

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

NATÁLIA CORONEL DE LIMA LAGES

**ELABORAÇÃO DE UM RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO SOBRE O
IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO E INDIVIDUALIZAÇÃO DA
PEEP NAS COMPLICAÇÕES PULMONARES PÓS-OPERATÓRIAS NA CIRURGIA
CARDÍACA DO HOSPITAL PEDRO ERNESTO**

RIO DE JANEIRO

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

PROJETO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**ELABORAÇÃO DE UM RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO SOBRE O
IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO E INDIVIDUALIZAÇÃO DA
PEEP NAS COMPLICAÇÕES PULMONARES PÓS-OPERATÓRIAS NA CIRURGIA
CARDÍACA DO HOSPITAL PEDRO ERNESTO**

NATÁLIA CORONEL DE LIMA LAGES

MESTRADO PROFISSIONAL
DE FORMAÇÃO PARA A PESQUISA BIOMÉDICA
INSTITUTO DE BIOFÍSICA CARLOS CHAGAS FILHO

Orientadores:

Luciana Moisés Camilo, Ph.D.

Tiago Batista da Costa Xavier, Ph.D.

Coorientadora:

Mariana Barcellos de Ávila, Ph.D.

Rio de Janeiro

2025

Dedicatória

Dedico esta dissertação à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor, apoio e compreensão, mesmo nos momentos mais desafiadores. Cada palavra escrita neste texto carrega a energia e a força de vocês.

Às minhas queridas crianças, que são a luz da minha vida, agradeço por me ensinarem diariamente sobre paciência, resiliência e amor incondicional. Este trabalho é tanto para vocês, como para todos aqueles que me ajudaram a chegar até aqui.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder forças, sabedoria e perseverança para concluir este projeto. À minha família, que sempre me apoiou, compreendeu minhas ausências e se fez presente nas dificuldades e conquistas, sou eternamente grata. Aos meus filhos, por sua paciência e amor, que me inspiram todos os dias a seguir em frente.

Aos meus amigos, especialmente ao Dr. Alcendino Neto, pela contribuição generosa, e ao meu querido amigo Dr. Leonardo Neumamm, que foi um verdadeiro parceiro nos últimos anos, sem o qual tudo teria sido muito mais difícil. Agradeço a amizade e por estarmos sempre juntos, tanto na academia quanto no trabalho.

Aos professores Dr. Joaquim Coutinho e Dr. João Carlos Jazbik, chefes do serviço de cirurgia cardíaca e do CTI cardíaco do HUPE, sou imensamente grata pela receptividade, confiança e por abraçarem este projeto com tanto empenho e dedicação.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Luciana Camilo, Prof. Dr. Tiago Xavier e Dra. Mariana Ávila, agradeço o apoio incansável, paciência, orientação e parceria durante todos esses anos. Sem o auxílio de vocês, essa caminhada de 4 anos teria sido bem mais desafiadora.

À equipe multidisciplinar do CTI cardíaco do HUPE, principalmente à equipe de Fisioterapia e especialmente ao fisioterapeuta José Albuquerque, agradeço por todo o suporte na coleta e registro de dados. E por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

A ventilação mecânica protetora desempenha um papel essencial na prevenção de complicações pulmonares pós-operatórias em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca. No Hospital Universitário Pedro Ernesto, o protocolo convencional utiliza uma pressão positiva no final da expiração (PEEP) fixa de 10 cmH₂O no pós-operatório imediato, contribuindo para a proteção pulmonar, embora estratégias individualizadas tenham demonstrado potencial para otimizar a mecânica respiratória e reduzir complicações. O estudo de Costa Leme et al. (2017) demonstrou que uma estratégia de recrutamento alveolar seguida de uma PEEP fixa de 13 cmH₂O reduziu a gravidade das complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs) com uma redução absoluta de 11,1%, entretanto, a aplicação de uma PEEP fixa não contempla a variabilidade interindividual da mecânica pulmonar, podendo causar colapso alveolar por PEEP insuficiente ou hiperdistensão pulmonar por PEEP excessiva. O presente estudo avaliou o impacto da individualização da PEEP ajustada pela menor driving pressure após a manobra de recrutamento alveolar como estratégia para otimizar a ventilação e minimizar esses riscos, partindo da hipótese de que essa abordagem resultaria em uma redução superior na incidência de CPPs em comparação com os protocolos de PEEP fixa, impactando positivamente o prognóstico dos pacientes. Para fundamentar essa investigação, um ensaio clínico prospectivo randomizado, aleatorizado e controlado foi conduzido com pacientes submetidos à cirurgia cardíaca eletiva com circulação extracorpórea planejada, cujos dados foram coletados entre julho de 2021 e outubro de 2023. Os pacientes foram inicialmente ventilados com uma estratégia protetora convencional e, após estabilização, randomizados em dois grupos: Controle (n=49), que recebeu PEEP fixa de 10 cmH₂O, e Intervenção (n=48), submetido à manobra de recrutamento alveolar com PEEP de 35 cmH₂O seguida de titulação decremental. O grupo intervenção apresentou uma redução na incidência de CPPs de 69,4% ($p=0,002$), com risco relativo (RR) de 3,27 (IC 1,56-6,82) e uma redução absoluta de 28,3%, além de uma incidência de pneumonia 70,7% menor ($p=0,010$) e melhora na relação PaO₂/FiO₂ (472 vs. 377, $p<0,001$). Não houve diferença significativa no tempo de internação na UTI (4 dias, $p=0,899$) nem na mortalidade hospitalar (2,1% vs. 6,1%, $p=0,317$). Com base nesses achados, um relatório técnico-científico foi elaborado e submetido à gestão do Hospital Universitário Pedro Ernesto para incorporação do protocolo baseado em evidências na prática clínica, visando aprimorar os desfechos clínicos, otimizar os recursos e melhorar a assistência na cirurgia cardíaca.

Registros do Estudo: Projeto do estudo aprovado pelo comitê de ética do Hospital Pedro Ernesto (HUPE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (CAAE) 47133121.1.0000.5282 e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBEC) RBR-2nmwxwt.

Descritores: ventilação mecânica; by-pass cardiopulmonar; manobra de recrutamento, titulação de PEEP; complicações pulmonares pós-operatórias.

Abstract

Protective mechanical ventilation plays a crucial role in preventing postoperative pulmonary complications in patients undergoing cardiac surgery. At the Pedro Ernesto University Hospital, the conventional protocol employs a fixed positive end-expiratory pressure (PEEP) of 10 cmH₂O in the immediate postoperative period, contributing to lung protection, although individualized strategies have shown potential to optimize respiratory mechanics and reduce complications. The study by Costa Leme et al. (2017) demonstrated that an alveolar recruitment strategy followed by a fixed PEEP of 13 cmH₂O reduced the severity of postoperative pulmonary complications (PPCs) with an absolute reduction of 11.1%; however, applying a fixed PEEP does not account for interindividual variability in lung mechanics, potentially leading to alveolar collapse due to insufficient PEEP or pulmonary overdistension due to excessive PEEP. This study assessed the impact of individualized PEEP, adjusted according to the lowest driving pressure after an alveolar recruitment maneuver, as a strategy to optimize ventilation and minimize these risks, based on the hypothesis that this approach would result in a greater reduction in PPC incidence compared to fixed PEEP protocols, positively impacting patient prognosis. To support this investigation, a prospective, randomized, and controlled clinical trial was conducted with patients undergoing elective cardiac surgery with planned extracorporeal circulation, with data collected between July 2021 and October 2023. Patients were initially ventilated using a conventional protective strategy and, after stabilization, were randomized into two groups: Control (n=49), receiving fixed PEEP of 10 cmH₂O, and Intervention (n=48), undergoing an alveolar recruitment maneuver with PEEP of 35 cmH₂O followed by decremental titration. The intervention group showed a 69.4% reduction in PPC incidence ($p=0.002$), with a relative risk (RR) of 3.27 (CI 1.56-6.82) and an absolute reduction of 28.3%, as well as a 70.7% lower incidence of pneumonia ($p=0.010$) and an improved PaO₂/FiO₂ ratio (472 vs. 377, $p<0.001$). There was no significant difference in ICU length of stay (4 days, $p=0.899$) or hospital mortality (2.1% vs. 6.1%, $p=0.317$). Based on these findings, a technical-scientific report was prepared and submitted to the management of Pedro Ernesto University Hospital for the incorporation of the evidence-based protocol into clinical practice, aiming to improve clinical outcomes, optimize resources, and enhance cardiac surgery care.

Study Registration: The study protocol was approved by the ethics committee of Hospital Pedro Ernesto (HUPE) at the State University of Rio de Janeiro (CAAE) 47133121.1.0000.5282 and registered in the Brazilian Registry of Clinical Trials (ReBEC) RBR-2nmwxwt.

Keywords: mechanical ventilation; cardiopulmonary bypass; recruitment maneuver; PEEP titration; postoperative pulmonary complications.

Lista de Figuras

Figura 1 - Linha do tempo do protocolo de pesquisa no pós-operatório imediato.....	11
Figura 2 - Manobra de recrutamento alveolar e titulação da PEEP.....	14
Figura 3 - Fluxograma dos pacientes do estudo.....	17
Figura 4 - Efeito do recrutamento sobre a dP.....	20
Figura 5 - PEEP individualizada	21
Figura 6 - Variabilidade da driving pressure (dP) em diferentes níveis de PEEP.....	21

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Definição de complicações pulmonares no pós-operatório.....	09
Tabela 2 - Critérios de inclusão e exclusão.....	12
Tabela 3 - Características antropométricas de base.....	18
Tabela 4 - Características intraoperatórias.....	18
Tabela 5 - Características ventilatórias iniciais.....	19
Tabela 6 - Características ventilatórias pós-intervenção.....	20
Tabela 7 - Incidência de CPPs ≥ 3 e pneumonia.....	22
Tabela 8 - Resultados para CPP ≥ 3 entre os grupos.....	22

Lista de Abreviaturas

AMIB: Associação de Medicina Intensiva Brasileira

CEC: Circulação extracorpórea

CPPs: Complicações pulmonares pós-operatórias

CRF: Capacidade residual funcional

CIA: Comunicação interatrial

CLAMP: Clampeamento de artéria aorta.

CPAP: Pressão contínua nas vias aéreas

CRVM: Cirurgia de revascularização do miocárdio

Cst: Complacência estática

dP: *Driving pressure* (pressão de distensão alveolar)

ΔdP (%): variação em percentual da *driving pressure* (pressão de distensão alveolar).

dPPalta: *Driving pressure* na PEEP mais alta

dPPbaixa: *Driving pressure* na PEEP mais baixa

HAP: Hipertensão arterial pulmonar

HUPE: Hospital Universitário Pedro Ernesto

IL-6: Interleucina-6

IL-8: Interleucina-8

IMC: Índice de massa corpórea

IOT: Intubação orotraqueal

IR: Insuficiência respiratória

MID: Artéria mamária interna direita

MR: Manobra de recrutamento alveolar

OLC: *Open lung concept* (conceito de pulmão aberto)

PAM: Pressão arterial média

PaCO₂: Pressão parcial de dióxido de carbono no sangue arterial

PaO₂/FiO₂: Relação entre a pressão parcial de oxigênio no sangue arterial e a fração inspirada de oxigênio

PEEP: *Positive end-expiratory pressure* (pressão positiva no final da expiração)

Pplat: Pressão de platô

Ppi: Pressão de pico

PSAP: Pressão sistólica da artéria pulmonar

SBPT: Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia

SDRA: Síndrome do desconforto respiratório agudo

SpO₂: Saturação periférica de oxigênio

SUS: Sistema Único de Saúde

TCLE: Termo de consentimento livre e esclarecido

TNF- α : Fator de necrose tumoral alfa

TRE: Teste de respiração espontânea

UCC: Unidade Cardiológica Cirúrgica

UERJ: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UTI: Unidade de Terapia Intensiva

VC: Volume corrente

VCI: Veia cava inferior

VILI: *Ventilator-induced lung injury* (lesão pulmonar induzida pelo ventilador)

VM: Ventilação mecânica

Sumário

1 Introdução.....	1
1.2 Objetivo principal	6
1.3 Objetivos específicos	6
2. Materiais e Métodos	7
2.1 Diagnóstico situacional.....	7
2.2 Execução do ensaio clínico randomizado.....	8
2.2.1 Desenho de Estudo	8
2.2.2 Critérios de inclusão	10
2.2.3 Critérios de exclusão	10
2.2.4 Critérios de interrupção	11
2.3. Intervenções.....	11
2.3.1 Grupo Controle	12
2.3.2 Grupo Intervenção	12
2.4 Desfechos	13
2.4.1 Desfecho primário	13
2.4.2 Desfechos secundários.....	13
2.5 Tamanho amostral	14
2.6 Randomização	14
2.7 Métodos estatísticos e análise de dados.....	15
2.8 Elaboração de Relatório Técnico Científico Institucional.....	15
3 Resultados.....	15
3.1 Diagnóstico situacional.....	15
3.2 População estudada.....	15
3.3 Desfechos	18
4 Discussão.....	21
5 Elaboração de Relatório Técnico Científico Institucional.....	25
6. Desafios e limitações	26
7 Conclusão	28
8 Recomendações para implementação	28
Referências Bibliográficas.....	29
Apêndice A – Protocolo de recrutamento.....	33
Apêndice B – TCLE	37
Apêndice C – Relatório Técnico-científico Institucional	40
Anexo 1 – Carta de recebimento do Relatório Técnico-científico Institucional	47

1 Introdução

A cirurgia cardíaca está associada a diversas complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs), sendo as mais prevalentes a atelectasia, com incidência de 30 a 72%, e os derrames pleurais, presentes em 24 a 63% dos casos. Outras complicações incluem pneumonia (2 a 20%), lesão do nervo frênico (10 a 21%), ventilação mecânica (VM) prolongada por mais de 48 horas (2 a 6%) e síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) (0,4 a 2%) (TANNER; COLVIN, 2020). Essas condições frequentemente resultam em maior permanência hospitalar e aumento nos custos de cuidados de saúde, ressaltando a necessidade de estratégias preventivas e terapêuticas eficazes no manejo pós-operatório de pacientes submetidos à cirurgia cardíaca (TANNER; COLVIN, 2020).

A ventilação mecânica protetora é uma estratégia fundamental para minimizar lesões pulmonares induzidas pela ventilação. Ela consiste na utilização de volumes correntes reduzidos (geralmente 6 mL/kg de peso corporal ideal), pressões de platô inferiores a 30 cmH₂O e níveis adequados de pressão positiva no final da expiração (PEEP). Essa abordagem busca reduzir o estresse e a tensão nos pulmões, prevenindo complicações como volutrauma e atelectrauma. O biotrauma, por sua vez, refere-se à lesão pulmonar resultante da resposta inflamatória local e sistêmica desencadeada por agressões durante a ventilação mecânica, como volutrauma e atelectrauma. Esses fatores induzem a liberação de mediadores inflamatórios, contribuindo para danos adicionais ao tecido pulmonar (PINHEIRO et al., 2019).

A lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica (VILI, do inglês *Ventilator-Induced Lung Injury*) engloba um conjunto de danos ao pulmão decorrentes de estratégias ventilatórias inadequadas, incluindo barotrauma, volutrauma, atelectrauma e biotrauma. Essas lesões podem ser agravadas por pressões excessivas, volumes inadequados ou pela ciclagem repetitiva de colapso e reabertura alveolar durante a ventilação (PINHEIRO et al., 2019).

As complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs) são eventos adversos que podem ocorrer após procedimentos cirúrgicos, abrangendo desde atelectasias até pneumonia, insuficiência respiratória e exacerbação de doenças pulmonares pré-existentes. Essas complicações estão associadas ao aumento da morbidade, prolongamento do tempo de internação hospitalar e elevação da mortalidade (PINHEIRO et al., 2019). Dependendo da gravidade, as CPPs podem variar de atelectasias a quadros mais graves, como a síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) (CANET et al., 2010; NETO et al., 2016).

A atelectasia, caracterizada pelo colapso alveolar, é frequentemente agravada por anestesia geral, ventilação mecânica prolongada e isquemia-reperfusão induzida pela circulação

extracorpórea (CEC), levando a shunt intrapulmonar e hipóxia (TANNER; COLVIN, 2020). Já os derrames pleurais, comumente associados ao trauma cirúrgico, podem ser hemorrágicos ou linfocitários, estando frequentemente ligados à síndrome pós-pericardiotomia, bem como a lesão do nervo frênico, decorrente de dano direto ou hipotermia, comprometendo a função diafragmática, resultando em ventilação inadequada (TANNER; COLVIN, 2020). Em seguida, a pneumonia é uma complicação infecciosa prevalente, especialmente em casos de ventilação mecânica prolongada, estando associada a altas taxas de morbidade e mortalidade. Por fim, a SDRA emerge de uma resposta inflamatória multifatorial ao trauma cirúrgico, à transfusão e à reperfusão pulmonar, culminando em edema alveolar e insuficiência respiratória grave (TANNER; COLVIN, 2020).

No contexto de cirurgias cardíacas, a incidência esperada de complicações que necessitam de intervenção (CPPs grau ≥ 3) alcança 30%, segundo o escore modificado de complicações pulmonares de Kroenke et al. (COSTA LEME *et al.*, 2017; LAWRENCE; JOHN, 2015). Este escore consiste em uma escala ordinal modificada, variando de 0 a 5, conforme critérios previamente estabelecidos adaptado de Kroenke et al., 2015 (Tabela 1). O escore foi atribuído com base na pior complicação observada durante toda a hospitalização. O grau 0 indicava ausência de sintomas ou sinais clínicos. O grau 1 incluía manifestações leves, como tosse seca ou anormalidades pulmonares à ausculta sem alterações radiográficas significativas. O grau 2 envolvia complicações moderadas, como atelectasia confirmada radiologicamente associada a febre ou hipoxemia (saturação de $O_2 \leq 90\%$ em ar ambiente). O grau 3 referia-se a eventos graves, incluindo pneumonia, necessidade de ventilação não invasiva prolongada, reintubação por menos de 48 horas ou derrame pleural com necessidade de drenagem. O grau 4 era atribuído a pacientes que necessitaram de reintubação ou ventilação mecânica invasiva por 48 horas ou mais. O grau 5 correspondia ao óbito hospitalar.

Manifestações como a insuficiência respiratória (IR), que ocorre com uma incidência de 20–25%, exigem ventilação mecânica (VM) prolongada e maior permanência em UTI (BALL; COSTANTINO; PELOSI, 2016). Diversos fatores contribuem para a IR: atelectasia, hiperoxemia com a liberação de radicais livres (REBER *et al.*, 2000) e uma resposta inflamatória sistêmica relacionada à CEC (ALLOU *et al.*, 2014; LAFFEY; BOYLAN; CHENG, 2002).

Por sua vez, a CEC foi identificada como um fator determinante para a atelectasia pulmonar, sendo responsável por grande parte do shunt intrapulmonar e da redução acentuada da oxigenação sanguínea. Embora a cirurgia torácica também contribua, em menor escala, para o colapso pulmonar, o período de ausência de ventilação e perfusão durante a CEC foi destacado

como o principal insulto. Esses achados sugerem que a atelectasia desempenha um papel crucial na disfunção da troca gasosa observada após este procedimento (MAGNUSSON, 1997).

A suspensão da VM durante a CEC é amplamente adotada, uma vez que a oxigenação é realizada por sistemas extracorpóreos. Entretanto, essa prática está associada ao desenvolvimento de atelectasias e edema pulmonar hidrostático, resultando em redução da complacência pulmonar (ALLOU *et al.*, 2014; LAFFEY; BOYLAN; CHENG, 2002). Esses aspectos evidenciam a necessidade de aprofundar a investigação sobre estratégias ventilatórias mais adequadas no pós-operatório imediato desses pacientes.

Evidências indicam que a adoção de métodos de ventilação protetora pode atenuar a resposta inflamatória sistêmica e pulmonar em pacientes submetidos à revascularização do miocárdio (ZUPANCICH *et al.*, 2005), além de otimizar a capacidade residual funcional (CRF) e melhorar a saturação de oxigênio em comparação com a ventilação convencional (MIRANDA *et al.*, 2005).

A dP (*driving pressure*) é mais uma variável de VM protetora e é calculada como a diferença entre a pressão de platô (Pplat) no final da inspiração e a PEEP, refletindo a pressão de distensão exercida no sistema respiratório (NETO *et al.*, 2016; PELOSI; BALL, 2018). Este parâmetro tem sido associado à distensão pulmonar normalizada pela aeração residual. Em pacientes com SDRA, uma dP acima de 15 cmH₂O foi relacionada a maior mortalidade, com incremento de 5% no risco de morte para cada aumento de 1 cmH₂O (AMATO *et al.*, 2014; BUGEDO; RETAMAL; BRUHN, 2017; GUÉRIN *et al.*, 2016).

Em pacientes cirúrgicos, uma meta-análise (NETO *et al.*, 2016) mostrou uma associação de valores maiores de dP com o aumento do risco de CPP. Na prática clínica, muitos pacientes recebem VM com altos VC, PEEP variável e, frequentemente, dP elevada no intraoperatório (HESS *et al.*, 2013; JABER *et al.*, 2012).

O uso de manobra de recrutamento (MR) e PEEP individualizada, na intenção de reduzir dP, com baixo VC, durante o intraoperatório de pacientes cirúrgicos, tem grau de recomendação forte, segundo o consenso (YOUNG *et al.*, 2019). Recentemente, uma meta-análise em pacientes submetidos a cirurgias cardíacas demonstrou que MR de 40 cmH₂O pode reduzir atelectasias, eventos hipóxicos e pneumonia, além de melhorar a relação entre a pressão parcial de oxigênio no sangue arterial e a fração inspirada de oxigênio (PaO₂/FiO₂), sem causar distúrbios hemodinâmicos (HU *et al.*, 2022). Nesse mesmo estudo, numa análise de subgrupos, os efeitos obtidos por MR no POi resultou no mesmo efeito benéfico que a MR intraoperatória, porém com o benefício de não interferir no procedimento cirúrgico.

O estudo de Leme et al. (2017) investigou o impacto de uma estratégia intensiva de recrutamento alveolar na redução de complicações pulmonares pós-operatórias em pacientes com hipoxemia submetidos à cirurgia cardíaca. Trata-se de um ensaio clínico randomizado realizado em uma UTI no Brasil, entre 2011 e 2014, no qual 320 pacientes foram alocados em dois grupos: ventilação protetora associada a recrutamento alveolar intensivo ($n=157$) ou moderado ($n=163$). A estratégia intensiva envolveu ciclos de insuflação pulmonar de 60 segundos com PEEP de 30 cmH₂O e pressão controlada com um delta de 15 cmH₂O e posterior PEEP escolhida em 13 cmH₂O, enquanto a estratégia moderada utilizou insuflações sustentadas de 30 segundos sob pressão contínua de 20 cmH₂O e posterior PEEP escolhida em 8 cmH₂O. O desfecho primário, a gravidade das complicações pulmonares até a alta hospitalar, apresentou um deslocamento favorável ao grupo de recrutamento intensivo com uma redução absoluta de 11,1% (OR=1,86; IC 95%: 1,22–2,83; $p=0,003$), indicando redução na gravidade das complicações. Além disso, os pacientes deste grupo apresentaram menor tempo de internação na UTI (diferença absoluta de -1,0 dia; $p=0,01$) e no hospital (diferença de -1,5 dia; $p=0,04$), sem diferenças significativas na mortalidade hospitalar ou incidência de barotrauma. Esses achados sugerem que uma estratégia mais agressiva de recrutamento alveolar, com pressões mais elevadas e manobras prolongadas, pode oferecer benefícios adicionais na recuperação pulmonar pós-operatória, sem aumentar eventos adversos.

No HUPE, vinculado à UERJ, unidade de cirurgia cardíaca, os pacientes são ventilados no POi com VC protetor e PEEP de 10 cmH₂O, sem realização prévia de MR. Este valor de PEEP é mantido até o TRE.

O TRE representa uma etapa fundamental no processo de retirada da ventilação mecânica, sendo amplamente recomendada para avaliar a capacidade do paciente em manter a ventilação espontânea sem suporte ventilatório invasivo. Para que o teste seja conduzido com segurança e eficácia, alguns critérios rigorosos devem ser atendidos, garantindo que o paciente esteja apto para a extubação (BOLES et al., 2024; THILLE et al., 2023).

A adequação da troca gasosa também deve ser considerada, sendo recomendado que a pressão parcial de oxigênio (PaO_2) seja superior a 60 mmHg com fração inspirada de oxigênio (FiO_2) $\leq 0,4$ e pressão expiratória positiva final (PEEP) ≤ 8 cmH₂O. Adicionalmente, valores de $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ superiores a 150-200 mmHg e um pH arterial $\geq 7,30$ são parâmetros frequentemente utilizados para indicar a aptidão respiratória do paciente para o TRE (THILLE et al., 2023).

Outro aspecto relevante é a capacidade do paciente de manter ventilação espontânea eficiente. Para isso, o índice de respiração rápida e superficial (f/VC) deve ser inferior a

105 respirações/min/L, enquanto o volume corrente deve ser ≥ 5 mL/kg. Além disso, a pressão inspiratória máxima (PIM) deve estar abaixo de -20 cmH₂O, e a frequência respiratória não deve ultrapassar 35 incursões por minuto de maneira sustentada (BOLES et al., 2024).

O nível de consciência do paciente também exerce papel determinante na decisão de extubação, sendo recomendado que o escore da Escala de Coma de Glasgow seja igual ou superior a 8-10, garantindo que o paciente seja capaz de proteger adequadamente as vias aéreas (ESTEBAN et al., 2024). Por fim, sinais clínicos de desconforto respiratório, como uso de musculatura acessória, retracções torácicas, tosse ineficaz ou secreção excessiva, devem ser ausentes para que o teste seja conduzido com segurança (THILLE et al., 2023).

O TRE pode ser realizado por meio de diferentes métodos, incluindo o Tubo “T”, no qual o paciente respira sem qualquer suporte ventilatório, a ventilação com suporte pressórico baixo, utilizando uma pressão de suporte de 5-7 cmH₂O e PEEP ≤ 5 cmH₂O, ou ainda a aplicação de pressão contínua nas vias aéreas (CPAP) de 5 cmH₂O para estabilização das vias aéreas. A duração do teste geralmente varia entre 30 e 120 minutos, sendo interrompido precocemente caso ocorra instabilidade hemodinâmica, hipoxemia progressiva, aumento do trabalho respiratório ou acidose respiratória (MEADE et al., 2023).

Dessa forma, a aplicação criteriosa do TRE, fundamentada em evidências científicas robustas, representa um dos pilares para a tomada de decisão acerca da extubação em pacientes críticos, contribuindo para reduzir complicações associadas à falha no desmame ventilatório e melhorando os desfechos clínicos em unidades de terapia intensiva (ESTEBAN et al., 2024). No serviço de cirurgia cardíaca do HUPE o TRE é realizado utilizando uma pressão de suporte de 7 cmH₂O e PEEP 5 cmH₂O com duração de 30 minutos para todos os pacientes.

A estratégia ventilatória adotada no serviço, particularmente no que se refere à aplicação de um único valor fixo de PEEP durante a VM antes da realização do TRE, pode não ser adequada para contemplar a variabilidade interindividual da mecânica pulmonar. Estudos recentes demonstram que a individualização da PEEP com base na mecânica respiratória do paciente pode otimizar a oxigenação e minimizar complicações associadas à VM (GATTINONI et al., 2023; AMATO et al., 2022).

A inadequação de um valor único de PEEP pode levar a efeitos adversos como colapso alveolar em pacientes com maior tendência à atelectasia devido à aplicação de níveis insuficientes de PEEP, resultando em hipoxemia e maior risco de falha na extubação. Por outro lado, valores excessivos de PEEP podem provocar hiperdistensão alveolar, aumentando a tensão pulmonar e favorecendo lesão pulmonar induzida pelo ventilador (VILI) (CARAMELO et al., 2023; CRESSONI et al., 2022). Assim, a titulação individualizada da PEEP, considerando

parâmetros como a dP e a complacência do sistema respiratório, tem sido recomendada para equilibrar a ventilação protetora e reduzir complicações pulmonares (TITUS et al., 2024).

Dessa forma, abordagens personalizadas que utilizam técnicas como a titulação da PEEP baseada na menor dP, a avaliação da recrutabilidade pulmonar por tomografia de impedância elétrica e a mensuração da pressão transpulmonar têm sido sugeridas como alternativas mais seguras e eficazes para otimizar a estratégia ventilatória antes do TRE (KACMAREK et al., 2023; CHIUMELLO et al., 2022). Essas estratégias permitem um ajuste mais preciso da ventilação, contribuindo para melhores desfechos clínicos, incluindo menor tempo de ventilação mecânica, redução da taxa de reintubação e menor incidência de complicações respiratórias.

Diante desse contexto, o presente estudo avaliou o impacto da individualização da PEEP, ajustada pela menor dP após a manobra de recrutamento alveolar, como uma estratégia para otimizar a proteção pulmonar. A hipótese central foi que essa abordagem com PEEP individualizada resultaria em uma redução superior na incidência de CPPs em comparação com os protocolos que preconizam a PEEP fixa, impactando positivamente o prognóstico dos pacientes. Com base nos resultados do ensaio clínico, um relatório técnico-científico institucional (Anexo 1) foi elaborado e endereçado à gestão do Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE) para incorporação do protocolo baseado em evidências na prática clínica.

Esta implementação visa aprimorar os desfechos clínicos, promovendo melhores resultados assistenciais e otimizando os recursos do serviço de cirurgia cardíaca, uma vez que o hospital conta com apenas 12 leitos de UTI para o pós-operatório de cirurgia cardíaca e enfrenta uma alta demanda cirúrgica para atender a uma longa lista de espera do SUS. A redução da incidência de complicações graves pode gerar impactos econômicos, operacionais e na qualidade do serviço, otimizando recursos críticos e ampliando o acesso a cirurgias cardíacas.

1.2 Objetivo principal

O objetivo principal deste estudo foi o desenvolvimento de um relatório técnico-científico institucional da avaliação do impacto da inclusão de uma MR e posterior individualização da PEEP no POi de cirurgia cardíaca sobre a incidência de CPPs na Unidade de cirurgia cardíaca do HUPE.

1.3 Objetivos específicos

- Obter o diagnóstico situacional do serviço em relação à incidência e ao grau das CPPs no POi de cirurgia cardíaca do HUPE;
- Elaboração do protocolo com MR e titulação de PEEP para possível proposição ao serviço;
- Ensaio clínico randomizado de testagem de protocolo;
- Avaliação de resultados;
- Elaboração de relatório técnico-científico institucional para aprovação e futura implementação.

