

## CAPÍTULO 9

# BANCO DE ÓRGÃOS E TECIDOS: O PAPEL DA CRIOPRESERVAÇÃO NO ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO EM TRANSPLANTES



<https://doi.org/10.22533/at.ed.767142518039>

*Data de aceite: 01/03/2025*

### **Laura Santana Rangel dos Santos**

Centro universitário de Mineiros  
Campus Trindade, Goiânia

### **Lorenzo Fogaça Benedet**

Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Criciúma, Santa Catarina

### **Maria Luiza Cichella Maccarini**

Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Criciúma, Santa Catarina

### **Henrique Cassol de Oliveira**

Centro universitário da Fundação Assis  
Gurgacz  
Cascavel, Paraná

### **Cleriane Hellmann**

Centro Universitário Integrado  
Campo Mourão, Paraná

### **Ana Carolina de Moura Konig**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
São Leopoldo, Rio Grande do Sul

### **Ruan Gabriel do Amaral Barros**

Universidade da Amazônia  
Belém, Pará

### **Bruna Nunes Mendes**

Faculdade Nova Esperança  
João Pessoa, Paraíba

### **Raissa Vivian**

Centro Universitário de Pato Branco  
Pato Branco, Paraná

### **Evelyn Kloster Mazur**

Faculdade Evangélica Mackenzie do  
Paraná  
Curitiba, Paraná

**RESUMO:** A criopreservação, técnica que permite o armazenamento de tecidos e órgãos a temperaturas criogênicas, tem se mostrado indispensável no avanço da medicina regenerativa, transplantes e pesquisa biomédica. Esse processo preserva a viabilidade celular e a integridade estrutural por longos períodos, consolidando-se como pilar na funcionalidade dos biobancos, que são fundamentais para atender às demandas crescentes por amostras biológicas de alta qualidade. Este artigo revisa de forma abrangente os princípios teóricos e técnicos da criopreservação, explorando suas aplicações no armazenamento de tecidos e órgãos complexos, bem como as limitações associadas, como a toxicidade dos crioprotetores e os danos estruturais causados pela formação de cristais de gelo. Adicionalmente, são discutidos

avanços emergentes, como o uso de nanopartículas e a integração da inteligência artificial para otimização de protocolos. Apesar dos desafios técnicos e logísticos ainda existentes, as perspectivas futuras indicam que a criopreservação continuará a desempenhar papel transformador na ampliação da disponibilidade de tecidos e órgãos para uso clínico e experimental. O artigo enfatiza a importância do desenvolvimento contínuo de tecnologias e a colaboração global para superar as barreiras atuais, fortalecendo a capacidade dos biobancos de atender às necessidades da medicina contemporânea e futura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Criopreservação; Biobancos; Armazenamento de órgãos; Transplantes.

## ORGAN AND TISSUE BANKING: THE ROLE OF CRYOPRESERVATION IN STORAGE AND USE IN TRANSPLANTS

**ABSTRACT:** Cryopreservation, a technique that allows the storage of tissues and organs at cryogenic temperatures, has proven to be indispensable in the advancement of regenerative medicine, transplantation, and biomedical research. This process preserves cell viability and structural integrity for long periods, consolidating itself as a pillar in the functionality of biobanks, which are essential to meet the growing demand for high-quality biological samples. This article comprehensively reviews the theoretical and technical principles of cryopreservation, exploring its applications in the storage of complex tissues and organs, as well as the associated limitations, such as the toxicity of cryoprotectants and the structural damage caused by the formation of ice crystals. Additionally, emerging advances are discussed, such as the use of nanoparticles and the integration of artificial intelligence for protocol optimization. Despite the still existing technical and logistical challenges, future prospects indicate that cryopreservation will continue to play a transformative role in expanding the availability of tissues and organs for clinical and experimental use. The article emphasizes the importance of continued technology development and global collaboration to overcome current barriers, strengthening the ability of biobanks to meet the needs of contemporary and future medicine.

