



ISSN 2674-8169



Qualis B3
CAPES 2021-2024

Latindex



DOI

Google
Acadêmico

PERFUSÃO EX VIVO NO TRANSPLANTE CARDÍACO APÓS MORTE CIRCULATÓRIA: EXPANSÃO DO POOL DE DOADORES E PRESERVAÇÃO FUNCIONAL DO ENXERTO CARDÍACO

Jorge Eberson de Oliveira Santana¹, Cesar Salomao Mendes de Lucena Netto¹, Emanuel Gessé de Carvalho Araújo¹, Geissybelly Gomes Pereira Modesto¹, Jevenycy Jesus de Moura Santos Araújo¹, João Pedro Pereira dos Santos¹, Lucas Kauã de Araújo Ferreira¹, Mhaira Maria Simião Oliveira¹, Maria Eduarda Ferreira Silva¹, Renielly Eliza Matos Lins¹, Shayla Vitória da Silva¹.



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2026v8n6p287-299>

Artigo recebido em 6 Maio e publicado em 6 de Junho de 2026

REVISÃO NARRATIVA

RESUMO

Introdução: o transplante cardíaco permanece como terapia definitiva para insuficiência cardíaca avançada selecionada, porém sua aplicabilidade clínica é limitada pela escassez de enxertos viáveis e pela baixa taxa de aproveitamento de órgãos torácicos. A doação após morte circulatória (DCD) ressurgiu como estratégia de expansão do pool de doadores, sobretudo quando associada à perfusão ex vivo normotérmica, capaz de reanimar, preservar e avaliar funcionalmente o enxerto. **Objetivo:** analisar, em revisão narrativa, as bases fisiopatológicas, técnicas, éticas e clínicas da perfusão ex vivo no transplante cardíaco DCD, discutindo sua contribuição para preservação funcional e segurança pós-transplante. **Metodologia:** realizou-se busca narrativa em PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar, diretrizes ISHLT/ESOT e registros de transplantes, priorizando estudos publicados entre 2015 e 2026, ensaios clínicos, consensos, coortes, revisões sistemáticas e metanálises. **Conclusão:** a literatura contemporânea demonstra que a perfusão ex vivo converte a DCD cardíaca de uma fronteira experimental para uma estratégia translacional robusta, com sobrevida precoce comparável à doação após morte encefálica em centros experientes. Persistem, entretanto, desafios relacionados à padronização do tempo de isquemia quente funcional, critérios de viabilidade, custos, logística, seleção de receptores e governança ética.

Palavras-chave: Transplante de Coração; Perfusão Normotérmica Ex Vivo; Doação após Morte Circulatória; Preservação de Órgãos; Enxerto Cardíaco.

EX VIVO PERFUSION IN HEART TRANSPLANTATION AFTER CIRCULATORY DEATH: EXPANSION OF THE DONOR POOL AND FUNCTIONAL PRESERVATION OF THE CARDIAC GRAFT

ABSTRACT

Introduction: heart transplantation remains the definitive therapy for selected patients with advanced heart failure, but its clinical impact is constrained by the shortage of viable grafts and the limited utilization of thoracic organs. Donation after circulatory death (DCD) has re-emerged as a strategy to expand the donor pool, particularly when combined with normothermic ex vivo perfusion, which allows graft resuscitation, preservation, transport and functional assessment. Objective: to analyze, in a narrative review, the pathophysiological, technical, ethical and clinical foundations of ex vivo perfusion in DCD heart transplantation, emphasizing functional preservation and post-transplant safety. Methodology: a narrative search was performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar, ISHLT/ESOT guidelines and transplant registries, prioritizing studies published from 2015 to 2026, clinical trials, consensus statements, cohort studies, systematic reviews and meta-analyses. Conclusion: contemporary evidence indicates that ex vivo perfusion has moved DCD heart transplantation from an experimental frontier to a robust translational strategy, with early survival comparable to donation after brain death in experienced centers. Nevertheless, standardization of functional warm ischemia, viability criteria, costs, logistics, recipient selection and ethical governance remains essential for broader implementation.

Keywords: Heart Transplantation; Normothermic Ex Vivo Perfusion; Donation after Circulatory Death; Organ Preservation; Cardiac Graft.

Instituição afiliada – ¹ Faculdade Paraíso do Ceará (FAP), Araripina, Pernambuco, Brasil.
Autor correspondente: Jorge Eberson de Oliveira Santana — jorgesantana@alunomed.fapce.edu.br

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



INTRODUÇÃO

O transplante cardíaco ocupa posição terapêutica singular no tratamento da insuficiência cardíaca avançada refratária, pois oferece ganho de sobrevivência, melhora funcional e potencial reabilitação social em pacientes criteriosamente selecionados. Contudo, a efetividade populacional dessa terapêutica continua limitada por um paradoxo estrutural: a demanda por enxertos cresce em ritmo superior à disponibilidade de corações transplantáveis, enquanto parte expressiva dos órgãos torácicos ofertados é recusada por idade do doador, disfunção ventricular transitória, distância logística, instabilidade hemodinâmica ou incerteza sobre a viabilidade do enxerto. No Brasil, o Registro Brasileiro de Transplantes de 2024 documentou 440 transplantes cardíacos no ano, taxa de 2,1 por milhão de população, valor ainda abaixo da projeção anual e acompanhado de desigualdade regional importante, reforçando a necessidade de estratégias que ampliem o aproveitamento seguro de órgãos cardíacos. (ABTO, 2025).