2. Materiais e Métodos

2.1 Diagnóstico situacional

A incidência de CPPs foi avaliada por meio de uma análise prospectiva, na qual foram avaliados 109 pacientes submetidos à cirurgia cardíaca entre novembro de 2020 e janeiro de 2021.

A realização do diagnóstico situacional sobre a incidência de CPPs neste serviço foi essencial para o conhecer o perfil da nossa população e identificar a frequência e gravidade das complicações pulmonares pós-operatórias.

Com relação à gravidade das complicações, optou-se por analisar as CPPs com escore ≥ 3 (Tabela 1), que incluem eventos graves, como pneumonia, necessidade de ventilação não invasiva prolongada, reintubação, ventilação mecânica invasiva por mais de 48 horas, além de derrame pleural com necessidade de drenagem. Estas complicações estão associadas a maior morbidade, necessidade prolongada de suporte ventilatório, maior tempo de internação na UTI e no hospital, além de possíveis implicações na mortalidade.

Essa análise permitiu evidenciar que 32% dos pacientes apresentaram CPPs com escore ≥ 3 , reforçando a relevância da implementação de medidas preventivas e otimização do suporte ventilatório protetor para redução dessas complicações.

Com base nesses resultados, foi elaborado um protocolo de recrutamento alveolar com titulação da PEEP pela menor driving pressure (dP) com o objetivo de reduzir a incidência dessas complicações para 15%, em conformidade com os achados de Costa Leme et al., 2017.

Os pacientes foram acompanhados diariamente por uma equipe multidisciplinar composta por médicos, fisioterapeutas, enfermeiros, nutricionistas e psicólogos, sendo submetidos a uma avaliação clínica minuciosa, incluindo exames laboratoriais e de imagem, como ultrassonografia, radiografia de tórax e, quando necessário, tomografia computadorizada de tórax. As radiografias torácicas, obtidas rotineiramente, foram analisadas no primeiro e

segundo dias do pós-operatório, assim como na data da alta da UTI, além da realização de exames adicionais conforme indicação clínica.

A interpretação dos exames clínicos, laboratoriais e de imagem, assim como a graduação das CPPs durante o período de diagnóstico situacional foram conduzidas de maneira independente por dois fisioterapeutas intensivistas, sendo consideradas apenas as avaliações concordantes para a atribuição do escore. A progressão das complicações foi monitorada diariamente até a alta hospitalar.

Tabela 1. Definição de complicações pulmonares no pós-operatório.

Grau 0

- Nenhum sinal ou sintoma.

Grau 1

- Tosse seca.
- Microatelectasias: achados pulmonares anormais e temperatura axilar $> 37,5^{\circ}\text{C}$ sem outra causa documentada e radiografia de tórax normal ou indisponível.
- Dispneia sem causa documentada.

Grau 2

- Tosse produtiva sem causa documentada.
- Broncoespasmo que resulte em mudança na terapia.
- Hipoxemia com $\text{SpO}_2 < 90\%$ em ar ambiente e dispneia ou sibilos.
- Atelectasia confirmada pela radiografia de tórax e temperatura axilar $> 37,5^{\circ}\text{C}$ ou achados pulmonares anormais.
- Hipercapnia transitória ($\text{PaCO}_2 > 50 \text{ mmHg}$) necessitando de intervenção.

Grau 3

- Derrame pleural com necessidade de toracocentese.
- Suspeita de pneumonia com evidência radiológica sem confirmação bacteriológica.
- Pneumonia confirmada com evidência radiológica e confirmação do organismo patológico (cultura ou Gram stain).
- Pneumotórax.
- Reintubação com período de ventilação < 48 horas.

Grau 4

- Necessidade de reintubação e/ou ventilação mecânica invasiva por 48 horas ou mais.

Grau 5

- Óbito antes da alta hospitalar.

PaCO₂ - pressão parcial de dióxido de carbono no sangue arterial; SpO₂ - saturação periférica de oxigênio. Fonte: adaptado de Kroenke *et al*, 2015.

2.2 Execução do ensaio clínico randomizado

2.2.1 Desenho de Estudo

A elaboração do Relatório Técnico-científico teve como base um estudo de coorte prospectivo que avaliou a incidência de CPPs no HUPE, vinculado à Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética do HUPE-UERJ (CAAE 47133121.1.0000.5282) e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (ReBEC) sob o código RBR-2nmwxwt. A inclusão dos pacientes ocorreu entre julho de 2021

e outubro de 2023, com a obtenção do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) disponível no Apêndice B.

Para este estudo, os pacientes foram inicialmente ventilados com uma estratégia protetora convencional, utilizando uma PEEP de 5 cmH₂O no POi e após um período de estabilização, randomizados aleatoriamente em dois grupos: Controle (GC) e Intervenção (GI). Este período de estabilização, com duração média entre 30 e 120 minutos, é caracterizado pelo tempo necessário para o ajuste inicial da VM, estabilização dos sinais vitais e dos níveis de amina, correção de fatores sanguíneos relacionados à coagulação e ajuste da volemia do paciente para uma medida de diâmetro de veia cava inferior (VCI) de 18 mm.

No grupo controle (GC), a PEEP foi elevada para 10 cmH₂O, conforme o protocolo já estabelecido no serviço, sendo mantida até a realização do TRE. No grupo intervenção (GI), os pacientes foram submetidos a uma manobra de recrutamento alveolar (MR) utilizando uma PEEP de 35 cmH₂O combinada com um delta de pressão inspiratória de 15 cmH₂O, resultando em uma pressão de pico (Ppi) de 50 cmH₂O. Em seguida, foi realizada a titulação decremental da PEEP.

Cinco minutos após a MR, foram coletadas variáveis relacionadas à mecânica pulmonar e parâmetros gasométricos. A PEEP determinada durante a titulação foi mantida até o TRE realizado em pressão de suporte de 7 cmH₂O e PEEP de 5 mH₂O por 30 minutos, conforme ilustrado na Figura 1.

Os pacientes foram acompanhados diariamente por uma equipe multidisciplinar composta por médicos, fisioterapeutas, enfermeiros, nutricionistas e psicólogos, sendo submetidos a uma avaliação clínica minuciosa, incluindo exames laboratoriais e de imagem, como ultrassonografia, radiografia de tórax e, quando necessário, tomografia computadorizada de tórax. As radiografias torácicas, obtidas rotineiramente, foram analisadas no primeiro e segundo dias do pós-operatório, assim como na data da alta da UTI, além da realização de exames adicionais conforme indicação clínica.

A interpretação dos exames clínicos, laboratoriais e de imagem, assim como a graduação das CPPs foram conduzidas de maneira independente por dois fisioterapeutas intensivistas, sendo consideradas apenas as avaliações concordantes para a atribuição do escore. A progressão das complicações foi monitorada diariamente até a alta hospitalar.

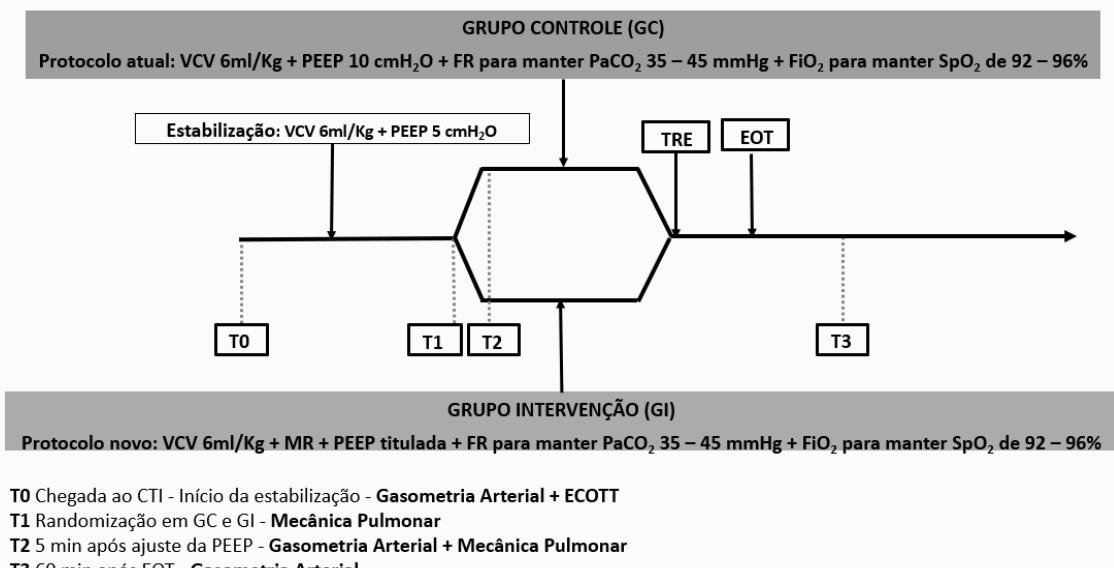


Figura 1 - Linha do tempo do protocolo de pesquisa no pós-operatório imediato.

VCV – ventilação com volume controlado; PEEP - pressão positiva ao final da expiração, do inglês *positive end-expiratory pressure*; GC – grupo controle; GI – grupo intervenção; TRE – teste de respiração espontânea; EOT – extubação orotraqueal; ECOTT – ecocardiograma transtorácico; MR – manobra de recrutamento alveolar; FR – frequência respiratória; FiO₂ – fração inspirada de oxigênio; PaCO₂ – pressão parcial arterial de dióxido de carbono; SpO₂ – saturação periférica de oxigênio; GSA – gasometria arterial.

2.2.2 Critérios de inclusão

Foram incluídos no estudo pacientes com idade igual ou superior a 18 anos, que tenham assinado o TCLE, submetidos à cirurgia cardíaca eletiva que envolvesse o uso programado de CEC, clampeamento da artéria aorta (CLAMP), aplicação de solução cardioplégica e esternotomia mediana. Adicionalmente, foi necessário que a volemia estivesse ajustada para uma medida de veia cava inferior (VCI) superior a 18 mm e pressão arterial média (PAM) acima de 80 mmHg (Tabela 2).

2.2.3 Critérios de exclusão

Foram excluídos do estudo os pacientes que se recusaram a participar, aqueles com histórico de cirurgia cardíaca prévia, fibrose pulmonar, enfisema pulmonar, ou pneumonia diagnosticada nos últimos 30 dias. Também foram excluídos pacientes com hipertensão arterial pulmonar (HAP) e pressão sistólica da artéria pulmonar (PSAP) superior a 45 mmHg, necessidade de intubação orotraqueal (IOT) antes da chegada à sala de cirurgia, obesidade com índice de massa corpórea (IMC) superior a 40 kg/m², necessidade de noradrenalina > 2 µg/kg/min, necessidade de reoperação, pneumotórax e/ou presença de drenos borbulhantes, portadores de doenças neuromusculares, aqueles submetidos à cirurgia de revascularização do

miocárdio (CRVM) com utilização de enxerto de artéria mamária interna direita (MID), artéria radial, ou que apresentaram intercorrências intraoperatórias (Tabela 2).

2.2.4 Critérios de interrupção

Os critérios para interrupção do estudo incluem instabilidade hemodinâmica com uso de noradrenalina superior a 2 µg/kg/min, pressão arterial média (PAM) inferior a 60 mmHg, arritmias agudas, e queda na saturação de oxigênio (SpO_2) abaixo de 90%. Esses parâmetros indicarão a interrupção do protocolo de recrutamento alveolar e titulação de PEEP. Além disso, uma relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ inferior a 150 mmHg após 60 minutos com PEEP de 10 cmH₂O no grupo controle será critério para a retirada do paciente do estudo, com posterior realização de manobra de resgate da oxigenação.

Tabela 2. Critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Idade ≥ 18 anos	Cirurgia cardíaca prévia
CEC + CLAMP + Cardioplegia	Pneumonia (últimos 30 dias)
Esternotomia mediana	COVID-19 (últimos 30 dias)
Diâmetro de VCI > 18 mm	Fibrose pulmonar
PAM > 80 mmHg	Enfisema pulmonar
	PSAP > 45 mmHg
	IOT antes da chegada em CC
	Obesidade (IMC > 40 kg/m ₂)
	Noradrenalina > 2 µg/kg/min
	Necessidade de re-operação
	Pneumotórax ou drenos borbulhantes
	Doença Neuromuscular
	CRVM com uso de Artéria MID
	CRVM com uso de Artéria Radial
	Intercorrência intraoperatória
	PCR no POI durante estabilização

CEC - circulação extracorpórea; CLAMP - clampeamento aórtico; VCI - veia cava inferior; PAM - pressão arterial média; PSAP - pressão sistólica de artéria pulmonar; IOT - intubação orotraqueal; CC - centro cirúrgico; IMC - índice de massa corporal; CRVM - cirurgia de revascularização do miocárdio; MID - mamária interna direita; PCR - parada cardiorrespiratória.

2.3. Intervenções

2.3.1 Grupo Controle

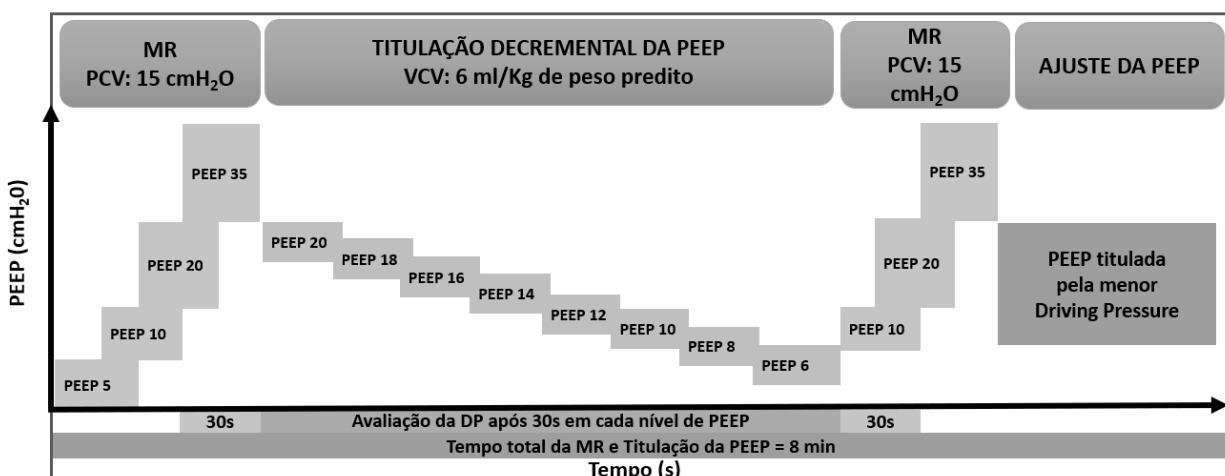
Os pacientes do grupo controle (GC) foram admitidos em ventilação mecânica protetora convencional no POi em modo volume controlado (VCV) com um volume corrente (VC) de 6 ml/kg de peso predito, PEEP de 5 cmH₂O, guardando uma relação entre o tempo inspiratório e o tempo expiratório (I:E) de 1:2, frequência respiratória (FR) para uma pressão parcial arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) entre 35 e 45 mmHg e a mínima fração inspirada de oxigênio (FiO₂) para uma saturação periférica de oxigênio (SpO₂) entre 92% e 96%. Essa estratégia era mantida durante período de estabilização, com duração média entre 30 e 120 minutos, caracterizado pelo tempo necessário para a estabilização dos sinais vitais e dos níveis de amina, correção de fatores sanguíneos relacionados à coagulação e ajuste da volemia do paciente para uma medida de diâmetro de VCI de 18 mm. Em seguida, as variáveis de mecânica pulmonar e gasométricas eram coletadas e os pacientes randomizados aleatoriamente. Posteriormente, o GC tinha a PEEP elevada para 10 cmH₂O e após 5 minutos de PEEP ajustada eram coletadas as variáveis de mecânica pulmonar e gasometria arterial. Os pacientes foram ventilados com essa estratégia até o momento do TRE realizado em pressão de suporte de 7 cmH₂O e PEEP de 5 mH₂O por 30 minutos.