**KEYWORDS:** Cryopreservation; Biobanks; Organ storage; Transplants.

## INTRODUÇÃO

O aumento global na demanda por transplantes de órgãos e a expansão de terapias baseadas em tecidos destacam a necessidade de estratégias avançadas para o armazenamento e conservação de materiais biológicos. O avanço das técnicas de criopreservação tornou possível preservar a viabilidade celular e a integridade estrutural de tecidos e órgãos por períodos prolongados, desempenhando um papel central na medicina moderna e na pesquisa biomédica. Essa tecnologia, amplamente utilizada em biobancos, assegura o acesso a recursos biológicos armazenados em condições controladas, promovendo tanto o atendimento a necessidades clínicas quanto o progresso científico (Whaley *et al.*, 2021).

Os biobancos são instituições especializadas na coleta, processamento, armazenamento e distribuição de amostras biológicas para diferentes finalidades. Esses repositórios têm se tornado indispensáveis no suporte às áreas de transplantes, medicina

regenerativa e pesquisa genética. No entanto, a manutenção da funcionalidade das amostras armazenadas depende diretamente de protocolos rigorosos de conservação. A criopreservação destaca-se como uma abordagem tecnológica promissora para a superação dos desafios impostos pela complexidade biológica das amostras, permitindo sua utilização em condições terapêuticas e experimentais (Rivera-Alcántara et al., 2024).

O armazenamento eficiente de tecidos e órgãos complexos apresenta desafios significativos, relacionados à heterogeneidade estrutural e às diferenças nas necessidades metabólicas das amostras. Embora tecidos menos complexos, como pele, córneas e tecido adiposo, sejam frequentemente criopreservados com sucesso, órgãos inteiros, como rins, fígados e corações, ainda representam um campo de pesquisa emergente. A superação dessas barreiras é essencial para ampliar as possibilidades terapêuticas e otimizar a utilização dos recursos disponíveis nos biobancos (Parihar et al., 2023).

Dado o impacto da criopreservação no campo biomédico, torna-se imprescindível revisar os fundamentos, os avanços tecnológicos e os desafios associados a essa técnica. Este artigo busca apresentar uma análise abrangente sobre a aplicação da criopreservação no armazenamento de órgãos e tecidos, destacando sua relevância no contexto clínico e científico, bem como explorando as perspectivas futuras dessa tecnologia no suporte às crescentes demandas da medicina moderna.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada para a elaboração deste artigo consistiu em uma revisão narrativa com foco em literatura científica recente e consolidada sobre a criopreservação de tecidos e órgãos, destacando sua aplicação em biobancos e sua relevância para transplantes e pesquisas biomédicas. Inicialmente, realizou-se a seleção das bases de dados utilizadas para a coleta de informações, incluindo plataformas de acesso acadêmico reconhecidas internacionalmente, como PubMed, Scopus e Web of Science. Esses repositórios foram escolhidos pela ampla disponibilidade de artigos revisados por pares e pela abrangência de suas coleções, cobrindo as áreas de biomedicina, biotecnologia e ciências biomoleculares. Os critérios de busca foram definidos para garantir que os estudos mais relevantes fossem incluídos, priorizando artigos publicados nos cinco dez anos, a fim de refletir os avanços tecnológicos mais recentes.

Para a seleção dos artigos, foram utilizados descritores específicos e combinados, como “cryopreservation,” “organ and tissue banking,” “biobanks,” “transplantation,” e “storage techniques.” Esses termos foram aplicados isoladamente e em combinações, utilizando operadores booleanos, como AND, OR e NOT, para refinar os resultados. Foram excluídas publicações de caráter opinativo, estudos com amostras insuficientes ou aqueles cuja metodologia apresentasse inconsistências ou limitações metodológicas explícitas.

Após a coleta inicial, os artigos selecionados foram submetidos a um processo de análise crítica e sistemática, com a leitura detalhada de seus resumos e, posteriormente, do texto completo. Esse procedimento permitiu a identificação dos principais tópicos de interesse, como os fundamentos teóricos da criopreservação, avanços técnicos, aplicações clínicas e desafios associados à preservação de órgãos e tecidos. As informações extraídas dos artigos foram organizadas em uma matriz de análise, categorizando os dados conforme sua relevância e sua aplicabilidade no contexto dos biobancos.