Nesse contexto, a doação após morte circulatória, internacionalmente designada donation after circulatory death (DCD), reconfigurou a fronteira do transplante cardíaco contemporâneo ao permitir a utilização de corações provenientes de doadores nos quais a morte é determinada pela cessação irreversível da circulação, e não por critérios neurológicos de morte encefálica. A complexidade da DCD cardíaca decorre do período inevitável de hipoperfusão sistêmica entre a retirada de suporte vital, a parada circulatória, o intervalo de observação sem intervenção e o início da preservação; essa janela, denominada isquemia quente funcional, impõe risco de lesão miocárdica, disfunção endotelial e injúria de reperfusão, exigindo protocolos técnicos e éticos de alta precisão. (Holm et al., 2022).

A perfusão ex vivo normotérmica emergiu como tecnologia de ruptura precisamente por deslocar a preservação cardíaca do paradigma passivo da hipotermia estática para uma plataforma dinâmica de suporte metabólico, monitorização e tomada de decisão. Ao manter o coração em estado batente, perfundido por solução oxigenada e aquecida, dispositivos como o Organ Care System permitem transporte prolongado, avaliação seriada de lactato, inspeção da contratilidade, análise de fluxos e, potencialmente, identificação precoce de enxertos inadequados antes da implantação. A lógica translacional é clara: não se trata apenas de conservar o órgão, mas de transformar o tempo de transporte em tempo de avaliação funcional. (Ardehali et al., 2015).

A trajetória clínica da DCD cardíaca moderna ganhou força com séries pioneiras de transplantes após captação distante e preservação ex vivo, nas quais a queda do lactato durante a perfusão e a recuperação da função ventricular sustentaram a viabilidade do enxerto. Posteriormente, ensaios clínicos e coortes multicêntricas demonstraram que, em cenários controlados e com seleção rigorosa, os resultados de curto prazo dos corações DCD podem se aproximar daqueles observados em corações

provenientes de doadores após morte encefálica, embora a disfunção primária do enxerto e a heterogeneidade dos protocolos ainda imponham cautela. (Dhital et al., 2015; Schroder et al., 2023).

Diante desse cenário, esta revisão narrativa analisa a perfusão ex vivo no transplante cardíaco após morte circulatória como eixo de expansão do pool de doadores e de preservação funcional do enxerto. O texto integra fisiopatologia da lesão isquêmica, fundamentos técnicos da perfusão normotérmica, comparação entre estratégias de captação, evidências clínicas recentes, implicações éticas e aplicabilidade em sistemas de transplante com baixa taxa de aproveitamento cardíaco, com ênfase na leitura crítica das diretrizes e consensos contemporâneos. (Amarelli et al., 2024; Peled et al., 2024).

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa de literatura, delineada para integrar evidências clínicas, consensos técnicos e fundamentos fisiopatológicos sobre perfusão ex vivo aplicada ao transplante cardíaco após morte circulatória. Foram consultadas as bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Google Scholar, além de documentos da International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT), European Society of Organ Transplantation (ESOT), American Society of Transplant Surgeons (ASTS), Registro Brasileiro de Transplantes e literatura de alto impacto em cirurgia cardiovascular e transplantes. A escolha do desenho narrativo justifica-se pela natureza translacional do tema, no qual ensaios clínicos, coortes, documentos de posição, consensos e revisões mecanísticas precisam ser articulados em interpretação crítica, e não apenas agregados estatisticamente. (Snyder, 2019).

A estratégia de busca combinou os descritores “heart transplantation”, “donation after circulatory death”, “DCD heart transplantation”, “ex vivo perfusion”, “normothermic machine perfusion”, “Organ Care System”, “direct procurement and perfusion”, “normothermic regional perfusion”, “functional warm ischemic time”, “primary graft dysfunction” e seus correspondentes em português. Foram priorizados estudos publicados entre 2015 e 2026, com inclusão de ensaios clínicos, coortes prospectivas ou retrospectivas, metanálises, revisões sistemáticas, documentos de consenso e diretrizes. Foram excluídos textos sem relação direta com transplante cardíaco DCD, relatos puramente experimentais sem ponte clínica, publicações duplicadas, resumos sem dados interpretáveis e estudos nos quais a perfusão ex vivo não constituía componente técnico ou conceitual relevante. (Snyder, 2019; Amarelli et al., 2024).