2.3.2 Grupo Intervenção

Os pacientes do grupo intervenção (GI) foram admitidos em ventilação mecânica protetora convencional no POi em modo volume controlado (VCV) com um volume corrente (VC) de 6 ml/kg de peso predito, PEEP de 5 cmH₂O, guardando uma relação entre o tempo inspiratório e o tempo expiratório (I:E) de 1:2, frequência respiratória (FR) para uma pressão parcial arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) entre 35 e 45 mmHg e a mínima fração inspirada de oxigênio (FiO₂) para uma saturação periférica de oxigênio (SpO₂) entre 92% e 96%. Essa estratégia inicial era mantida durante o período de estabilização com duração média entre 30 e 120 minutos, caracterizado pelo tempo necessário para a estabilização dos sinais vitais e dos níveis de amina, correção de fatores sanguíneos relacionados à coagulação e ajuste da volemia do paciente para uma medida de diâmetro de VCI de 18 mm. Em seguida, as variáveis de mecânica pulmonar e gasométricas eram coletadas e os pacientes randomizados aleatoriamente. Posteriormente, o GI era submetido a MR realizada em modo pressão controlada (PCV) com pressão inspiratória de 15 cmH₂O, FiO₂ = 100%, FR = 10 ipm, relação I:E de 1:1 e PEEP inicial de 5 cmH₂O. A fase incremental do recrutamento ocorria por meio do acréscimo da PEEP para 10, 20 e 35 cmH₂O, o paciente permanecia por 30s em cada nível de PEEP. Posteriormente, a

PEEP era reduzida para 20 cmH₂O e neste momento era realizada a troca do modo ventilatório para volume controlado (VCV) com um VC de 6 ml/kg de peso predito, FR = 15 ipm, relação I:E de 1:2 e FiO₂ = 100%. Em seguida a redução da PEEP ocorria de 2 em 2 cmH₂O até uma PEEP de 6 cmH₂O, o paciente era mantido por 30s em cada nível de PEEP. A dP era calculada em cada degrau por meio de uma pausa de 2 segundos ao final da inspiração ao término dos 30s em cada nível de PEEP. Ao término da manobra de recrutamento a PEEP era elevada novamente até o valor de 35 cmH₂O por 30 s e a titulação da PEEP era feita na PEEP de menor dP, o tempo total da manobra era de 8 minutos, como demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Manobra de recrutamento alveolar e titulação da PEEP



PCV - ventilação com pressão controlada; VCV - ventilação com volume controlado; VC - volume corrente; PEEP - pressão positiva ao final da expiração (*positive end-expiratory pressure*); FR - frequência respiratória; FiO₂ - fração inspirada de oxigênio; DP - pressão de distensão alveolar (*driving pressure*).

2.4 Desfechos

2.4.1 Desfecho primário

O desfecho primário do ensaio clínico foi a incidência e gravidade das CPPs por meio do escore modificado de complicações pulmonares de Kroenke *et al*, 2015 (LAWRENCE; JOHN, 2015). A interpretação dos exames clínicos, laboratoriais e de imagem, assim como a graduação das CPPs foram conduzidas de maneira independente por dois fisioterapeutas intensivistas, sendo consideradas apenas as avaliações concordantes para a atribuição do escore. A progressão das complicações foi monitorada diariamente até a alta hospitalar.

2.4.2 Desfechos secundários

Os desfechos secundários do ensaio clínico foram: tempo de permanência em UTI; mortalidade até a alta hospitalar; a dP (PEEP de 10 cmH₂O no grupo controle e a dP do grupo intervenção após a titulação da PEEP) e a relação PaO₂/FiO₂.

2.5 Tamanho amostral

O cálculo do tamanho amostral indicou a necessidade de 76 pacientes em cada grupo, considerando um erro alfa de 0,05 e poder estatístico de 80%, considerando uma redução de CPPs de pelo menos 50%, entre os grupos controle (incidência observada de 32%) e intervenção (incidência esperada de 15%), totalizando uma meta de 152 pacientes para conclusão do ensaio, baseado no tamanho de efeito evidenciado pelos resultados do diagnóstico situacional.

Para um erro α de 0,05 e um tamanho de efeito $|P|$ de 0,17, o tamanho amostral foi calculado em 76 pacientes para cada grupo, resultando em uma meta total de 152 pacientes para concluir o ensaio. O cálculo amostral foi realizado utilizando a ferramenta “Power/Sample Size Calculator - Inference for Proportions: Comparing Two Independent Samples” (www.stat.ubc.ca). Considerou-se um valor de $p < 0,05$ como estatisticamente significativo.

Inicialmente, 100 pacientes foram randomizados para o ensaio, com a previsão de incluir mais 52 pacientes após uma análise parcial dos resultados. Após os 100 pacientes randomizados, considerando as perdas e utilizando o cálculo de poder amostral no software Minitab (Power and Sample Size), a *posteriori*, verificou-se o poder estatístico de 89,3% (0,8927), indicando um excelente poder amostral para detectar as diferenças, sendo assim, decidiu-se encerrar a coleta de dados em 31 de outubro de 2023.

2.6 Randomização

A randomização foi realizada utilizando o software disponível em https://aurora.shinyapps.io/random_gen/, registrada sob o número (PIN 270107), com estratificação de 100 pacientes de forma aleatória na proporção 1:1. Após o fornecimento do consentimento informado assinado, os pacientes eram selecionados pela equipe cirúrgica do HUPE, que permanecia cega para a alocação. O paciente era registrado na lista de alocação e selecionado para cirurgia na data programada, considerando critérios como urgência do caso, disponibilidade de prótese (em casos de troca valvar) e disponibilidade do banco de sangue para tipagem sanguínea.

A partir do registro na lista, a remoção do paciente não era possível, garantindo a adesão ao princípio da intenção de tratar, ou seja, todos os pacientes registrados eram analisados

independentemente de desvios no protocolo. Além disso, todos os pacientes foram mantidos cegos em relação à sua alocação no estudo.

2.7 Métodos estatísticos e análise de dados

Os dados das variáveis contínuas foram apresentados como mediana e intervalo interquartílico, enquanto as variáveis categóricas foram expressas em contagens absolutas e percentuais. Para a análise estatística, foram utilizados o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, o teste não paramétrico de Mann-Whitney e o teste de Qui-Quadrado para avaliação de associações estatísticas.

2.8 Elaboração de Relatório Técnico Científico Institucional

O Relatório Técnico Científico Institucional (Apêndice B) foi entregue a gestão do serviço de cirurgia cardíaca do HUPE (Anexo 1) contendo os seguintes tópicos:

- Diagnóstico situacional em relação a incidência de CPPs no serviço;
- Métodos procedimentais da MR e titulação de PEEP;
- Conclusões sobre o impacto da estratégia ventilatória nas CPPs;
- Sugestões para possível implementação da estratégia ventilatória protetora no POI de cirurgia cardíaca do HUPE.

3 Resultados

3.1 Diagnóstico situacional

Uma coorte de 109 pacientes foi avaliada e a incidência de CPPs grau ≥ 3 , de 32% conforme a definição adaptada de Kroenke et al., 2015.

3.2 População estudada

Durante o período de coleta de dados, entre julho de 2021 e outubro de 2023, foram realizadas 843 cirurgias. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 743 pacientes foram excluídos, resultando na inclusão e randomização de 100 pacientes: 50 alocados para o grupo controle e 50 para o grupo intervenção (Figura 3). No grupo controle, um paciente foi retirado do estudo por necessitar de manobra de recrutamento alveolar de resgate devido a uma relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ abaixo de 150 mmHg após 60 minutos com PEEP de 10 cmH₂O. No grupo intervenção, dois pacientes preencheram critérios de interrupção: um devido à ocorrência de

hipertensão e bradicardia durante a fase de titulação da PEEP e o outro por apresentar hipotensão durante a fase de recrutamento alveolar, associada a instabilidade hemodinâmica, uso de noradrenalina $> 2\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ e PAM $< 60 \text{ mmHg}$.

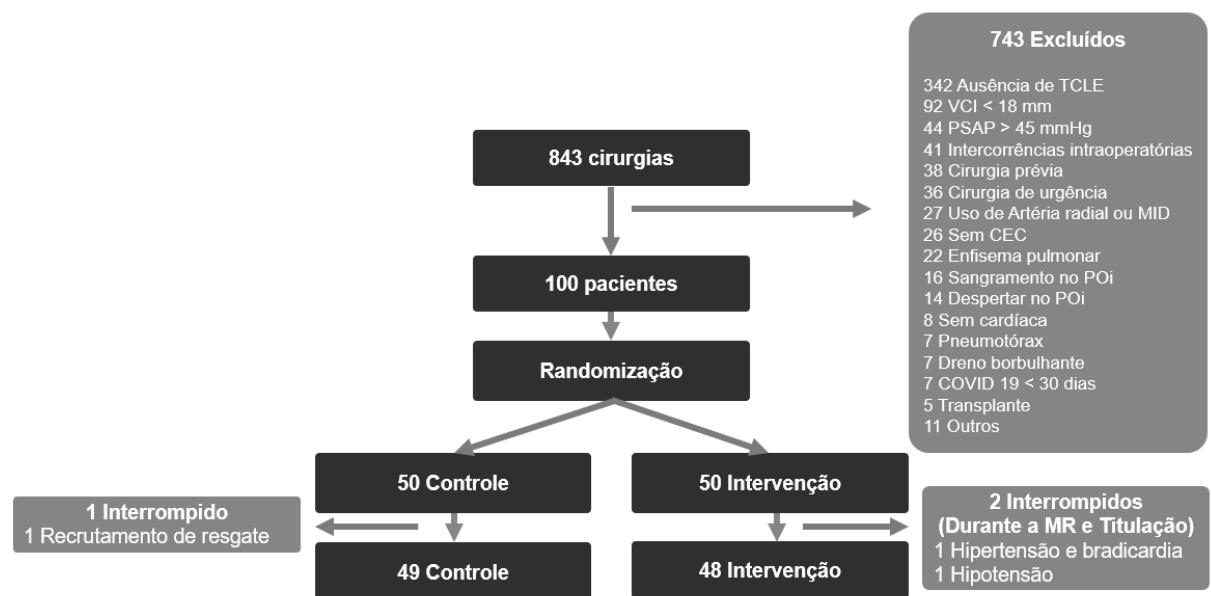


Figura 3 - Fluxograma dos pacientes do estudo

TCLE - termo de consentimento livre e esclarecido; VCI - veia cava inferior; PSAP - pressão sistólica de artéria pulmonar; CEC – circulação extracorpórea; MID - artéria mamária interna direita; POi - pós-operatório imediato; MR - manobra de recrutamento alveolar.

A análise das características basais dos participantes nos grupos Controle e Intervenção, apresentada na Tabela 3, revelou a ausência de diferenças estatisticamente significativas em relação às variáveis estudadas, indicando uma distribuição homogênea entre os grupos e assegurando a comparabilidade dos resultados obtidos.

Quanto à distribuição de gênero, no grupo Controle, a proporção de participantes do sexo feminino foi de 34,7%, enquanto no grupo Intervenção foi de 43,8% ($p = 0,361$). Em relação aos participantes do sexo masculino, as proporções foram de 65,3% e 56,3%, respectivamente ($p=0,361$). Esses resultados confirmam que não houve predominância de um gênero sobre o outro entre os grupos, permitindo excluir o gênero como um fator potencial de confusão na interpretação dos desfechos.

Já com relação à idade, a mediana da idade foi semelhante entre os grupos, sendo 65 anos (intervalo interquartil: 58-68) no grupo Controle e 66 anos (intervalo interquartil: 58-72) no grupo Intervenção, com $p=0,196$. Essa homogeneidade etária reflete a adequação do processo de randomização, evitando possíveis vieses associados à idade, que é um fator de risco relevante em cirurgias cardíacas.

O índice de massa corporal (IMC) apresentou mediana de 27 [24-29] kg/m² no grupo Controle e 27 [25-31] kg/m² no grupo Intervenção, sem diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p=0,201$). Esses resultados garantem que as condições relacionadas ao peso corporal, como obesidade, não influenciaram os desfechos de forma desigual entre os grupos.

Tabela 3. Características antropométricas de base.

Variáveis	Controle N (%)	Intervenção N (%)	<i>p</i> valor
Feminino	17 (34,7%)	21 (43,8%)	0,361
Masculino	32 (65,3%)	27 (56,3%)	0,361
Idade (anos)	65 (58-68)	66 (58-72)	0,196
IMC (Kg/m2)	27 (24-29)	27 (25-31)	0,201

IMC – índice de massa corporal.

A análise comparativa entre os grupos Controle e Intervenção em relação aos tipos de cirurgia e aos tempos intraoperatórios, representada na Tabela 4, não revelou diferenças estatisticamente significativas, indicando que ambos os grupos eram homogêneos quanto às características cirúrgicas.

Tabela 4. Características intraoperatórias.

Tipos de cirurgia	Controle N (%)	Intervenção N (%)	<i>p</i> valor
CIA	1 (2,0%)	1 (2,1%)	0,988
CRVM	38 (77,6%)	34 (70,8%)	0,449
TV	8 (16,3%)	9 (18,8%)	0,754
CRVM +TV	2 (4,1%)	3 (6,3%)	0,629
PLASTIA	0 (0,0%)	1 (2,1%)	0,310
Tempo de CEC (min)	85 (73-99)	85 (66-112)	0,988
Tempo de CLAMP (min)	74 (20-80)	66 (58-83)	0,694

CIA – comunicação interatrial; CRVM – cirurgia de revascularização do miocárdio; TV – troca valvar; CEC – circulação extracorpórea; CLAMP – clampeamento de artéria aorta.

Com relação às características ventilatórias iniciais dos grupos foi possível observar que o VC apresentou valores medianos semelhantes entre os grupos, com 370 mL (300-400) no controle e 375 mL (320-400) no grupo intervenção ($p = 0,361$), assim como a relação VC/peso predito, com medianas de 6,03 mL/kg (5,96-6,06) no grupo controle e 6,03 mL/kg (5,99-6,06) no grupo intervenção ($p = 0,186$). Já a variável dP também não apresentou diferenças estatisticamente significativas, sendo de 9,00 cmH₂O (7-10) no grupo controle e 9,00 cmH₂O

(8-11) no grupo intervenção ($p = 0,221$), bem como a relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ($p = 0,500$) e a complacência estática (Cst) que embora tenha apresentado variação maior no grupo controle (44,44 mL/cmH₂O [32,00-57,14]) em comparação ao grupo intervenção (40,45 mL/cmH₂O [36,25-48,65]), também não teve significância estatística ($p = 0,355$) como podemos observar na Tabela 5.

Tabela 5. Características ventilatórias iniciais.