A confiabilidade dos estudos incluídos foi avaliada com base em critérios como rigor metodológico, clareza na descrição dos procedimentos, validação dos resultados e impacto das publicações, considerando o número de citações e o fator de impacto dos periódicos em que os trabalhos foram publicados. Quando possível, foi dada prioridade a revisões sistemáticas, meta-análises e estudos experimentais bem delineados, que oferecessem evidências robustas e replicáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA CRIOPRESERVAÇÃO

A criopreservação é uma tecnologia que visa preservar a viabilidade celular e a integridade estrutural de tecidos e órgãos por meio do resfriamento controlado a temperaturas criogênicas. Esse processo é amplamente utilizado em biobancos, sendo essencial para a conservação de amostras biológicas destinadas a transplantes, pesquisas biomédicas e terapias regenerativas. A criopreservação tem capacidade de minimizar ou interromper as atividades metabólicas celulares a temperaturas extremamente baixas, reduzindo significativamente os danos associados ao tempo de armazenamento (Bojic et al., 2021).

O processo de criopreservação depende do controle rigoroso das condições de resfriamento e descongelamento, uma vez que variações térmicas podem causar danos irreparáveis às células. Durante o resfriamento, a principal ameaça à viabilidade celular é a formação de cristais de gelo intracelulares, que podem romper as membranas celulares e comprometer a funcionalidade das organelas. Para mitigar esse risco, são utilizados agentes crioprotetores, como o dimetilsulfóxido (DMSO) e a glicerina, que reduzem a formação de cristais de gelo ao substituir parte da água intracelular e estabilizar a estrutura celular durante a redução da temperatura (William; Acker, 2021).

Dois métodos principais de criopreservação são amplamente empregados: o congelamento lento e a vitrificação. No congelamento lento, a taxa de resfriamento é cuidadosamente controlada para permitir a desidratação celular gradual, reduzindo o volume de água intracelular e, consequentemente, a formação de gelo. Esse método é particularmente eficaz para células isoladas e pequenos fragmentos de tecido. Por outro

lado, a vitrificação envolve o resfriamento ultrarrápido da amostra na presença de altas concentrações de crioprotetores, resultando na solidificação do líquido intracelular em uma matriz vítreia sem formação de cristais de gelo. A vitrificação tem mostrado potencial significativo na preservação de estruturas mais complexas, embora os altos níveis de crioprotetores necessários possam ser tóxicos para as células. (Fahy; Wowk, 2021).

Outro aspecto importante da criopreservação é a manipulação do ambiente químico ao qual a amostra está exposta. O pH, a osmolaridade e a composição do meio de conservação desempenham papéis fundamentais na preservação da viabilidade celular. Protocolos otimizados frequentemente incluem soluções tamponadas e suplementos antioxidantes para proteger as células contra danos oxidativos e alterações no equilíbrio iônico durante o armazenamento e o descongelamento. A descongelação é um estágio crítico do processo de criopreservação e requer atenção específica. O reaquecimento rápido é geralmente recomendado para evitar a recristalização de gelo, que pode ocorrer quando o aquecimento é muito lento. A remoção dos crioprotetores deve ser feita de forma gradual para evitar danos osmóticos, uma vez que a exposição súbita a um ambiente livre de crioprotetores pode causar ruptura celular devido ao influxo ou efluxo abrupto de água (Chen et al., 2023).

## APLICAÇÕES NOS BIOBANCOS

A criopreservação de tecidos é amplamente utilizada em biobancos devido à relativa simplicidade estrutural de muitas dessas amostras. Tecidos como pele, córneas e tecido adiposo têm protocolos bem estabelecidos que permitem sua conservação por períodos prolongados, preservando suas propriedades biológicas essenciais. A pele criopreservada, por exemplo, é amplamente empregada em enxertos para pacientes com queimaduras extensas, enquanto as córneas são utilizadas em transplantes que visam restaurar a visão de pacientes com doenças oculares graves. Adicionalmente, a conservação de tecido adiposo tem ampliado sua relevância na medicina regenerativa, sendo usado para enxertos autólogos e terapias celulares (Bledsoe; Gao, 2023).