A extração e a síntese dos dados foram organizadas em cinco eixos analíticos: escassez de enxertos e expansão do pool de doadores; fisiopatologia da lesão por isquemia-reperusão no coração DCD; estratégias de preservação e reperusão,

incluindo perfusão ex vivo, direct procurement and perfusion (DPP) e normothermic regional perfusion (NRP); critérios de viabilidade do enxerto; e resultados clínicos pós-transplante. A discussão foi construída de forma interpretativa, privilegiando a robustez metodológica, a atualidade das evidências e a coerência entre mecanismos biológicos, protocolos cirúrgicos e desfechos clínicos. (Holm et al., 2022; Jolliffe et al., 2025).

A distribuição temática das referências nucleares foi representada graficamente apenas como recurso descritivo de organização da revisão, sem pretensão de metanálise, inferência estatística ou mensuração de efeito. A classificação foi realizada pelos autores a partir do eixo predominante de contribuição de cada publicação para a síntese narrativa.

Distribuição temática das referências nucleares

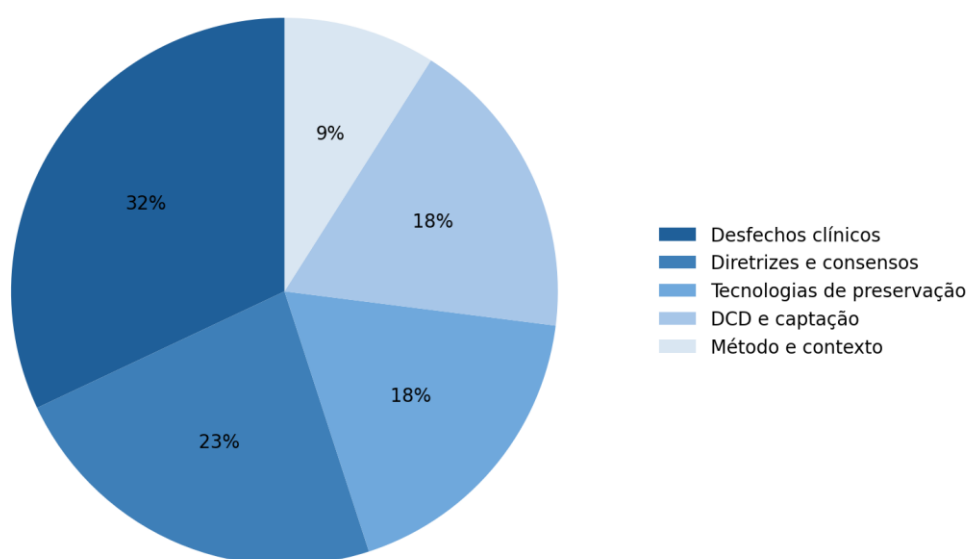


Gráfico 1. Distribuição temática qualitativa das referências nucleares utilizadas na revisão. Fonte: elaborado pelos autores.

REVISÃO DE LITERATURA

Doação após morte circulatória e fundamento clínico da expansão do pool de doadores

A DCD cardíaca deve ser compreendida como resposta técnica a uma limitação epidemiológica: a dependência exclusiva de doadores após morte encefálica restringe o número de enxertos disponíveis e perpetua mortalidade em lista de espera. Na DCD controlada, em geral Maastricht III, a retirada planejada de terapias de suporte vital ocorre após decisão clínica independente e consentimento adequado, seguida de parada circulatória, período de observação sem intervenção e início da recuperação orgânica. O potencial de expansão do pool decorre do fato de que muitos pacientes não preenchem critérios de morte encefálica, mas podem tornar-se doadores após

determinação circulatória da morte, desde que a autonomia familiar, a separação entre cuidado terminal e captação e a irreversibilidade da morte sejam preservadas. (Holm et al., 2022; Wall et al., 2024).

No transplante cardíaco, a DCD apresenta desafio mais complexo que órgãos como rim ou fígado porque o coração é simultaneamente o órgão cujo funcionamento cessa para que a morte seja determinada e o enxerto que se pretende recuperar. Essa condição impõe rigor particular à definição de tempos: tempo agônico, tempo de pressão arterial sistólica abaixo de limiares críticos, tempo de saturação reduzida, intervalo sem toque, tempo até cardioplegia ou reperfusão e tempo total de preservação. A ausência de padronização universal desses marcadores limita comparações entre centros e explica parte da heterogeneidade dos resultados clínicos publicados. (Trela et al., 2024).

Fisiopatologia da lesão miocárdica no enxerto DCD

A lesão do coração DCD inicia-se antes da explantação, durante a transição de baixo fluxo sistêmico para assistolia, quando a oferta de oxigênio torna-se insuficiente para sustentar fosforilação oxidativa, homeostase iônica e integridade sarcoplasmática. A queda de ATP compromete bombas iônicas, promove acúmulo intracelular de sódio e cálcio, favorece edema celular e reduz reserva contrátil. Quando a reperfusão é instituída, a entrada abrupta de oxigênio reativa a cadeia respiratória mitocondrial em ambiente redox instável, amplificando espécies reativas de oxigênio, abertura do poro de transição de permeabilidade mitocondrial, ativação inflamatória e disfunção microvascular. (Iyer et al., 2015).

