antimicrobianos. Como critério temporal, foram selecionadas publicações entre 2015 e 2024, garantindo a inclusão de estudos atuais e relevantes.

2.2 Revisão da literatura

A. Hidrogéis de PVA (Poli álcool Vinílico)

Entre os materiais mais utilizados para a produção de hidrogéis, o poli(álcool vinílico) (PVA) destaca-se por sua biocompatibilidade, estabilidade mecânica e facilidade de processamento (Greene et al., 2023). O PVA pode formar redes físicas ou químicas por métodos como congelamento-descongelamento ou reticulação, o que permite controlar a porosidade e as propriedades de difusão do material. Quando combinado com agentes antimicrobianos, como o ciprofloxacino, o PVA atua como uma matriz eficiente de liberação controlada, promovendo ação local prolongada e evitando picos de concentração sistêmica. Pesquisas recentes mostram que hidrogéis de PVA com antibióticos apresentam desempenho promissor em cicatrização de feridas e prevenção de infecções bacterianas (Choipang et al., 2018; Greene et al., 2023).

B. Hidrogéis: propriedades e aplicações biomédicas

Os hidrogéis são redes tridimensionais formadas por polímeros hidrofílicos capazes de absorver grandes quantidades de água, sem perder a integridade estrutural. Essa característica confere aos hidrogéis alta biocompatibilidade e capacidade de imitar o ambiente biológico, tornando-os ideais para uso em sistemas de liberação de fármacos, engenharia de tecidos e curativos inteligentes (Raina et al., 2022). Além disso, sua estrutura pode ser ajustada para controlar a taxa de liberação de agentes terapêuticos, o que é particularmente relevante no tratamento de infecções bacterianas crônicas. A liberação sustentada reduz a frequência de administração e melhora a adesão do paciente ao tratamento.

C. *Escherichia coli* e relevância médica

A bactéria *Escherichia coli*, um microrganismo Gram-negativo da família Enterobacteriaceae, habita normalmente o intestino humano, mas algumas cepas podem causar doenças. Embora a maioria das cepas seja comensal e participe da manutenção da microbiota intestinal, variantes patogênicas podem causar doenças severas, como infecções do trato urinário, gastroenterites, septicemias e infecções hospitalares. Nos últimos anos, cepas de *E. coli* resistentes a múltiplas classes de antibióticos, especialmente fluoroquinolonas, têm se tornado um desafio clínico significativo, reduzindo a eficácia de terapias convencionais (Shariati et al., 2022). Esse panorama reforça a necessidade de novas abordagens terapêuticas que permitam controlar o crescimento bacteriano sem favorecer o desenvolvimento de resistência.

D. Ciprofloxacino: mecanismo de ação e limitações clínicas

O ciprofloxacino é uma fluoroquinolona de amplo espectro amplamente utilizada contra infecções bacterianas causadas por patógenos Gram-negativos, incluindo *E. coli*. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição das enzimas DNA girase e topoisomerase IV, essenciais para os processos de replicação e transcrição do DNA bacteriano, levando à morte celular (Shariati et al., 2022). No entanto, o uso prolongado ou inadequado do

ciprofloxacino pode resultar em mutações nos genes que codificam essas enzimas, promovendo resistência e reduzindo a eficácia do tratamento. Além disso, a administração sistêmica pode causar efeitos adversos e danos colaterais, justificando o desenvolvimento de formulações que proporcionem uma liberação controlada e localizada do fármaco (Thairin et al., 2022). A seguir, apresenta-se a Figura 1, que demonstra o comportamento de liberação do antibiótico no sistema proposto.

E. Sistemas de liberação controlada de fármacos

Os sistemas de liberação controlada (drug delivery systems) têm revolucionado a terapêutica moderna ao permitir que a dose certa de medicamento seja entregue no local e tempo adequados. Essa abordagem reduz efeitos adversos, melhora a eficácia terapêutica e diminui a probabilidade de resistência bacteriana (Raina et al., 2022). No caso de antibióticos como o ciprofloxacino, a liberação controlada por hidrogéis de PVA permite que o fármaco atue diretamente na região infectada, mantendo concentrações locais efetivas por longos períodos. Essa estratégia tem se mostrado especialmente útil em curativos antimicrobianos e dispositivos implantáveis com ação prolongada (Thairin et al., 2022; Choipang et al., 2018).