O armazenamento de órgãos inteiros representa um desafio mais complexo e, ao mesmo tempo, um objetivo promissor para os biobancos. Órgãos como rins, fígados e corações demandam abordagens específicas devido à sua estrutura tridimensional complexa e às suas necessidades metabólicas. Embora a criopreservação desses órgãos ainda esteja em estágio experimental, técnicas híbridas têm sido exploradas para superar as limitações atuais. A combinação de criopreservação com perfusão normotérmica, por exemplo, permite manter o metabolismo celular em níveis mínimos enquanto a estrutura do órgão é preservada em condições fisiológicas controladas (Solodovnikov et al., 2024).

Os biobancos também têm se destacado na conservação de amostras biológicas para pesquisa. Tecidos tumorais, células-tronco e amostras genéticas são frequentemente armazenados para estudos que visam compreender os mecanismos moleculares de doenças e desenvolver novas terapias. A criopreservação é essencial nesse contexto, pois garante a estabilidade dessas amostras e permite sua utilização em estudos retrospectivos ou prospectivos, contribuindo para a geração de conhecimento científico e a inovação tecnológica (Parihar et al., 2023).

O impacto da criopreservação no funcionamento dos biobancos também se estende à redução do desperdício de recursos biológicos. Ao possibilitar o armazenamento seguro e prolongado de amostras que seriam inutilizadas em condições normais, a criopreservação optimiza a utilização de materiais valiosos e contribui para a sustentabilidade das atividades de pesquisa e atendimento clínico. Essa abordagem é particularmente relevante em um cenário de crescente demanda por transplantes e terapias baseadas em tecidos, onde a disponibilidade limitada de recursos é um fator crítico (Khaydukova et al., 2024).

## ARMAZENAMENTO DE TECIDOS

Diferentemente dos órgãos complexos, os tecidos possuem uma estrutura menos elaborada, o que facilita sua preservação e transporte. A criopreservação permite manter a viabilidade celular e as propriedades biológicas dos tecidos por períodos prolongados, ampliando seu uso em transplantes, enxertos e medicina regenerativa (Saare et al., 2024).

A pele é um dos tecidos mais frequentemente criopreservados, com aplicações que incluem enxertos para o tratamento de queimaduras graves, lesões traumáticas e condições dermatológicas crônicas. Protocolos de criopreservação da pele geralmente utilizam agentes crioprotetores, como o dimetilsulfóxido (DMSO), combinados com taxas controladas de resfriamento para prevenir danos estruturais e preservar a funcionalidade das camadas epidérmica e dérmica. A pele criopreservada pode ser armazenada por vários meses sem perda significativa de sua capacidade de promover a cicatrização de feridas (Liu et al., 2024).

As córneas são outro exemplo de tecido amplamente armazenado em biobancos, desempenhando um papel essencial nos transplantes oculares. A preservação adequada da córnea é indispensável para manter sua transparência e propriedades biomecânicas, necessárias para restabelecer a visão em pacientes com doenças corneanas ou lesões traumáticas. Os métodos de criopreservação da córnea utilizam combinações de crioprotetores e técnicas de vitrificação para minimizar os danos celulares durante o congelamento e o descongelamento (Zhang et al., 2024).

O tecido adiposo, amplamente utilizado em procedimentos de medicina regenerativa e estética, também é armazenado em biobancos mediante protocolos específicos de criopreservação. Esse tecido é uma fonte rica de células-tronco mesenquimais, que

possuem potencial terapêutico em diversas condições, incluindo doenças inflamatórias, regeneração de tecidos e terapias imunológicas. A criopreservação do tecido adiposo requer estratégias que preservem não apenas as células-tronco, mas também a matriz extracelular, que desempenha um papel fundamental na regeneração e integração dos enxertos (Deng et al., 2025).