A relevância clínica desses mecanismos reside no risco de disfunção primária do enxerto, síndrome caracterizada por falência ventricular precoce não explicada por rejeição, hipertensão pulmonar isolada ou complicação cirúrgica evidente. Em corações DCD, a disfunção primária tende a refletir a soma entre isquemia quente funcional, injúria de reperfusão, idade e comorbidades do doador, suporte inotrópico pré-captação, tempo de transporte e estado hemodinâmico do receptor. Por isso, a preservação funcional deve ser concebida como processo contínuo, iniciado antes da captação e finalizado apenas após a reperfusão controlada no receptor. (Jolliffe et al., 2025).

Perfusão ex vivo normotérmica: preservação dinâmica e avaliação funcional

A perfusão ex vivo normotérmica substitui a lógica de “parar e resfriar” por uma estratégia de suporte quase fisiológico, na qual o coração é perfundido em temperatura corporal, oxigenado, com substratos metabólicos e monitorização contínua. Essa abordagem reduz a dependência exclusiva do tempo de isquemia fria, permite transporte de maior distância e cria uma janela decisória para avaliar parâmetros bioquímicos e funcionais. No ensaio PROCEED II, a perfusão ex vivo demonstrou

resultados de curto prazo não inferiores à preservação estática fria em transplantes cardíacos selecionados, consolidando a segurança da tecnologia como plataforma clínica de preservação. (Ardehali et al., 2015).

Na DCD, a perfusão ex vivo adquire valor adicional porque o enxerto chega à plataforma após período de injúria isquêmica inevitável. A possibilidade de reanimar o coração, observar ritmo, contratilidade, pressão aórtica, fluxo coronariano e tendência do lactato oferece uma forma pragmática de estratificar viabilidade antes da implantação. A série clínica pioneira de Dhital e colaboradores demonstrou que corações DCD submetidos à preservação ex vivo poderiam recuperar função ventricular adequada após transplante, desde que selecionados por critérios rigorosos e acompanhados por perfusão metabólica favorável. (Dhital et al., 2015).

Apesar de sua utilidade, a interpretação da viabilidade durante perfusão ex vivo não deve ser reduzida a um único marcador. A tendência de lactato é relevante porque sugere balanço entre produção anaeróbia e clareamento metabólico, mas pode ser influenciada por composição do perfusato, hemólise, fluxo coronariano, tempo de perfusão e estado prévio do órgão. Consensos recentes defendem avaliação integrada, combinando parâmetros metabólicos, macroscópicos, hemodinâmicos, tempo de isquemia e julgamento cirúrgico, pois a decisão de aceitar ou recusar um enxerto DCD envolve risco compartilhado entre doador, receptor e programa transplantador. (Amarelli et al., 2024).

DPP, NRP e estratégias híbridas de recuperação do coração DCD

Duas estratégias dominam a recuperação cardíaca DCD contemporânea. Na direct procurement and perfusion (DPP), após a determinação da morte e o intervalo sem toque, o coração é rapidamente explantado, recebe cardioplegia e é conectado a uma plataforma de perfusão ex vivo, permitindo reanimação e transporte extracorpóreo. Na normothermic regional perfusion (NRP), a circulação toracoabdominal é restabelecida in situ por suporte extracorpóreo após exclusão da circulação cerebral, permitindo reperfusão regional, avaliação hemodinâmica e posterior explantação. Ambas as estratégias buscam reduzir a injúria isquêmica e aumentar a confiança na seleção do enxerto, mas diferem em logística, custos, implicações éticas e controle fisiológico. (Trela et al., 2024; Wall et al., 2024).

A NRP aproxima a recuperação DCD de um cenário “semelhante à morte encefálica”, pois o coração pode ser avaliado no tórax após restabelecimento circulatório, com menor incerteza sobre desempenho biventricular inicial. Em contrapartida, exige equipe treinada, canulação rápida, monitorização rigorosa da exclusão cerebral e governança ética transparente, dado o debate internacional sobre restauração circulatória após determinação da morte. A DPP, por sua vez, é logisticamente compatível com captação distante e centraliza a avaliação na plataforma

ex vivo, mas pode carregar maior dependência do tempo até conexão ao dispositivo e dos critérios metabólicos de aceitação. (Ran et al., 2024; Goodwin et al., 2025).