F. Discussão

Os hidrogéis produzidos a partir do poli álcool vinílico (PVA) incorporados com ciprofloxacino demonstraram propriedades adequadas para o uso como sistemas de liberação controlada de fármacos. Segundo a literatura, esses materiais formam redes poliméricas tridimensionais capazes de reter grandes quantidades de água sem comprometer sua integridade estrutural, o que lhes confere elevada biocompatibilidade e similaridade com os tecidos biológicos (Raina et al., 2022). Essa característica torna os hidrogéis particularmente úteis em aplicações médicas, como curativos e sistemas de liberação de medicamentos, pois contribui para manter o meio úmido, favorecendo o processo de cicatrização e a liberação controlada do agente terapêutico. Nos experimentos realizados, as amostras de PVA apresentaram boa estabilidade física e alta capacidade de absorção de água,

demonstrando sua eficiência como suporte polimérico para a incorporação do antibiótico.

A introdução do ciprofloxacino nas formulações não provocou alterações relevantes na estrutura do hidrogel, conforme indicado pelas análises de caracterização. Esses resultados sugerem uma distribuição uniforme do fármaco na matriz polimérica, comportamento semelhante ao descrito por Choipang et al. (2018). O perfil de liberação observado revelou uma etapa inicial de liberação mais rápida, seguida por uma fase prolongada de liberação sustentada, o que é considerado ideal para manter níveis terapêuticos adequados do antibiótico no local de aplicação por períodos mais longos (Raina et al., 2022). Esse mecanismo contribui para reduzir a frequência de reaplicações e diminuir possíveis efeitos adversos decorrentes da administração sistêmica do medicamento.

Sob o aspecto terapêutico, a associação entre o PVA e o ciprofloxacino mostrou resultados promissores, visto que os hidrogéis funcionaram como sistemas responsivos capazes de liberar o antibiótico de forma gradual, preservando sua atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*, conforme verificado nos ensaios de difusão em ágar. Esses achados reforçam as observações de Greene et al. (2023), que ressaltam o potencial dos hidrogéis de PVA para o desenvolvimento de curativos bioativos com propriedades mecânicas ajustáveis e controle preciso da liberação de agentes terapêuticos. Assim, os hidrogéis desenvolvidos configuram-se como alternativas eficazes e seguras para o tratamento de infecções bacterianas, unindo a versatilidade estrutural do PVA à ação antimicrobiana do ciprofloxacino e contribuindo para o avanço de estratégias inovadoras no enfrentamento da resistência microbiana. A Tabela 1 a seguir resume os principais resultados dos artigos utilizados como referência neste trabalho.

De modo geral, os estudos apresentados reforçam o potencial dos hidrogéis de PVA como sistemas eficientes de liberação controlada de ciprofloxacino, combinando alta biocompatibilidade, estabilidade estrutural e ação antimicrobiana prolongada. As evidências da literatura confirmam que a incorporação do fármaco em matrizes poliméricas possibilita uma

liberação gradual e localizada, reduzindo os efeitos adversos sistêmicos e o risco de resistência bacteriana. Assim, os resultados discutidos neste trabalho demonstram que o desenvolvimento de hidrogéis de PVA representa uma alternativa promissora e inovadora para o tratamento de infecções causadas por *Escherichia coli*, contribuindo para o avanço de novas tecnologias terapêuticas mais seguras e eficazes.

Comparando-se aos curativos convencionais, os hidrogéis de PVA demonstram vantagens evidentes, como liberação controlada, melhor aderência, umidade adequada e biocompatibilidade, conforme relatado por Greene et al. (2023) e Choipang et al. (2018).

3 CONCLUSÃO

Com base na literatura revisada, conclui-se que os hidrogéis de poli (álcool vinílico) com ciprofloxacino representam uma alternativa inovadora e promissora no tratamento de infecções bacterianas causadas por *Escherichia coli*. Sua capacidade de liberar o antibiótico de forma sustentada e localizada possibilita maior eficácia terapêutica, redução de efeitos colaterais e menor risco de resistência microbiana. Os resultados esperados deste estudo podem contribuir para o avanço de tecnologias em curativos antimicrobianos e sistemas de liberação controlada, promovendo maior segurança e eficiência nos tratamentos clínicos.

AGRADECIMENTOS: PROPESQ/UFRN E CNPQ pelo financiamento de bolsas.

REFERÊNCIAS

Choipang, C., et al. (2018). Hydrogel wound dressings loaded with PLGA/ciprofloxacin for controlled release. *European Polymer Journal*, 105, 286–296.

Greene, C., et al. (2023). Antimicrobial PVA hydrogels with tunable mechanical properties. *Biomaterials Science*, 11(4), 1508–1521.

Raina, N., Pandey, A., Dey, N., et al. (2022). Drug delivery strategies and biomedical significance of hydrogels. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 3120.