Dados ventilatórios	Controle	Intervenção	<i>p</i> valor
VC (mL)	370 (300-400)	375 (320-400)	0,361
VC/ peso predito (mL/Kg)	6,03 (5,96-6,06)	6,03 (5,99-6,06)	0,186
dP (cmH ₂ O)	9,00 (7-10)	9,00 (8-11)	0,221
Cst (mL/cmH ₂ O)	44,44 (32,00-57,14)	40,45 (36,25-48,65)	0,355
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	285 (208-382)	347 (249,5-381)	0,500

VC - volume corrente; dP - *driving pressure* (pressão de distensão alveolar); Cst - complacência estática; $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$: Relação entre a pressão parcial de oxigênio no sangue arterial e a fração inspirada de oxigênio.

3.3 Desfechos

Os resultados das amostras pós-intervenção, apresentados na Tabela 6, demonstram diferenças significativas entre os grupos Controle e Intervenção em relação aos parâmetros respiratórios e desfechos clínicos avaliados. O grupo Intervenção apresentou valores significativamente menores de PEEP, com uma mediana de 8 cmH₂O (intervalo interquartil: 6-10), enquanto no grupo Controle a mediana foi de 10 cmH₂O (10-10) ($p < 0,001$). De maneira semelhante, a dP foi inferior no grupo Intervenção, com valores de 6 cmH₂O (5-7), comparados aos 8 cmH₂O (7-11) do grupo Controle ($p < 0,001$), evidenciando uma menor sobrecarga ventilatória.

A complacência estática do sistema respiratório (Cst) também apresentou melhora significativa no grupo Intervenção, com uma mediana de 53 mL/cmH₂O (47-66), em contraste com os 41 mL/cmH₂O (33-51) observados no grupo Controle ($p < 0,001$). Além disso, a relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ foi significativamente maior no grupo Intervenção, com valores de 472 (388-571), comparados aos 377 (289-410) do grupo Controle ($p < 0,001$), sugerindo uma melhora na oxigenação dos pacientes submetidos à intervenção.

Em relação ao tempo de ventilação mecânica, observou-se um aumento significativo no grupo Intervenção, com uma mediana de 420 minutos (339-498), enquanto no grupo Controle esse tempo foi de 275 minutos (235-445) ($p = 0,003$). No entanto, não houve diferença

significativa no tempo de internação na UTI, com ambos os grupos apresentando uma mediana de 4 dias (3-5) ($p = 0,899$).

Tabela 6. Características ventilatórias pós-intervenção.

	Controle	Intervenção	p valor
PEEP (cmH₂O)	10 (10-10)	8 (6-10)	<0,001*
dP (cmH₂O)	8 (7-11)	6 (5-7)	<0,001*
Cst (mL/cmH₂O)	41 (33-51)	53 (47-66)	<0,001*
PaO₂/FiO₂	377 (289-410)	472 (388-571)	<0,001*
Tempo VM (min)	275 (235-445)	420 (339-498)	0,003*
Tempo UTI (dias)	4 (3-5)	4 (3-5)	0,899

PEEP: *Positive end-expiratory pressure* (pressão positiva no final da expiração); dP – *Driving pressure* (pressão de distensão alveolar); Cst - complacência estática; PaO₂/FiO₂: Relação entre a pressão parcial de oxigênio no sangue arterial e a fração inspirada de oxigênio; VM – ventilação mecânica; UTI - unidade de terapia intensiva.

A manutenção de pressões pulmonares reduzidas após a MR surge como uma estratégia relevante na prevenção da pneumonia no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca, conforme evidenciado pelos achados deste estudo e demonstrado na Figura 4.

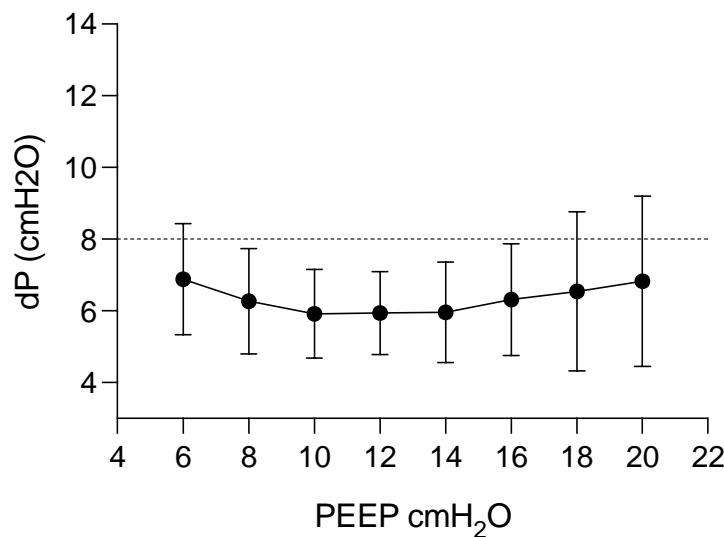


Figura 4. Efeito do recrutamento sobre a dP.

PEEP: *Positive end-expiratory pressure* (pressão positiva no final da expiração); dP – *driving pressure* (pressão de distensão alveolar).

No grupo Intervenção (n=48), 72% dos pacientes (n=35) apresentaram PEEP ≤10 cmH₂O, PEEP utilizada pelo protocolo do hospital.

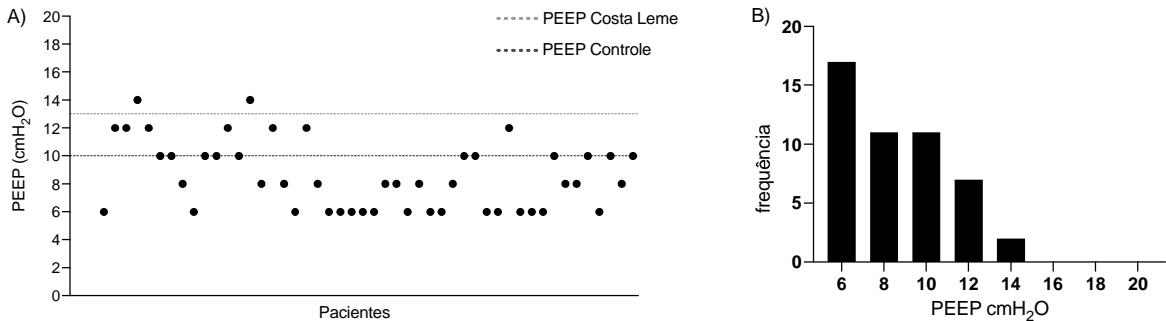


Figura 5. A PEEP individualizada de todos os pacientes do grupo intervenção após a MR em comparação com a PEEP de 13 cmH₂O de Costa Leme e PEEP 10 cmH₂O do grupo controle. B – Frequência ou número de vezes em que aquele nível de PEEP representa a PEEP de menor dP. PEEP: Positive end-expiratory pressure (pressão positiva no final da expiração).

A Figura 5 apresentada acima evidencia a relevância da individualização da PEEP para otimização da mecânica respiratória pós-operatória. No painel A da Figura 5, observa-se a dispersão das PEEPs individualizadas, demonstrando que uma abordagem fixa, seja a PEEP de 10 cmH₂O utilizada no grupo controle ou a PEEP de 13 cmH₂O empregada no protocolo de Costa Leme et al. (2017), não contempla a variabilidade interindividual da mecânica pulmonar, levando a um número considerável de pacientes recebendo níveis de PEEP superiores ou inferiores ao necessário para a minimização da dP. Já o painel B demonstra a Frequência ou número de vezes em que aquele nível de PEEP representa a PEEP de mínima dP. Neste gráfico podemos observar que à medida que a PEEP aumenta, a chance daquela PEEP ser a de mínima dP diminui, reforçando que a estratégia de titulação decremental da PEEP é fundamental para evitar pressões excessivas que possam resultar em sobredistensão pulmonar.

A Figura 6 apresenta a distribuição da variabilidade interindividual da dP em diferentes níveis de PEEP. O gráfico ilustra a frequência relativa de cada valor de dP para cada nível de PEEP, evidenciando a dispersão dos dados e a heterogeneidade na resposta dos indivíduos aos distintos ajustes de PEEP.

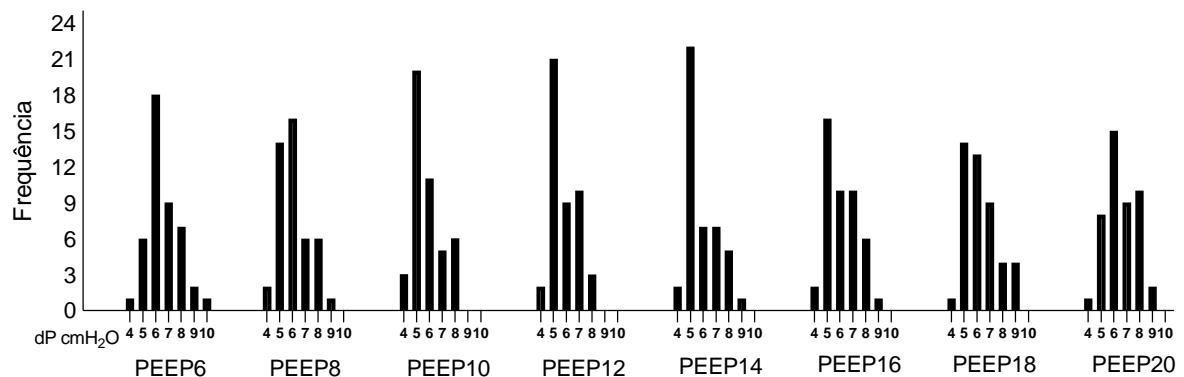


Figura 6. Variabilidade da driving pressure (dP) em diferentes níveis de PEEP.

PEEP: *Positive end-expiratory pressure* (pressão positiva no final da expiração); dP – *driving pressure* (pressão de distensão alveolar).

A incidência CPPs ≥ 3 foi de 40,8% no grupo controle, em comparação com 12,5% no grupo intervenção, representando uma redução de 69,4% no grupo intervenção ($p=0,002$), com risco relativo (RR) de 3,27 (IC 95% 1,56-6,82) conforme demonstrado na Tabela 7. A descrição para as CPPs ≥ 3 está representada na Tabela 8.

Tabela 7. Incidência de CPPs ≥ 3 e pneumonia.

	Controle N (%)	Intervenção N (%)	Risco Relativo (IC 95%)	p valor
CPPs ≥ 3	20 (40,8%)	6 (12,5%)	3,27 (1,56-6,82)	0,002*
Pneumonia	14 (28,6%)	4 (8,3%)	3,43 (1,34 a 8,80)	0,010*

CPPs: Complicações pulmonares pós-operatórias

Tabela 8. Descrição para CPPs ≥ 3 entre os grupos.

	Controle N (%)	Intervenção N (%)	Risco Relativo (IC 95%)	p valor
Pneumonia	14 (28,6%)	4 (8,3%)	3,43 (1,34 a 8,80)	0,010*
Reoperação	2 (4,1%)	3 (6,3%)	0,65 (0,12 a 3,68)	0,629
Pneumotórax	2 (4,1%)	0 (0,0%)	- X -	0,157
VM prolongada	2 (4,1%)	0 (0,0%)	- X -	0,157
Reintubação < 48h	0 (0,0%)	1 (2,1%)	- X -	0,310
Derrame pleural	1 (2,0%)	0 (0,0%)	- X -	0,320
Óbito	3 (6,1%)	1 (2,1%)	2,94 (0,36 a 24,30)	0,317

VM - ventilação mecânica.

4 Discussão

A incidência de CPPs ≥ 3 foi de 40,8% no grupo controle contra 12,5% no grupo intervenção, resultando em uma redução da incidência em 69,4% no grupo intervenção ($p=0,002$), com risco relativo (RR) de 3,27 (IC 95% 1,56-6,82), com uma redução absoluta de 28,3%. Já a incidência de pneumonia foi 70,7% menor no grupo intervenção (8,3%) em relação ao grupo controle (28,6%), $p=0,010$, com risco relativo (RR) de 3,43 (IC 95% 1,34-8,80).

A escolha por analisar as CPPs de grau maior ou igual a 3 como um desfecho relevante foi devido ao impacto clínico significativo dessas complicações na evolução dos pacientes, uma vez que a presença de um escore ≥ 3 inclui eventos graves, como pneumonia, necessidade de

ventilação não invasiva prolongada, reintubação e ventilação mecânica invasiva por mais de 48 horas, além de derrame pleural com necessidade de drenagem. Essas complicações estão associadas a maior morbidade, necessidade prolongada de suporte ventilatório, maior tempo de internação na UTI e no hospital, além de possíveis implicações na mortalidade.

A MR seguida da titulação individualizada da PEEP permitiu que o grupo intervenção apresentasse medianas significativamente menores de dP (6,0 cmH₂O vs. 8,0 cmH₂O; p < 0,001), reforçando a hipótese de que a redução da pressão de distensão está diretamente associada à proteção pulmonar.

Nos pacientes do grupo intervenção, tanto a média quanto a mediana da dP permaneceram em 6 cmH₂O dentro do intervalo de PEEP entre 8 e 16 cmH₂O. Esse achado sugere que, do ponto de vista da proteção pulmonar, qualquer nível de PEEP dentro desse intervalo garantiria a menor dP. No entanto, considerando os efeitos hemodinâmicos da PEEP, a escolha do menor valor dentro desse intervalo faz sentido sob uma perspectiva fisiológica. Além disso, apenas dois pacientes necessitaram de PEEP acima de 13 cmH₂O, o que sugere que a PEEP adotada por Costa Leme et al. (2017) pode ter sido excessiva, não apenas em termos de proteção pulmonar, mas também na otimização hemodinâmica.

A variação da dP entre diferentes níveis de PEEP evidenciou a dificuldade de estabelecer um nível universal que otimize a mecânica ventilatória de forma homogênea. Neste estudo, a individualização da PEEP permitiu a minimização da dP de forma personalizada, promovendo otimização alveolar, prevenindo tanto o colapso quanto a hiperinsuflação pulmonar e reduzindo forças de cisalhamento sem comprometer a estabilidade cardiovascular.

O conceito de "Open Lung Concept" (OLC), defendido por Lachmann (1992), sustenta exatamente esse princípio: recrutar o pulmão colapsado e ajustar a PEEP para evitar tanto a atelectasia quanto a hiperinsuflação alveolar. Dessa forma, a aplicação de uma PEEP fixa, mesmo após o recrutamento, pode resultar em pressões excessivas para alguns pacientes e inadequadas para outros. Estratégias ventilatórias baseadas nesse conceito podem minimizar a sobrecarga no ventrículo direito sem comprometer a mecânica respiratória (MIRANDA et al., 2004), o que pode contribuir para uma melhor estabilidade hemodinâmica, reduzindo a necessidade de vasopressores e minimizando seus efeitos adversos no pós-operatório imediato.

Além disso, a individualização da PEEP com base na menor dP, utilizando valores inferiores aos preconizados em protocolos anteriores, pode ter reduzido o impacto hemodinâmico da ventilação. Um dos efeitos da PEEP é a diminuição do gradiente de pressão de retorno venoso e o aumento da pressão atrial direita, o que pode reduzir a pré-carga dos ventrículos direito e esquerdo, diminuir a pós-carga ventricular esquerda e aumentar a pós-carga

ventricular direita, favorecendo a insuficiência ventricular direita a longo prazo (JOZWIAK; TEBOUL, 2024). Entretanto novos estudos precisam ser realizados para determinar a real magnitude da redução de drogas vasopressoras após a MR em pacientes com a volemia ajustada no POI de cirurgia cardíaca.

A MR com PEEP individualizada, não apenas reduziu a dP de forma significativa, mas também melhorou a relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (472 vs. 377, $p<0,001$) viabilizando a redução do consumo de oxigênio no grupo Intervenção.