Fluxo técnico-fisiopatológico do coração DCD até a perfusão ex vivo

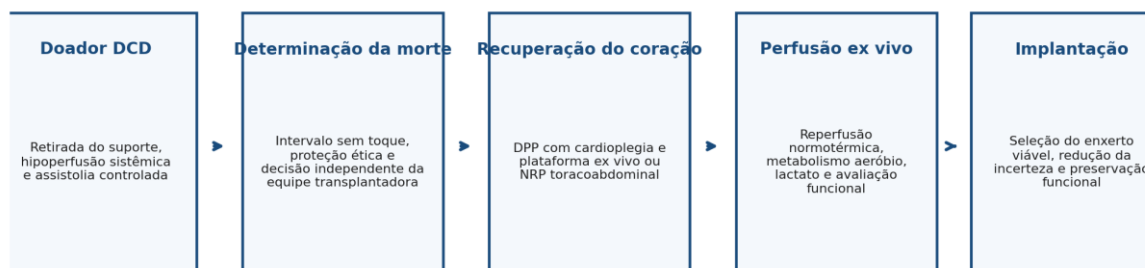


Figura 1. Sequência técnico-fisiopatológica do coração DCD submetido à recuperação e perfusão ex vivo. Fonte: elaborado pelos autores com base em Holm et al. (2022), Wall et al. (2024), Ran et al. (2024) e Amarelli et al. (2024).

Evidências clínicas e desfechos pós-transplante

A evidência clínica da DCD cardíaca evoluiu de séries altamente selecionadas para estudos comparativos e ensaios randomizados. O ensaio publicado por Schroder e colaboradores no New England Journal of Medicine demonstrou que a sobrevida ajustada em seis meses de receptores de corações DCD reanimados e avaliados em sistema de perfusão foi não inferior à de receptores de corações de doadores após morte encefálica preservados por hipotermia estática, oferecendo uma das bases clínicas mais robustas para incorporação da estratégia em programas experientes. (Schroder et al., 2023).

Coortes contemporâneas reforçam que a DCD cardíaca pode alcançar sobrevida de curto e médio prazo comparável à doação após morte encefálica, especialmente quando doadores e receptores são adequadamente selecionados. Em estudo com dados da Organ Procurement and Transplantation Network, a sobrevida pós-transplante em um e três anos foi semelhante entre DCD e DBD, apoiando expansão responsável da prática. De modo semelhante, análises de centro único observaram sobrevida em um ano semelhante, sem aumento consistente de rejeição, vasculopatia precoce ou reinternações, embora com perfis de risco frequentemente diferentes entre grupos. (Bakhtiyar et al., 2024; Siddiqi et al., 2023).

Metanálises recentes, ao agregarem estudos com DPP, NRP e doação após morte encefálica, sugerem que a sobrevida em seis e doze meses dos receptores DCD é globalmente semelhante à dos receptores DBD, mas chamam atenção para possível

maior incidência de disfunção primária do enxerto em determinadas coortes. Esse sinal de risco não invalida a estratégia; ao contrário, indica que o sucesso da DCD cardíaca depende menos da tecnologia isolada e mais de um sistema integrado de seleção do doador, controle de tempos, preservação, avaliação funcional e suporte perioperatório do receptor. (Jolliffe et al., 2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese narrativa evidencia que a perfusão ex vivo reposiciona o transplante cardíaco DCD em três níveis complementares: aumenta o número potencial de doadores, reduz a incerteza funcional do enxerto e permite decisão cirúrgica baseada em dados dinâmicos. O ganho não deve ser interpretado como simples extensão de tempo de transporte, mas como mudança no modelo de preservação: a avaliação passa a ocorrer durante a própria preservação, e o órgão deixa de ser um produto passivamente resfriado para tornar-se um sistema fisiológico monitorado. (Ardehali et al., 2015; Amarelli et al., 2024).

Do ponto de vista clínico, a principal contribuição da perfusão ex vivo é permitir que corações previamente excluídos pelo risco de isquemia quente sejam reavaliados com critérios funcionais. Esse aspecto é particularmente importante em sistemas com baixo aproveitamento cardíaco, pois a decisão tradicional de aceitar um órgão baseia-se em dados pré-captção imperfeitos, como ecocardiografia do doador, dose de vasopressores e histórico clínico. Na DCD, a plataforma ex vivo acrescenta uma camada objetiva de avaliação, ainda que dependente de interpretação especializada e de validação multicêntrica de limiares de segurança. (Dhital et al., 2015; Kharawala et al., 2024).