Sarita, A., Karam, M., Movahed, Z., et al. (2022). The resistance mechanisms of bacteria against ciprofloxacin. *Journal of Infection and Public Health*, 15(5), 546–554.

Thairin, T., et al. (2022). Ciprofloxacin-loaded alginate/PVA/gelatin electrospun mats: preparation and antibacterial evaluation. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(9), e51766.

Sobre o(s) autor(es)

¹Discente da Graduação em Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte.
¹Discente da Graduação em Biomedicina, Faculdade Estácio. Natal. Rio Grande do Norte. Brasil.

E-mail: hileia.barreto.010@ufrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9753-8529>

²Discente de Mestrado em Engenharia Têxtil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. Rio Grande do Norte. Brasil. E-mail: debora.luz.703@ufrn.edu.br

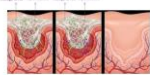
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6641-0431>

³Prof. Dr. Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte. Natal. Rio Grande do Norte. Brasil.

E-mail: dgkcs@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6574-6709>

Figura 1: Esquema das fases de liberação do Ciprofloxacino por hidrogel de Álcool Polivinílico (PVA) e o processo de cicatrização de ferimentos.



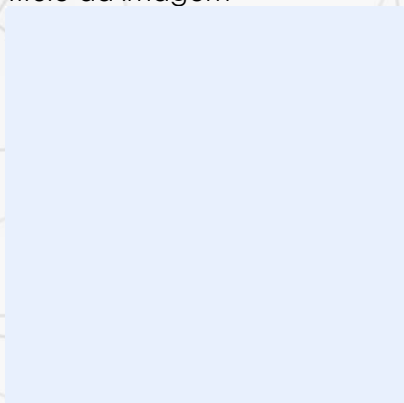
Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 – Principais resultados dos artigos utilizados como referência

Autor (Ano)	Título / Foco do Estudo	Principais Achados	Relevância e Conclusões
Shariati et al. (2022)	Os mecanismos de resistência bacteriana ao ciprofloxacino	Identificou os principais mecanismos de resistência bacteriana, especificamente mutações nas enzimas DNA girase e topoisomerase IV em <i>Enterobacter coli</i>	Fundamental importância de novos estudos terapêuticos às superar resistência ciprofloxacino.
Choi et al. (2018)	Características de hidrogel carregado com curatino para liberação controlada	Desenvolvimento de curatino com liberação lenta e controlada de ciprofloxacino, demonstrando boa aderência, biocompatibilidade e antimicrobiana	Importante formulação de hidrogel de curatino com ciprofloxacino para curar antimicrobiano local controlada.
Raina et al. (2022)	Estratégias de administração de medicamentos e liberação controlada em hidrogéis	Revisão de diferentes sistemas de liberação de fármacos, destacando os hidrogéis como sistemas versáteis, biocompatíveis e ajustáveis quanto à liberação de medicamentos	Fundamental o sistema de hidrogel de liberação controlada de fármacos, especialmente antimicrobianos.
Greene et al. (2023)	Hidrogéis de PVA antimicrobianos com propriedades mecânicas ajustáveis	Desenvolvimento de hidrogéis de PVA com propriedades mecânicas ajustáveis e ação antimicrobiana eficaz, reforçando o conceito de materiais inteligentes.	Comprova a importância de hidrogéis de PVA como materiais inteligentes para liberar antimicrobianos e melhorar a eficácia terapêutica.

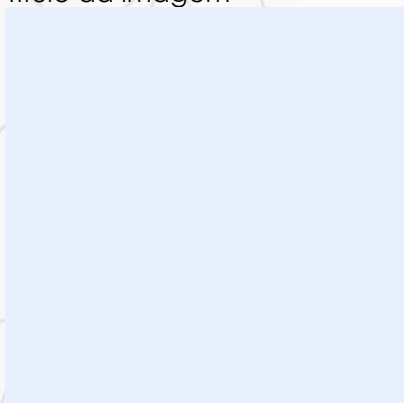
Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor.

Título da imagem



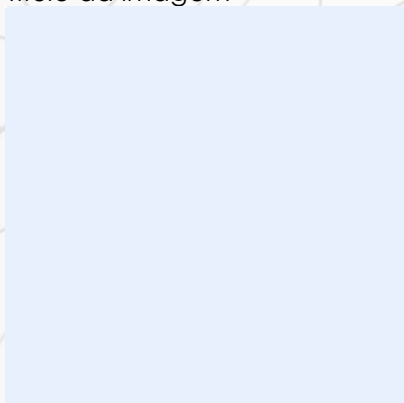
Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem

Título da imagem



Fonte: Fonte da imagem