Outros tecidos, como cartilagem e vasos sanguíneos, também têm sido criopreservados com sucesso para uso em transplantes e pesquisas. A cartilagem é utilizada em reconstruções articulares e faciais, enquanto vasos sanguíneos criopreservados são empregados em cirurgias vasculares, especialmente em pacientes que necessitam de enxertos autólogos ou que possuem contraindicações para o uso de próteses sintéticas. A preservação da integridade estrutural e das propriedades biomecânicas desses tecidos é alcançada por meio de protocolos que combinam agentes crioprotetores específicos e taxas de congelamento cuidadosamente controladas (Piasecka-Belkhayat; Skorupa; Paruch, 2024).

## CONSERVAÇÃO DE ÓRGÃOS COMPLEXOS

O principal obstáculo na criopreservação de órgãos complexos é a formação de cristais de gelo, que podem comprometer a viabilidade celular e a integridade dos tecidos. Devido à variabilidade nas propriedades térmicas entre diferentes regiões do órgão, como vasos sanguíneos, tecidos parenquimatosos e estruturas vasculares finas, os protocolos tradicionais de congelamento lento ou vitrificação isolada têm mostrado limitações. Para enfrentar esse problema, pesquisadores têm explorado técnicas híbridas que combinam criopreservação com perfusão de soluções especiais. Essas soluções são projetadas para penetrar de forma uniforme nos tecidos e proteger as células contra os danos associados ao resfriamento extremo (Chen et al., 2023).

A perfusão normotérmica, uma técnica complementar à criopreservação, tem sido amplamente investigada como uma estratégia para manter a viabilidade dos órgãos durante e após o processo de armazenamento. Nessa abordagem, uma solução aquecida contendo nutrientes, oxigênio e agentes crioprotetores é bombeada através do sistema vascular do órgão, simulando as condições fisiológicas normais. Essa técnica não apenas ajuda a preservar as estruturas celulares, mas também reduz os danos causados pela isquemia durante o armazenamento (Khaydukova et al., 2024).

Outra área de pesquisa envolve a otimização das concentrações e combinações de agentes crioprotetores, visando minimizar a toxicidade sem comprometer a eficácia da proteção. Por exemplo, a utilização de combinações de crioprotetores permeáveis e não permeáveis tem sido investigada para equilibrar os efeitos osmóticos e evitar danos às membranas celulares. Avanços no controle térmico, como o uso de nanopartículas magnéticas para aquecimento controlado, têm demonstrado potencial para melhorar o descongelamento uniforme de órgãos inteiros, reduzindo os riscos de recristalização (William; Acker, 2021).

Embora os avanços no campo da criopreservação de órgãos complexos ainda estejam em desenvolvimento, os resultados obtidos até agora mostram que essa tecnologia tem o potencial de transformar significativamente o campo dos transplantes. O aumento da janela de viabilidade dos órgãos armazenados não apenas ampliaria a disponibilidade de recursos para os pacientes, mas também permitiria a criação de bancos de órgãos em escala global, reduzindo as disparidades na distribuição geográfica. A continuidade das pesquisas em criopreservação de órgãos complexos é essencial para superar as limitações atuais e desenvolver soluções que assegurem a preservação da funcionalidade e integridade estrutural dos órgãos. O impacto dessa tecnologia no campo biomédico promete ser transformador, possibilitando novas oportunidades para transplantes e expandindo o horizonte da medicina regenerativa (Whaley et al., 2021).

## CONCLUSÃO

A criopreservação desempenha um papel central no avanço da medicina regenerativa, transplantes e pesquisa biomédica, ao possibilitar o armazenamento prolongado de tecidos e órgãos com a manutenção de sua viabilidade celular e integridade estrutural. Essa tecnologia tem revolucionado os biobancos, permitindo o atendimento de demandas terapêuticas e científicas de maneira mais eficiente e sustentável. No entanto, apesar dos avanços significativos, o campo ainda enfrenta desafios substanciais, como a toxicidade dos agentes crioprotetores, os danos causados pela formação de cristais de gelo e as limitações impostas pelos processos de descongelamento.