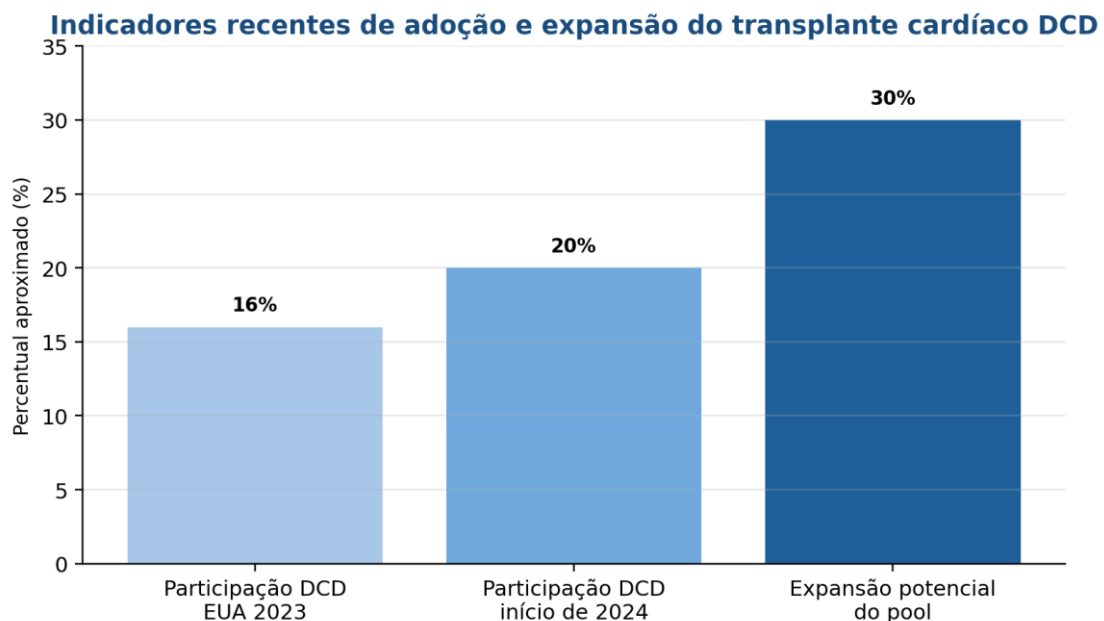


Gráfico 2. Indicadores selecionados de adoção e expansão potencial do transplante cardíaco DCD na literatura recente. Fonte: elaborado pelos autores com base em Jawitz et al. (2020), Siddiqi et al. (2023) e Kharawala et al. (2024).

Tabela 1. Estratégias contemporâneas de preservação e recuperação do coração DCD.

Estratégia	Descrição técnica	Potencial clínico	Limitações principais
Hipotermia estática isolada	Cardioplegia e armazenamento frio com redução metabólica do enxerto.	Simplicidade logística e ampla disponibilidade.	Não permite avaliação funcional dinâmica e é pouco adequada ao coração DCD com isquemia quente relevante.
DPP com perfusão ex vivo	Explantação direta após morte circulatória, cardioplegia e conexão a sistema normotérmico ex vivo.	Permite captação distante, transporte batente e avaliação metabólica/funcional antes da implantação.	Alto custo, dependência de dispositivo, interpretação complexa de lactato e tempo até conexão à plataforma.
NRP toracoabdominal	Reperusão regional in situ por circulação extracorpórea após exclusão cerebral.	Reduz incerteza funcional, permite avaliação no tórax e pode diminuir injúria isquêmica inicial.	Requer equipe altamente treinada, infraestrutura extracorpórea e governança ética rigorosa.
Estratégias híbridas	Combinação de NRP, cardioplegia, armazenamento frio curto e/ou perfusão ex vivo complementar.	Flexibilidade para diferentes distâncias, perfis de doador e necessidades do receptor.	Heterogeneidade dificulta padronização, comparação de resultados e definição de custo-efetividade.

Fonte: elaborado pelos autores com base em Ardehali et al. (2015), Holm et al. (2022), Ran et al. (2024), Wall et al. (2024) e Amarelli et al. (2024).

A comparação entre DPP e NRP demonstra que não existe uma estratégia universalmente superior para todos os sistemas de transplante. A DPP favorece captação distante e padronização em torno de uma plataforma transportável, enquanto a NRP pode reduzir parte da injúria isquêmica por restaurar perfusão regional antes da explantação e permitir avaliação in situ. Entretanto, a NRP exige protocolos éticos de exclusão cerebral, disponibilidade de circulação extracorpórea, treinamento em

canulação e coordenação entre equipes, ao passo que a DPP demanda acesso a dispositivo de alto custo e critérios de viabilidade robustos durante a perfusão ex vivo. (Ran et al., 2024; Wall et al., 2024).

Os resultados clínicos recentes sustentam uma conclusão equilibrada: a DCD cardíaca não é experimental quando realizada em centros estruturados, mas também não deve ser banalizada como simples ampliação indiscriminada de doadores. A maior parte dos estudos favoráveis deriva de ambientes com elevada experiência cirúrgica, seleção criteriosa, doadores relativamente jovens e receptores com perfil de risco controlado. Assim, a extrapolação para sistemas com menor volume, maior distância geográfica ou menor disponibilidade de suporte mecânico deve ser acompanhada de protocolos faseados, auditoria de resultados e governança institucional. (Bakhtiyar et al., 2024; Goodwin et al., 2025).

Tabela 2. Evidências clínicas selecionadas sobre perfusão ex vivo e transplante cardíaco DCD.