Estudos pré-clínicos demonstram que a atelectasia não apenas reduz a complacência pulmonar e compromete a troca gasosa, mas também desencadeia um fenômeno de *double hit*, no qual a hipoventilação regional associada ao colapso alveolar promove a ativação de vias inflamatórias mediadas por citocinas, favorecendo o desenvolvimento de pneumonia (GATTINONI; CARLESSO; CAIRONI, 2012; PELOSI; ROCCO, 2008).

Além disso, a ventilação mecânica com pressões elevadas e sem MR adequada resulta em aumento expressivo dos níveis de Fator de necrose tumoral alfa (TNF- α) no fluido broncoalveolar, o que está associado a maior inflamação pulmonar e maior risco de falência respiratória. Além disso, TNF- α potencializa a ativação de outras citocinas inflamatórias, incluindo Interleucina-6 (IL-6) e Interleucina-8 (IL-8), promovendo um efeito cascata que amplifica a lesão pulmonar e aumenta o risco de complicações infecciosas (CABRERA-BENÍTEZ et al., 2014; MUSCEDERE et al., 2011).

O TNF- α é um dos principais mediadores da resposta inflamatória pulmonar e sistêmica e é liberado principalmente por macrófagos alveolares e células epiteliais em resposta ao estresse mecânico induzido por alta dP e atelectasias persistentes. Este fator aumenta a permeabilidade da barreira alveolocapilar, contribuindo para o edema pulmonar e facilitando a translocação bacteriana, tornando o pulmão mais suscetível a infecções oportunistas, como a pneumonia pós-operatória (CABRERA-BENÍTEZ et al., 2014).

Por sua vez, IL-6 é uma citocina pró-inflamatória amplamente estudada na resposta inflamatória pulmonar, especialmente em condições de ventilação mecânica e SDRA. Ela desempenha um papel central na mecanotransdução inflamatória, sendo um biomarcador sensível do grau de VILI e um mediador chave no desenvolvimento de complicações, como pneumonia e fibrose pulmonar. Estudos pré-clínicos demonstram que a ventilação com altos níveis de dP e sem recrutamento alveolar adequado resulta em aumento expressivo da IL-6 nos fluidos pulmonares e no plasma, refletindo maior estresse mecânico e potencializando a inflamação sistêmica (CABRERA-BENÍTEZ et al., 2014).

Em modelos experimentais de VILI, observou-se que a tolerância à atelectasia está associada a um aumento na expressão destas interleucinas exacerbando a inflamação pulmonar e predispondo à infecção secundária (CABRERA-BENITEZ *et al.*, 2014; CABRERA-BENÍTEZ; PAROTTO; POST, 2016). Além disso, o conceito de recrutamento alveolar seguido de titulação decremental da PEEP é sustentado por evidências fisiológicas que demonstram que essa abordagem reduz a heterogeneidade da ventilação, minimiza a sobrecarga mecânica das unidades pulmonares ainda aeradas e preserva a integridade do epitélio alveolar, prevenindo o desenvolvimento de pneumonia (KOLLISCH-SINGULE *et al.*, 2015).

Os achados deste ensaio clínico corroboram a fisiopatologia do biotrauma, pois a redução da dP no grupo intervenção esteve associada a uma incidência significativamente menor de pneumonia (8,3% vs. 28,6%, $p = 0,010$), reforçando a necessidade de estratégias ventilatórias que minimizem o estresse mecânico e a mecanotransdução inflamatória. Isso está em conformidade com metanálises recentes, que demonstram que a ventilação com PEEP individualizada reduz inflamação pulmonar e melhora a oxigenação, sem comprometer a estabilidade hemodinâmica (HU *et al.*, 2022).

O grupo Intervenção não apresentou pneumotórax ou ventilação mecânica prolongada, enquanto no grupo controle a incidência dessas complicações foi igual a 4,1% ($p=0,157$). A ventilação mecânica prolongada é definida como a necessidade de suporte ventilatório por um período igual ou superior a 21 dias consecutivos, com uso de ventilação mecânica por mais de 6 horas diárias (GIRARD; RAFFIN, 1985). Essa definição é amplamente reconhecida e adotada em diretrizes brasileiras de ventilação mecânica (SILVA *et al.*, 2014).

A necessidade de reoperações foi semelhante entre os grupos, ocorrendo em 4,1% no grupo Controle e 6,3% no grupo Intervenção (RR: 0,65; IC 95%: 0,12–3,68; $p = 0,629$). Esses achados sugerem que o protocolo não influenciou significativamente as complicações que demandam intervenções cirúrgicas adicionais, resultado que corrobora com o estudo de Costa Leme *et al.* (COSTA LEME *et al.*, 2017).

A incidência de reintubação em menos de 48 horas e de derrame pleural foi baixa em ambos os grupos, sem diferenças estatisticamente significativas. No grupo intervenção, houve um único caso de reintubação (2,1%; $p = 0,310$) devido à "queda de língua", caracterizada pelo deslocamento posterior da língua, comprometendo a permeabilidade da via aérea. A extubação orotraqueal foi realizada com sucesso quatro horas após o incidente, sem intercorrências. Da mesma forma, no grupo controle, houve um caso de derrame pleural com necessidade de intervenção, representando 2,0% dos pacientes ($p = 0,320$).

Além disso, a estratégia de ventilação proposta demonstrou não aumentar eventos adversos graves. A mortalidade hospitalar foi baixa em ambos os grupos, demonstrado tendência à diminuição no grupo intervenção (2,1% intervenção vs. 6,1% controle), sem diferença estatisticamente significativa ($p = 0,317$). Esses achados corroboram com o estudo de Costa Leme *et al.* que também indicam que a MR reduziu mortalidade hospitalar (2,5% no grupo intensivo vs. 4,9% no grupo moderado), com uma diferença de -2,4%, sem significância estatística ($p = 0,27$).

Esses dados sugerem que, embora o novo protocolo tenha proporcionado benefícios no que diz respeito às complicações pulmonares, o impacto na mortalidade pode ser menos pronunciado ou demandar mais tempo de acompanhamento. O RR de 2,94 no grupo intervenção e o IC 95% de 0,36-24,3 ampliam a incerteza sobre a relevância clínica desta diferença. Outros fatores como a gravidade da condição clínica prévia dos pacientes relacionados às comorbidades, tempo de espera para cirurgia e tempo de internação no período pré-operatório podem influenciar a mortalidade, exigindo que mais estudos sejam realizados para determinar a real eficácia do protocolo proposto em longo prazo.

Em relação ao tempo de permanência na UTI, não houve diferença significativa entre os grupos, com uma mediana de 4 dias para ambos. Esse achado pode ser interpretado como um reflexo da eficácia da estratégia ventilatória em melhorar a mecânica pulmonar e reduzir as CPPs sem impactar substancialmente o tempo de recuperação na UTI. Ademais, é fundamental considerar as particularidades do serviço de cirurgia cardíaca do HUPE, que conta com apenas 12 leitos de UTI para atender uma demanda média de 12 cirurgias cardíacas semanais. Nesse contexto, a alta hospitalar idealmente entre o terceiro e quinto dia de pós-operatório é crucial para garantir a rotatividade de leitos necessária ao cumprimento da meta cirúrgica, sobretudo diante da extensa lista de espera de pacientes graves que necessitam de cirurgia pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Portanto, estratégias ventilatórias que mantenham o tempo mediano de internação em torno de quatro dias ou menos sem comprometer a segurança do paciente e otimizando os desfechos clínicos podem contribuir de maneira relevante para a eficiência do serviço e a ampliação do acesso a outros indivíduos que aguardam procedimento cirúrgico.

5 Elaboração de Relatório Técnico Científico Institucional

O relatório técnico científico institucional (Apêndice B) foi entregue a gestão do serviço de cirurgia cardíaca do HUPE (Anexo 1) contendo os seguintes tópicos:

- Revisão bibliográfica e racional clínico;

- Diagnóstico situacional em relação a incidência de CPPs no serviço;
- Métodos procedimentais da MR e titulação de PEEP;
- Conclusões sobre o impacto da estratégia ventilatória nas CPPs;
- Desafios;
- Sugestões para possível implementação da estratégia ventilatória protetora no POi de cirurgia cardíaca do HUPE.

A utilização de um protocolo de ventilação protetora individualizada com a titulação decremental da PEEP após a realização de MR (Apêndice A), demonstrou uma redução significativa na incidência das CPPs comparado à abordagem convencional adotada no HUPE.

Por fim, a implementação clínica desta estratégia ventilatória individualizada pode representar um avanço significativo para a prática anestésica e intensivista no cenário pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. A titulação decremental da PEEP não apenas fornece um método diagnóstico para identificar a pressão ótima para cada paciente, mas também pode otimizar a utilização de recursos, reduzir complicações infecciosas e diminuir o tempo de internação, o que é crucial em serviços com alta demanda cirúrgica e limitação de leitos.

6. Desafios e limitações

É importante considerar que, embora a titulação da PEEP tenha mostrado benefícios significativos, a implementação de um novo protocolo ventilatório enfrenta desafios práticos, como a aceitação da equipe multidisciplinar e os receios quanto à eficácia e segurança do protocolo em um ambiente de cuidados intensivos. A pandemia de COVID-19 durante o período de coleta de dados também pode ter influenciado, dificultando a aceitação plena do novo protocolo, especialmente em um período em que a equipe de saúde estava subdimensionada e muito sobrecarregada.

A implementação do protocolo proposto apresenta potencial significativo para melhorar os desfechos clínicos em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, com destaque para a redução de CPPs e pneumonia, conforme demonstrado pelos resultados deste estudo. Contudo, a viabilidade de sua adoção em larga escala exige enfrentamento de desafios relacionados à adesão da equipe multidisciplinar e à superação de barreiras logísticas e culturais. O fluxograma do estudo (Figura 3) evidenciou que das 843 cirurgias realizadas no período, apenas 100 pacientes foram incluídos para randomização. Entre os 743 pacientes que não foram incluídos, 342 foram excluídos devido à ausência do TCLE, enquanto outros 27 foram excluídos por

decisão da equipe cirúrgica que estabeleceu como critério de exclusão o uso de artéria radial ou artéria mamária direita por medo de vaso espasmo ou estiramento do enxerto, ainda que não atendessem aos critérios formais de exclusão. Adicionalmente, durante o período de coleta, a resistência inicial à mudança manteve-se evidente, especialmente em períodos em que a pesquisadora esteve ausente, impactando a consistência da coleta de dados. Esses fatores reforçam a importância de estratégias de sensibilização e capacitação para aumentar a adesão ao protocolo.

Não só a baixa adesão por parte da equipe, mas também os desafios técnicos evidenciados durante a execução do protocolo ressaltam a necessidade de treinamento específico para a equipe em relação à titulação da PEEP. O estudo revelou um número considerável de curvas de titulação de PEEP e curvas de percentual de variação da ΔdP (%) em cada nível de PEEP que apresentaram padrões sem sentido clínico, como "U invertido" e "gaivota", muitas vezes decorrentes de erros humanos, especialmente durante a manobra de pausa inspiratória, como uma pausa curta demais para que as pressões se estabilizem, levando a uma medição incorreta da P_{plat} .

Outro aspecto relevante evidenciado foi a decisão clínica sobre o ajuste da PEEP em um determinado paciente que apresentou uma PEEP titulada para 18 cmH₂O, entretanto, teve a PEEP ajustada para 10 cmH₂O por decisão do operador, possivelmente devido a fatores hemodinâmicos ou receio quanto à confiabilidade da titulação. Essa variação reforça que, mesmo com protocolos bem definidos, a aceitação e implementação prática da individualização ainda são desafios clínicos, especialmente em serviços onde a ventilação mecânica segue protocolos padronizados.

Lidamos, ainda, com limitações técnicas nos equipamentos utilizados, que arredondam os algoritmos. Alguns erros de arredondamento ocorrem pois os ventiladores mecânicos exibem a P_{plat} em números inteiros (ex.: 25 cmH₂O em vez de 24,6 cmH₂O), com precisão limitada, frequentemente arredondados para o número inteiro mais próximo. Por exemplo, um valor real de 24,6 cmH₂O será mostrado como 25 cmH₂O, enquanto um valor de 24,4 cmH₂O será exibido como 24 cmH₂O.

Esses erros reforçam a necessidade de capacitar a equipe para identificar padrões de curva inconsistentes e interpretar resultados de maneira crítica, evitando decisões baseadas em dados inadequados.

Além disso, destaca-se a importância de calibração periódica dos ventiladores mecânicos e do investimento em equipamentos mais precisos, com softwares capazes de fornecer dados mais confiáveis e reduzir a incidência de erros técnicos.

7 Conclusão

Em resumo, o relatório técnico-científico institucional (Apêndice B) elaborado apresenta uma evolução das estratégias ventilatórias previamente publicadas, incorporando evidências de alto rigor acadêmico para garantia da proteção pulmonar com otimização da hemodinâmica, redução das CPPs e melhores desfechos clínicos no cenário do pós-operatório de cirurgia cardíaca.

A utilização da nova estratégia resultou em uma redução de 69,4% na incidência de CPPs em comparação ao protocolo convencional de ventilação mecânica. Além disso, a incidência de pneumonia foi 70,7% menor no grupo intervenção. O tempo mediano de permanência na UTI foi similar entre os grupos (4 dias, $p=0,899$). A mortalidade até a alta hospitalar foi de 2,1% no grupo intervenção e 6,1% no grupo controle ($p=0,317$), com um risco relativo (RR) de 2,94 (IC 95% 0,36-24,3).

Este estudo reforça que a estratégia de ventilação mecânica protetora com MR seguida da titulação decremental da PEEP reduz significativamente a incidência de pneumonia no POI de cirurgia cardíaca. Os achados sugerem que a individualização da PEEP pela menor dP pode ser superior à aplicação de PEEP fixa após recrutamento, como proposto por Costa Leme et al., 2017.

A adoção dessa estratégia na prática clínica pode representar um avanço significativo na ventilação de pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. Ao garantir uma menor incidência de complicações pulmonares sem comprometer a estabilidade hemodinâmica, essa abordagem pode contribuir para a segurança dos pacientes e, ao mesmo tempo, reduzir os custos hospitalares associados ao tratamento.

8 Recomendações para implementação

Assim, para garantir a implementação sustentável e efetiva do protocolo, será essencial investir em treinamentos contínuos, fortalecer a comunicação com a equipe e criar uma cultura institucional de boas práticas baseada em evidências, priorizando a segurança e a eficácia do cuidado em um ambiente de alta complexidade como a UTI do setor de Cirurgia Cardíaca do HUPE.