A pesquisa contínua tem sido determinante para superar essas barreiras, com inovações em técnicas de vitrificação, uso de nanopartículas magnéticas e desenvolvimento de crioprotetores menos tóxicos. O avanço em tecnologias emergentes, como inteligência artificial e bioengenharia, tem ampliado ainda mais as perspectivas de aplicação, prometendo transformar a forma como materiais biológicos são preservados e utilizados em contextos clínicos e experimentais.

A consolidação da criopreservação como ferramenta essencial para os biobancos reflete não apenas seu impacto nas práticas médicas atuais, mas também seu potencial para moldar o futuro da saúde global. À medida que os desafios técnicos e logísticos forem enfrentados por meio de esforços colaborativos e investimento contínuo em pesquisa e inovação, a criopreservação expandirá suas fronteiras, beneficiando um número crescente de pacientes e promovendo avanços significativos no conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS

- BLEDSOE, Marianna J.; GAO, Dayong. Biopreservation and Biobanking 2022: The Year in Review. *Biopreservation and Biobanking*, v. 21, n. 1, p. 1-4, 2023.
- BOJIC, Sanja et al. Winter is coming: the future of cryopreservation. *BMC biology*, v. 19, p. 1-20, 2021.
- CHEN, Jiangming et al. Cryopreservation of tissues and organs: present, bottlenecks, and future. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 10, p. 1201794, 2023.
- DENG, Yaping et al. A novel cryopreservation solution for adipose tissue based on metformin. *Stem Cell Research & Therapy*, v. 16, n. 1, p. 20, 2025.
- FAHY, Gregory M.; WOWK, Brian. Principles of ice-free cryopreservation by vitrification. *Cryopreservation and freeze-drying protocols*, p. 27-97, 2021.
- KHAYDUKOVA, Irina V. et al. Current state and challenges of tissue and organ cryopreservation in biobanking. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, n. 20, p. 11124, 2024.
- LIU, Ximeng et al. The Inhibition of Interfacial Ice Formation and Stress Accumulation with Zwitterionic Betaine and Trehalose for High-Efficiency Skin Cryopreservation. *Research*, v. 7, p. 0520, 2024.
- PARIHAR, Arpana et al. Cryopreservation: a comprehensive overview, challenges, and future perspectives. *Advanced Biology*, v. 7, n. 6, p. 2200285, 2023.
- PIASECKA-BELKHAYAT, Alicja; SKORUPA, Anna; PARUCH, Marek. Determining Thermophysical Parameters of Cryopreserved Articular Cartilage Using Evolutionary Algorithms and Experimental Data. *Materials*, v. 17, n. 23, p. 5703, 2024.
- RIVERA-ALCÁNTARA, J. Adrián et al. A systematic review of biobanks in Latin America: Strengths and limitations for biomedical research. *The International Journal of Biological Markers*, v. 39, n. 2, p. 91-106, 2024.
- SAARE, Merli et al. Biopsy vitrification: New tool for endometrial tissue cryopreservation for research applications. *Cryobiology*, v. 117, p. 105161, 2024.
- SOLODOVNIKOV, Makar et al. The Principles of Creating and Maintaining Biobanks: A Thorough Analysis of the Global Literature. *Journal of Health Development*, p. 43-49, 2024.
- ZHANG, Zhe et al. Study on the biological properties of SMILE-derived corneal stromal lenticles after long-term cryopreservation in nutrient capsules. *Experimental Eye Research*, v. 239, p. 109756, 2024.
- WHALEY, David et al. Cryopreservation: an overview of principles and cell-specific considerations. *Cell transplantation*, v. 30, p. 0963689721999617, 2021.
- WILLIAM, Nishaka; ACKER, Jason P. High sub-zero organ preservation: a paradigm of nature-inspired strategies. *Cryobiology*, v. 102, p. 15-26, 2021.