Estudo	Desenho	Estratégia analisada	Achado de maior relevância
Dhital et al. (2015)	Série clínica pioneira	DCD com captação distante e OCS	Demonstrou viabilidade clínica inicial de corações DCD reanimados e transportados em perfusão ex vivo.
Ardehali et al. (2015)	Ensaio PROCEED II	OCS versus hipotermia estática	Mostrou não inferioridade de sobrevida paciente/enxerto em 30 dias em corações selecionados.
Schroder et al. (2023)	Ensaio randomizado	DCD reanimado/avaliado em perfusão versus DBD	Evidenciou sobrevida ajustada em seis meses não inferior no grupo DCD.
Siddiqi et al. (2023)	Coorte comparativa	DCD predominantemente com NRP versus DBD	Observou sobrevida em um ano semelhante e ausência de aumento consistente de eventos maiores.
Bakhtiyar et al. (2024)	Registro nacional	DCD-DPP e DCD-NRP versus DBD	Demonstrou sobrevida em um e três anos comparável entre DCD e DBD.

Jolliffe et al. (2025)	Revisão sistemática/metanálise	DCD, DPP, NRP e DBD	Sugeriu sobrevida curta/intermediária semelhante, com atenção à disfunção primária do enxerto.
------------------------	--------------------------------	---------------------	--

Fonte: elaborado pelos autores com base em Dhital et al. (2015), Ardehali et al. (2015), Schroder et al. (2023), Siddiqi et al. (2023), Bakhtiyar et al. (2024) e Jolliffe et al. (2025).

Outro ponto crítico é a definição do que significa “preservação funcional”. Em hipotermia estática, preserva-se sobretudo a estrutura, reduzindo metabolismo e retardando necrose; na perfusão normotérmica, preserva-se e simultaneamente se testa função, pois o enxerto é submetido a fluxo, demanda metabólica e atividade mecânica. Esse deslocamento cria oportunidades para recondicionamento farmacológico, terapia metabólica, modulação inflamatória e, futuramente, avaliação molecular em tempo real, mas também exige cuidado para que parâmetros intermediários não sejam confundidos com garantia absoluta de desempenho pós-transplante. (Iyer et al., 2015; Spencer et al., 2024).

A implementação em países com desigualdade regional, como o Brasil, requer análise custo-efetividade e planejamento sistêmico. O RBT 2024 aponta crescimento modesto do transplante cardíaco, porém com taxa nacional ainda baixa e abaixo da projeção anual; nesse cenário, tecnologias de perfusão podem contribuir para ampliar aproveitamento, mas somente se integradas a políticas de identificação de doadores, redução de negativa familiar, transporte especializado, financiamento sustentável e formação de equipes em captação torácica avançada. Sem essa infraestrutura, há risco de que a inovação aumente assimetrias em vez de reduzi-las. (ABTO, 2025; Amarelli et al., 2024).

As diretrizes recentes da ISHLT para cuidado de receptores e avaliação de candidatos reforçam que o transplante cardíaco moderno deve ser entendido como trajetória longitudinal, na qual seleção do receptor, estratificação de risco, manejo de imunossupressão, prevenção de rejeição e vigilância de complicações determinam o benefício real do enxerto. No contexto DCD, essa visão é ainda mais relevante, pois a aceitação de um coração com história de isquemia quente deve considerar reserva fisiológica do receptor, hipertensão pulmonar, necessidade de suporte circulatório, risco de disfunção primária e capacidade do centro para manejo de choque pós-implante. (Velleca et al., 2023; Peled et al., 2024).

O futuro da perfusão ex vivo tende a deslocar o campo da preservação para a reparação do enxerto. Modelos experimentais e translacionais investigam perfusão prolongada, avaliação funcional objetiva, biomarcadores metabólicos, perfusômica, imagem em plataforma e intervenções farmacológicas durante a preservação. Ainda que a aplicação clínica ampla dessas estratégias dependa de validação, a direção conceitual é consistente: o órgão não será apenas transportado, mas diagnosticado,

otimizado e, em determinados cenários, recondicionado antes da implantação. (Spencer et al., 2024; Amarelli et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A perfusão ex vivo no transplante cardíaco após morte circulatória representa uma das mudanças mais relevantes da cirurgia de transplante contemporânea, pois transforma a DCD cardíaca de uma possibilidade historicamente limitada pela isquemia quente em uma estratégia real de expansão do pool de doadores. As evidências atuais indicam sobrevida precoce e intermediária comparável à doação após morte encefálica em centros experientes, desde que haja seleção rigorosa de doadores e receptores, controle de tempos, avaliação funcional estruturada e suporte perioperatório qualificado. (Schroder et al., 2023; Jolliffe et al., 2025).

O avanço da técnica não elimina seus desafios. A padronização da isquemia quente funcional, a validação de marcadores de viabilidade, o equilíbrio entre DPP e NRP, a transparência ética, o custo operacional e a adaptação a sistemas de saúde com desigualdade logística permanecem pontos decisivos. Assim, a incorporação da perfusão ex vivo deve ser entendida como política de alta complexidade, dependente de tecnologia, treinamento, auditoria e governança; quando esses elementos convergem, a DCD cardíaca torna-se uma via plausível para reduzir a distância entre pacientes que aguardam transplante e enxertos efetivamente utilizáveis. (Holm et al., 2022; Amarelli et al., 2024).