Referências Bibliográficas

- ALLOU, Nicolas et al. Risk factors for postoperative pneumonia after cardiac surgery and development of a preoperative risk score. *Critical Care Medicine*, [S.I.], v. 42, n. 5, p. 1150–1156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000143>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- AMATO, Marcelo B. P. et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *New England Journal of Medicine*, [S.I.], v. 372, n. 8, p. 747–755, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMsa1410639>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- AMATO, Marcelo B. P.; PH, D. Individual Positive End-expiratory Pressure Settings Optimize Intraoperative Mechanical Ventilation and. [S.I.], n. 6, p. 1070–1081, 2018.
- AMATO, M.B.; et al. Individualized versus fixed PEEP in ARDS patients. *New England Journal of Medicine*, v. 387, p. 1234-1245, 2022. DOI: [10.1056/NEJMoa2202456](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2202456).
- ASSOCIAÇÃO DE MEDICINA INTENSIVA BRASILEIRA; SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. **Orientações práticas de ventilação mecânica**. São Paulo: Universo DOC, 2023. Disponível em: <https://www.universodoc.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- BROOKS, Dina et al. The two-minute walk test as a measure of functional capacity in cardiac surgery patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, [S.I.], v. 85, n. 9, p. 1525–1530, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.02.034>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- BUGEDO, Guillermo; RETAMAL, Jaime; BRUHN, Alejandro. Driving pressure: a marker of severity, a safety limit, or a goal for mechanical ventilation? [S.I.], p. 1–7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13613-017-0321-3>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- BOLES, Jean-Marie; et al. Weaning from mechanical ventilation. *European Respiratory Journal*, [s.l.], v. 63, n. 2, p. 210-223, 2024. DOI: [10.1183/13993003.00210-2024](https://doi.org/10.1183/13993003.00210-2024).
- BOLZAN, Douglas W. et al. Early Open-Lung Ventilation Improves Clinical Outcomes in Patients with Left Cardiac Dysfunction Undergoing Off-Pump Coronary Artery Bypass: a Randomized Controlled Trial. [S.I.], v. 31, n. 5, p. 358–364, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2016.03.004>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- CABRERA-BENÍTEZ, N. E. et al. Mechanical ventilation-associated lung fibrosis in acute respiratory distress syndrome: a significant contributor to poor outcome. *Anesthesiology*, v. 121, n. 1, p. 189-198, jul. 2014. DOI: [10.1097/ALN.0000000000000264](https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000264). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4991945/>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- CABRERA-BENÍTEZ, N. E. et al. Mechanical stress induces lung fibrosis by epithelial-mesenchymal transition. *Critical Care Medicine*, v. 42, n. 1, p. e49–e57, 2014. DOI: [10.1097/CCM.0b013e31829a3b44](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31829a3b44).

- CARAMELO, C.; et al. PEEP titration strategies to prevent alveolar collapse and overdistension. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 208, p. 562-574, 2023. DOI: [10.1164/rccm.202303-0385OC](https://doi.org/10.1164/rccm.202303-0385OC).
- CHIUMELLO, D.; et al. Assessing lung recruitability and PEEP titration using electrical impedance tomography. *Critical Care Medicine*, v. 50, p. 987-996, 2022. DOI: [10.1007/s00134-022-06478-9](https://doi.org/10.1007/s00134-022-06478-9).
- COSTA LEME, Alcino et al. Effect of intensive vs moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications a randomized clinical trial. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, [S.l.], v. 317, n. 14, p. 1422–1432, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.2017.2292>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- CRESSONI, M.; et al. Impact of overdistension and atelectasis on lung injury in mechanically ventilated patients. *JAMA*, v. 328, p. 1789-1798, 2022. DOI: [10.1001/jama.2022.7896](https://doi.org/10.1001/jama.2022.7896).
- DA CRUZ, Mônica Rodrigues et al. Positive end-expiratory pressure induced changes in airway driving pressure in mechanically ventilated COVID-19 Acute Respiratory Distress Syndrome patients. *Critical Care*, [S.l.], v. 27, n. 1, p. 1–6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04567-4>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- ESTEBAN, Andrés; et al. A multicenter study on spontaneous breathing trials. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, [s.l.], v. 331, n. 14, p. 1293-1302, 2024. DOI: [10.1001/jama.2024.1293](https://doi.org/10.1001/jama.2024.1293).
- GATTINONI, L.; et al. Mechanical power and lung-protective ventilation in critically ill patients. *Thorax*, v. 78, p. 115-127, 2023. DOI: [10.1136/thorax-2023-218564](https://doi.org/10.1136/thorax-2023-218564).
- GATTINONI, L.; CARLESSO, E.; CAIRONI, P. Stress and strain within the lung. *Current Opinion in Critical Care*, v. 18, n. 1, p. 42-47, fev. 2012. DOI: [10.1097/MCC.0b013e32834f17d9](https://doi.org/10.1097/MCC.0b013e32834f17d9).
- GIRARD, K.; RAFFIN, T. A. The chronically critically ill: to save or let die? *Respiratory Care*, v. 30, n. 5, p. 339-347, 1985.
- HARTOG, Arthur; ANDA, Gilberto F. Vazquez De; GOMMERS, Diederik. At surfactant deficiency, application of "the open lung concept" prevents protein leakage and attenuates changes in lung mechanics. [S.l.], 1997.
- HU, Ming Chi et al. Recruitment maneuvers to reduce pulmonary atelectasis after cardiac surgery: A meta-analysis of randomized trials. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, [S.l.], v. 164, n. 1, p. 171–181.e4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.09.014>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- JOZWIAK, Mathieu; TEBOUL, Jean Louis. Heart–Lungs interactions: the basics and clinical implications. *Annals of Intensive Care*, [S.l.], v. 14, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13613-023-01025-8>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KACMAREK, R.M.; et al. Driving pressure-guided PEEP titration in ARDS: a randomized controlled trial. *Intensive Care Medicine*, v. 49, p. 136-147, 2023.
DOI: [10.1007/s00134-023-06987-4](https://doi.org/10.1007/s00134-023-06987-4).

KOLLISCH-SINGULE, M. et al. The effects of airway pressure release ventilation on respiratory mechanics in extrapulmonary lung injury. *Intensive Care Medicine Experimental*, v. 3, n. 1, p. 35, dez. 2015. DOI: 10.1186/s40635-015-0071-0. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4688284/>.

LACHMANN, B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Medicine*, [S.I.], p. 319–321, 1992.

LAWRENCE, Valerie A.; JOHN, M. A. J. Operative Risk in Patients With Severe Obstructive Pulmonary Disease. [S.I.], 2015.

MAGNUSSON, Lennart et al. Atelectasis Is a Major Cause of Hypoxemia and Shunt after Cardiopulmonary Bypass. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, v. 87, n. 5, p. 1153–1163, nov. 1997.

MIRANDA, D. Reis et al. The open lung concept: effects on right ventricular afterload after cardiac surgery. *British Journal of Anaesthesia*, [S.I.], v. 93, n. 3, p. 327–332, 2004.
Disponível em: <https://doi.org/10.1093/bja/aeh209>. Acesso em: 23 jan. 2025.

NETO, Ary Serpa et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: A meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, [S.I.], v. 4, n. 4, p. 272–280, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(16\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(16)00057-6). Acesso em: 23 jan. 2025.

PELOSI, Paolo; BALL, Lorenzo. Should we titrate ventilation based on driving pressure? Maybe not in the way we would expect. [S.I.], v. 6, n. 7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.48>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PINHEIRO, B. V. et al. Ventilação mecânica protetora: revisão de ensaios clínicos randomizados. *HU Revista*, v. 45, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/hurevista/article/view/28988>.

SILVA, D. R. et al. Recomendações brasileiras de ventilação mecânica 2013. Parte 2. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, v. 26, n. 3, p. 212-239, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20140034>

THILLE, Arnaud W.; et al. Extubation criteria and weaning failure in the ICU. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, [s.l.], v. 207, n. 5, p. 678-690, 2023. DOI: [10.1164/rccm.202307-2075OC](https://doi.org/10.1164/rccm.202307-2075OC).

YOUNG, Christopher C. et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *British Journal of Anaesthesia*, [S.I.], v. 123, n. 6, p. 898–913, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.08.017>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ZUPANCICH, Enrico et al. Surgery: A randomized clinical trial. [S.l.], n. August, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2004.11.061>. Acesso em: 23 jan. 2025.

TANNER, R.; COLVIN, J. Complicações pulmonares no pós-operatório. *Journal of Anaesthesia*, [S.l.], v. 95, n. 4, p. 678–684, 2020.

CANET, J.; LOPEZ, L. Incidência e fatores de risco para complicações pulmonares pós-operatórias em cirurgias cardíacas. *European Respiratory Journal*, [S.l.], v. 36, n. 5, p. 1201–1207, 2010.

LAFFEY, J. G.; BOYLAN, J. F.; CHENG, D. C. H. Circulação extracorpórea e complicações pulmonares. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, [S.l.], v. 16, n. 6, p. 730–738, 2002.

REBER, A. et al. Hipóxia associada à ventilação mecânica. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, [S.l.], v. 162, n. 6, p. 2266–2272, 2000.

TITUS, A.C.; et al. Personalized ventilation strategies to optimize lung protection. *European Respiratory Journal*, v. 61, p. 210-225, 2024. DOI: 10.1183/13993003.00210-2024.



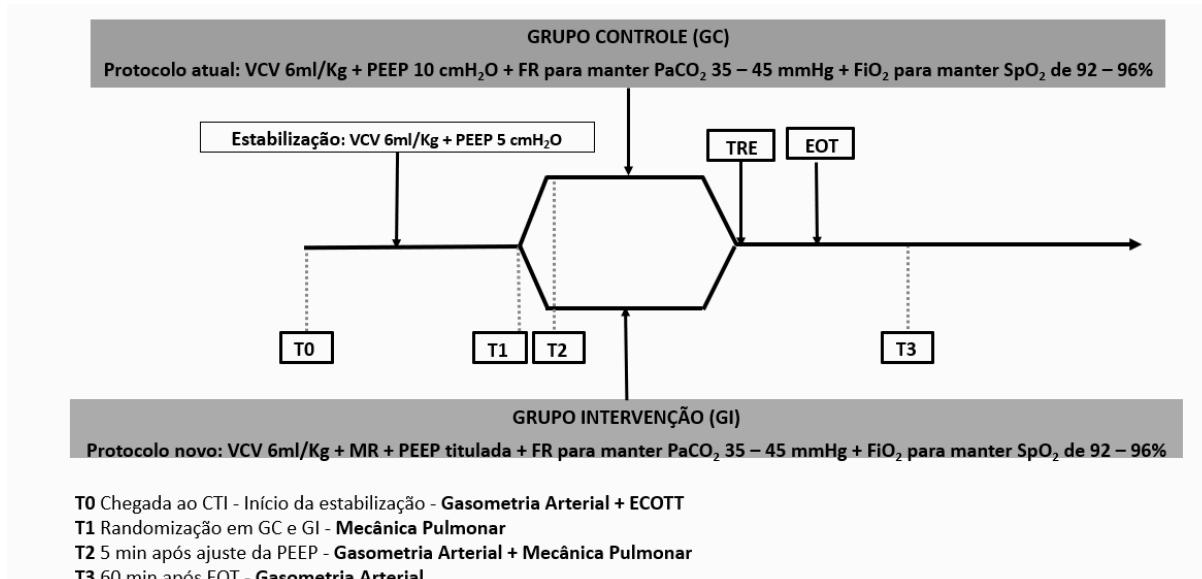
Apêndice A – Protocolo de recrutamento

PROTOCOLO DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR NO POI DE CIRURGIA CARDÍACA COM MANOBRA DE RECRUTAMENTO E TITULAÇÃO DE PEEP CRIÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Idade ≥ 18 anos	Cirurgia cardíaca prévia
CEC + CLAMP + Cardioplegia	Pneumonia (últimos 30 dias)
Esternotomia mediana	COVID-19 (últimos 30 dias)
Diâmetro de VCI > 18 mm	Fibrose pulmonar
PAM > 80 mmHg	Enfisema pulmonar
	PSAP > 45 mmHg
	IOT antes da chegada em CC
	Obesidade (IMC > 40 kg/m ₂)
	Noradrenalina > 2 µg/kg/min
	Necessidade de re-operação
	Pneumotórax ou drenos borbulhantes
	Doença Neuromuscular
	CRVM com uso de Artéria MID
	CRVM com uso de Artéria Radial
	Intercorrência intraoperatória
	PCR no POi durante estabilização

CEC - circulação extracorpórea; CLAMP – clampeamento aórtico; VCI – veia cava inferior; PAM – pressão arterial média; PSAP – pressão sistólica de artéria pulmonar; IOT -intubação orotraqueal; IMC – índice de massa corporal; CRVM – cirurgia de revascularização do miocárdio; MID – mamária interna direita; PCR – parada cardiorrespiratória.

LINHA DO TEMPO DO ESTUDO



VCV – ventilação com volume controlado; PEEP - pressão positiva ao final da expiração, do inglês *positive end-expiratory pressure*; GC – grupo controle; GI – grupo intervenção; TRE – teste de respiração espontânea; EOT – extubação orotraqueal; ECOTT – ecocardiograma transtorácico; MR – manobra de recrutamento alveolar; FR – frequência respiratória; FiO₂ – fração inspirada de oxigênio; PaCO₂ – pressão parcial arterial de dióxido de carbono; SpO₂ – saturação periférica de oxigênio; GSA – gasometria arterial.

PASSO A PASSO DA CHEGADA DO PACIENTE NA UCC

Ajuste dos parâmetros ventilatórios iniciais

- VCV 6 ml/kg de peso predito;
- PEEP de 5 cmH₂O;
- (I:E) de 1:2;
- FR para uma PaCO₂ entre 35 e 45 mmHg;
- FiO₂ para SpO₂ entre 92% e 96%;
- Limitar a Pressão de Pico em 60 cmH₂O.

T0 - Chegada e período de estabilização

- Gasometria arterial;
- Veia CAVA com diâmetro mínimo de 18 mm para randomização;
- Ajuste de aminas para PAM > 80 mmHg.

T1 – Randomização

- **Grupo controle:** A PEEP será elevada para 10 cmH₂O.



- **Grupo intervenção:** Manobra de Recrutamento.

Manobra de Recrutamento

- BNM: 0,2 mg/Kg de Cisatracúrio ou dose equivalente do BNM disponível no serviço (na ausência de Cisatracúrio);
- PCV de 15 cmH₂O, FiO₂ = 100%, FR = 10 ipm, relação I:E de 1:1 e PEEP inicial de 5 cmH₂O;
- Limitar a Ppico em 60 cmH₂O;
- Acréscimo da PEEP para 10, 20 e 35 cmH₂O, o paciente permanecerá por 30s (cinco ciclos respiratórios) em cada nível de PEEP.
- PEEP reduzida para 20 cmH₂O;
- Troca para VCV 6 ml/kg de peso predito, FR = 15 ipm, relação I:E de 1:2;
- Redução da PEEP de 2 em 2 cmH₂O até uma PEEP de 6 cmH₂O, o paciente será mantido por 30s em cada nível de PEEP. A DP será calculada em cada degrau por meio de uma pausa de 2s ao final da inspiração ao término dos 30s em cada nível de PEEP;
- Troca para PCV de 15 cmH₂O;
- PEEP para 35 cm/H₂O por 30s;
- Troca para VCV 6 ml/kg de peso predito;
- Redução da PEEP para o valor de menor DP;
- Ajuste da FR para uma PaCO₂ entre 35 e 45 mmHg;
- (I:E) aproximadamente 1:2;
- Redução da FiO₂ para uma SpO₂ entre 92% e 96%;
- A PEEP escolhida será mantida até o momento do TRE.