REFERÊNCIAS

- ABTO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS. Registro Brasileiro de Transplantes: dimensionamento dos transplantes no Brasil e em cada estado, 2024. São Paulo: ABTO, 2025.
- AMARELLI, C. et al. European Society of Organ Transplantation (ESOT) Consensus Statement on Machine Perfusion in Cardiothoracic Transplant. *Transplant International*, v. 37, p. 13112, 2024. DOI: 10.3389/ti.2024.13112.
- ARDEHALI, A. et al. Ex-vivo perfusion of donor hearts for human heart transplantation (PROCEED II): a prospective, open-label, multicentre, randomised non-inferiority trial. *The Lancet*, v. 385, n. 9987, p. 2577-2584, 2015. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60261-6.
- BAKHTIYAR, S. S. et al. Heart Transplantation After Donation After Circulatory Death. *The Annals of Thoracic Surgery*, v. 118, n. 2, p. 484-493, 2024. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2024.05.013.
- DHITAL, K. K. et al. Adult heart transplantation with distant procurement and ex-vivo preservation of donor hearts after circulatory death: a case series. *The Lancet*, v. 385, n. 9987, p. 2585-2591, 2015. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60038-1.
- GOODWIN, M. L. et al. Direct Procurement with Machine Perfusion and Normothermic Regional Perfusion in Donation after Circulatory Death Heart Transplantation. *The*

Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2025. DOI:
10.1016/j.jtcvs.2024.10.984.

HOLM, A. M. et al. ISHLT position paper on thoracic organ transplantation in controlled donation after circulatory determination of death (cDCD). The Journal of Heart and Lung Transplantation, v. 41, n. 6, p. 671-677, 2022. DOI: 10.1016/j.healun.2022.03.005.

IYER, A. et al. Normothermic ex vivo perfusion provides superior organ preservation and enables viability assessment of hearts from DCD donors. American Journal of Transplantation, v. 15, n. 2, p. 371-380, 2015. DOI: 10.1111/ajt.12994.

JAWITZ, O. K. et al. Increasing the United States heart transplant donor pool with donation after circulatory death. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, v. 159, n. 5, p. e307-e313, 2020. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2019.09.146.

JOLLIFFE, J. et al. Donation after circulatory death transplantation: a systematic review and meta-analysis of outcomes and methods of donation. Annals of Cardiothoracic Surgery, v. 14, n. 1, p. 11-27, 2025. DOI: 10.21037/acs-2024-dcd-0132.

KHARAWALA, A. et al. Donation After Circulatory Death Heart Transplant: Current State and Future Directions. Circulation: Heart Failure, 2024. DOI: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.124.011678.

PELED, Y. et al. International Society for Heart and Lung Transplantation Guidelines for the Evaluation and Care of Cardiac Transplant Candidates—2024. The Journal of Heart and Lung Transplantation, 2024. DOI: 10.1016/j.healun.2024.05.010.

RAN, G. et al. Post-transplant survival after normothermic regional perfusion versus direct procurement and perfusion in donation after circulatory determination of death heart transplantation. The Journal of Heart and Lung Transplantation, v. 43, n. 12, 2024. DOI: 10.1016/j.healun.2024.02.1456.

SCHRODER, J. N. et al. Transplantation Outcomes with Donor Hearts after Circulatory Death. The New England Journal of Medicine, v. 388, n. 23, p. 2121-2131, 2023. DOI: 10.1056/NEJMoa2212438.

SIDDIQI, H. K. et al. Outcomes of Heart Transplant Donation After Circulatory Death. Journal of the American College of Cardiology, v. 82, n. 15, p. 1512-1520, 2023. DOI: 10.1016/j.jacc.2023.08.006.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. Journal of Business Research, v. 104, p. 333-339, 2019. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

SPENCER, B. L. et al. Extending heart preservation to 24 h with normothermic ex vivo perfusion. Frontiers in Cardiovascular Medicine, v. 11, p. 1325169, 2024. DOI: 10.3389/fcvm.2024.1325169.

TRELA, K. C. et al. Donation After Circulatory Death Heart Transplantation. Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, 2024. DOI: 10.1053/j.jvca.2024.03.045.

VELLECA, A. et al. The International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) guidelines for the care of heart transplant recipients. The Journal of Heart and Lung Transplantation, v. 42, n. 5, p. e1-e141, 2023. DOI: 10.1016/j.healun.2022.10.015.



**PERFUSÃO EX VIVO NO TRANSPLANTE CARDÍACO APÓS MORTE CIRCULATÓRIA:
EXPANSÃO DO POOL DE DOADORES E PRESERVAÇÃO FUNCIONAL DO ENXERTO CARDÍACO**
Santana et al.

WALL, A. E. et al. The American Society of Transplant Surgeons Consensus Statement on Normothermic Regional Perfusion. *Transplantation*, v. 108, n. 2, p. 312-318, 2024. DOI: 10.1097/TP.0000000000004894.