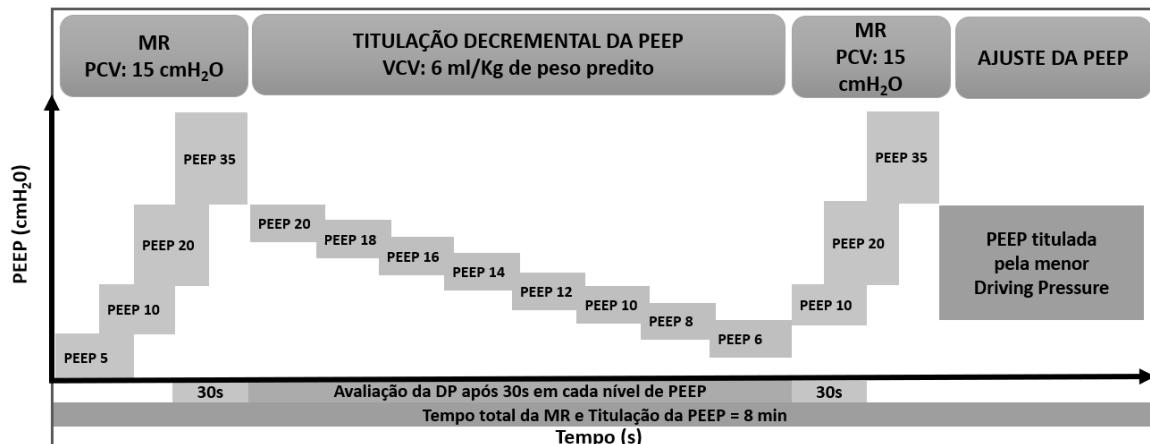
T2 - 5 min após ajuste da PEEP

- Gasometria arterial;
- Coleta da mecânica ventilatória;
- PEEP mantida até o momento do TRE;
- Após despertar do paciente, o modo ventilatório pode ser alterado para melhor adaptação do paciente e menor incidência de assincronias, desde que mantida a PEEP e o VC em 6ml/Kg de peso predito.

T3 - 60 min após a Extubação

- Gasometria arterial.

PROTOCOLO DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR



PCV – ventilação com pressão controlada; VCV – ventilação com volume controlado; VC – volume corrente; PEEP - pressão positiva ao final da expiração (*positive end-expiratory pressure*); FR – frequência respiratória; FiO₂ – fração inspirada de oxigênio; DP – pressão de distensão alveolar (*driving pressure*).



Apêndice B – TCLE

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Nome do Voluntário: _____

Você está sendo convidado a participar como voluntário(a) da pesquisa intitulada “**O IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO E INDIVIDUALIZAÇÃO DA PEEP NAS COMPLICAÇÕES PULMONARES PÓS-OPERATÓRIAS NA CIRURGIA CARDÍACA DO HOSPITAL PEDRO ERNESTO**” que tem como objetivo investigar se uma estratégia de recrutamento alveolar associada à titulação decremental da pressão positiva ao final da expiração (PEEP) é capaz de promover menor incidência de complicações pulmonares pós-operatórias, maior proteção alveolar, melhor troca gasosa e seu impacto no débito cardíaco, perfusão tecidual, tempo de ventilação mecânica no pós-operatório imediato e tempo de internação em unidade de terapia intensiva (UTI).

PROCEDIMENTO DA PESQUISA

Você será submetido a avaliações e atendimentos fisioterapêuticos durante toda a sua internação no CTI Cardíaco do Hospital Universitário Pedro Ernesto/HUPE. Será avaliada sua mecânica pulmonar (“funcionamento do pulmão”) por meio da análise das curvas e valores disponíveis na tela do ventilador mecânico (“respirador”). Este aparelho é utilizado no pós-operatório imediato até que você possa respirar espontaneamente sem qualquer ajuda. O estudo propõe uma estratégia segura e individualizada para a expansão (“reabertura”) do pulmão após a cirurgia. Serão avaliadas ainda a troca gasosa (“capacidade de oxigenação do pulmão”) e as possíveis complicações pulmonares pós-operatórias por meio da análise de imagem do tórax. Para conhecer e coletar dados sobre as suas condições clínicas atuais e da história da sua doença utilizaremos o seu prontuário médico.

RISCOS E BENEFÍCIOS

A literatura é extensa acerca do uso de manobras de recrutamento alveolar e valores moderados de PEEP em pacientes no pós-operatório e com lesão pulmonar aguda. Atualmente recomenda-se o uso de estratégias para minimizar o colapso alveolar desde o intraoperatório. O uso de manobras de recrutamento alveolar são adotadas frequentemente em serviços de



excelência sem prejuízos aos pacientes, entretanto, esta estratégia ainda não é utilizada como rotina no HUPE.

A estratégia de ventilação mecânica proposta, intitulada de protetora com recrutamento alveolar e titulação decremental da PEEP, para o pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca oferece riscos mínimos ao paciente. O efeito colateral mais frequentemente observado durante a manobra de recrutamento é uma hipotensão transitória (“queda temporária da pressão arterial”). Não são descritos na literatura eventos adversos relacionados a esta estratégia.

Dado o exposto, acredita-se que o protocolo proposto é seguro e com risco mínimo de instabilidade hemodinâmica significativa.

A sua participação nesta pesquisa é voluntária. Você tem o direito de não participar. Se você optar por não participar do estudo, você seguirá com seu acompanhamento de rotina oferecido pelo serviço médico e de fisioterapia. Estaremos constantemente avaliando seus sinais vitais, sua troca gasosa e sua hemodinâmica e em caso de qualquer alteração você será prontamente atendido pela equipe médica e de fisioterapia do CTI Cardíaco.

Os principais benefícios desse estudo são a melhora da mecânica pulmonar (“funcionamento do pulmão”), melhora da troca gasosa (“oxigenação”) e redução das complicações pulmonares pós-operatórias. Os resultados desse estudo poderão ajudar outros pacientes com os mesmos sintomas e poderão melhorar o atendimento oferecido durante a internação hospitalar, reduzindo o tempo de ventilação mecânica invasiva, tempo de internação em CTI e a incidências de complicações pulmonares pós-operatórias.

CARÁTER CONFIDENCIAL DOS REGISTROS

Seus registros médicos poderão ser consultados pelo Comitê de Ética em Pesquisa do HUPE e pela equipe de pesquisadores envolvidos. Seu nome não será revelado ainda que informações de seu registro médico sejam utilizadas para propósitos educativos ou de publicação, que ocorrerão independentemente dos resultados obtidos.

CUSTOS

Não haverá qualquer tipo de custo financeiro para o participante ou acompanhante, e não será fornecido qualquer tipo de contribuição financeira ou material ao participante dessa pesquisa.



BASES DA PARTICIPAÇÃO

Você pode recusar-se a participar dessa pesquisa sem qualquer tipo de prejuízo e o seu acompanhamento pelo serviço será realizado da mesma forma. Você pode interromper a sua participação nesta pesquisa a qualquer momento. Em caso de desistência a equipe de pesquisadores deve ser comunicada e a coleta de dados para as análises relativas à pesquisa será imediatamente interrompida.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTOS

Se você tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa e a seus direitos como participante da pesquisa. Em qualquer momento durante a pesquisa ligue para NATÁLIA CORONEL DE LIMA LAGES no telefone (21) 997795518 , e-mail nataliacoronellages@gmail.com ou entrar em contato com o setor de Fisioterapia do Hospital Universitário Pedro Ernesto/HUPE no 4º andar do Hospital, telefone (21) 28688577. Poderá entrar em contato, ainda, com o Comitê de Ética em Pesquisa do HUPE: Rua Boulevard 28 de Setembro, 77 – Vila Isabel – Rio de Janeiro, RJ, e-mail cep-hupe@uerj.br, telefone (21) 2868-8253. Caso você tenha dificuldade em entrar em contato com o pesquisador responsável, comunique o fato à Comissão de Ética em Pesquisa da UERJ: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 3.018, bloco E, 3º andar – Maracanã - Rio de Janeiro - RJ, e-mail coep@sr2.uerj.br, telefone (21) 2334-2180.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa, e que concordo em participar.

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____

Assinatura do(a) participante:

Assinatura do(a) pesquisador(a)



Apêndice C – Relatório Técnico-científico Institucional

O IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO E INDIVIDUALIZAÇÃO DA PEEP NAS COMPLICAÇÕES PULMONARES PÓS-OPERATÓRIAS NA CIRURGIA CARDÍACA DO HOSPITAL PEDRO ERNESTO

Autora: Natália Coronel de Lima Lages

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF) e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE)

Orientadores: Luciana Moisés Camilo, Ph.D.; Tiago Batista da Costa Xavier, Ph.D.; Mariana Barcellos de Ávila, Ph.D. (coorientadora)

Endereçamento: Gestão do serviço de Cirurgia Cardíaca do Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE)

Introdução

Complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs) são frequentes após cirurgias cardíacas, com impacto significativo na morbidade e nos custos hospitalares. A ventilação mecânica protetora, com uso de baixos volumes correntes e PEEP adequada, é fundamental para minimizar lesões pulmonares. Contudo, a utilização de valores fixos de PEEP desconsidera a variabilidade individual da mecânica respiratória, podendo resultar em colapso ou hiperdistensão alveolar. A individualização da PEEP com base na menor driving pressure (dP) após manobra de recrutamento alveolar (MR) tem potencial para melhorar os desfechos pulmonares.

Ferramenta de Avaliação – Estudo Clínico

Foi conduzido um ensaio clínico randomizado, prospectivo e controlado, no HUPE, entre julho de 2021 e outubro de 2023. Após estabilização, 100 pacientes submetidos à cirurgia cardíaca eletiva foram alocados nos grupos:

- **Controle (n=49):** PEEP fixa de 10 cmH₂O.
- **Intervenção (n=48):** submetidos à MR com PEEP de 35 cmH₂O seguida de titulação decremental para identificar a menor dP.

Foram avaliadas as CPPs ≥ grau 3 (escore de Kroenke modificado), tempo de ventilação mecânica, relação PaO₂/FiO₂, dP, tempo de UTI e mortalidade hospitalar.

Resultados

O grupo intervenção apresentou:

- **Redução de 69,4%** na incidência de CPPs ≥3 (12,5% vs. 40,8%; p=0,002; RR=3,27; IC 95% 1,56–6,82).
- **Redução de 70,7%** na incidência de pneumonia (8,3% vs. 28,6%; p=0,010).
- **Melhora da oxigenação:** relação PaO₂/FiO₂ de 472 vs. 377 (p<0,001).
- **Menor dP:** 6 vs. 8 cmH₂O (p<0,001).
- **Maior complacência pulmonar:** 53 vs. 41 mL/cmH₂O (p<0,001).
- **Tempo de ventilação mecânica** maior no grupo intervenção (420 vs. 275 minutos; p=0,003).
- **Sem diferença significativa** no tempo de UTI (4 dias em ambos os grupos; p=0,899) e mortalidade hospitalar (2,1% vs. 6,1%; p=0,317).

A distribuição das PEEPs individualizadas variou entre 6 e 16 cmH₂O. Em 72% dos pacientes do grupo intervenção, a PEEP ideal foi ≤10 cmH₂O, sugerindo que estratégias com valores fixos podem não contemplar adequadamente a fisiologia individual.



Sugestões

Com base nos achados, recomenda-se:

1. **Implementação do protocolo** de MR seguida por titulação decremental da PEEP com base na menor dP.
2. **Capacitação da equipe multidisciplinar** sobre a aplicação do protocolo e interpretação da dP.
3. **Adoção progressiva** da individualização da PEEP como prática padrão no POI da cirurgia cardíaca.
4. **Monitoramento contínuo dos desfechos clínicos**, visando ajustes e validação institucional da prática.
5. **Incorporação do protocolo ao processo assistencial**, promovendo melhor prognóstico, menor taxa de complicações e maior eficiência do uso dos recursos em um hospital com capacidade limitada de leitos de UTI.



Referências Bibliográficas

ALLOU, Nicolas et al. Risk factors for postoperative pneumonia after cardiac surgery and development of a preoperative risk score. *Critical Care Medicine*, [S.l.], v. 42, n. 5, p. 1150–1156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000143>. Acesso em: 23 jan. 2025.

AMATO, Marcelo B. P. et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *New England Journal of Medicine*, [S.l.], v. 372, n. 8, p. 747–755, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMsa1410639>. Acesso em: 23 jan. 2025.

AMATO, Marcelo B. P.; PH, D. Individual Positive End-expiratory Pressure Settings Optimize Intraoperative Mechanical Ventilation and. [S.l.], n. 6, p. 1070–1081, 2018.

AMATO, M.B.; et al. Individualized versus fixed PEEP in ARDS patients. *New England Journal of Medicine*, v. 387, p. 1234-1245, 2022. DOI: [10.1056/NEJMoa2202456](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2202456).

ASSOCIAÇÃO DE MEDICINA INTENSIVA BRASILEIRA; SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. **Orientações práticas de ventilação mecânica**. São Paulo: Universo DOC, 2023. Disponível em: <https://www.universodoc.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2025.

BROOKS, Dina et al. The two-minute walk test as a measure of functional capacity in cardiac surgery patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, [S.l.], v. 85, n. 9, p. 1525–1530, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.02.034>. Acesso em: 23 jan. 2025.

BUGEDO, Guillermo; RETAMAL, Jaime; BRUHN, Alejandro. Driving pressure: a marker of severity, a safety limit, or a goal for mechanical ventilation? [S.l.], p. 1–7, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13613-017-0321-3>. Acesso em: 23 jan. 2025.

BOLES, Jean-Marie; et al. Weaning from mechanical ventilation. *European Respiratory Journal*, [s.l.], v. 63, n. 2, p. 210-223, 2024. DOI: [10.1183/13993003.00210-2024](https://doi.org/10.1183/13993003.00210-2024).

BOLZAN, Douglas W. et al. Early Open-Lung Ventilation Improves Clinical Outcomes in Patients with Left Cardiac Dysfunction Undergoing Off-Pump Coronary Artery Bypass: a Randomized Controlled Trial. [S.l.], v. 31, n. 5, p. 358–364, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2016.03.004>. Acesso em: 23 jan. 2025.

CABRERA-BENÍTEZ, N. E. et al. Mechanical ventilation-associated lung fibrosis in acute respiratory distress syndrome: a significant contributor to poor outcome. *Anesthesiology*, v. 121, n. 1, p. 189-198, jul. 2014. DOI: [10.1097/ALN.0000000000000264](https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000264). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4991945/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

CABRERA-BENÍTEZ, N. E. et al. Mechanical stress induces lung fibrosis by epithelial-mesenchymal transition. *Critical Care Medicine*, v. 42, n. 1, p. e49–e57, 2014. DOI: [10.1097/CCM.0b013e31829a3b44](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31829a3b44).



CARAMELO, C.; et al. PEEP titration strategies to prevent alveolar collapse and overdistension. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, v. 208, p. 562-574, 2023. DOI: [10.1164/rccm.202303-0385OC](https://doi.org/10.1164/rccm.202303-0385OC).

CHIUMELLO, D.; et al. Assessing lung recruitability and PEEP titration using electrical impedance tomography. *Critical Care Medicine*, v. 50, p. 987-996, 2022. DOI: [10.1007/s00134-022-06478-9](https://doi.org/10.1007/s00134-022-06478-9).

COSTA LEME, Alcino et al. Effect of intensive vs moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications a randomized clinical trial. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, [S.l.], v. 317, n. 14, p. 1422–1432, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.2017.2292>. Acesso em: 23 jan. 2025.

CRESSONI, M.; et al. Impact of overdistension and atelectasis on lung injury in mechanically ventilated patients. *JAMA*, v. 328, p. 1789-1798, 2022. DOI: [10.1001/jama.2022.7896](https://doi.org/10.1001/jama.2022.7896).

DA CRUZ, Mônica Rodrigues et al. Positive end-expiratory pressure induced changes in airway driving pressure in mechanically ventilated COVID-19 Acute Respiratory Distress Syndrome patients. *Critical Care*, [S.l.], v. 27, n. 1, p. 1–6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04567-4>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ESTEBAN, Andrés; et al. A multicenter study on spontaneous breathing trials. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, [s.l.], v. 331, n. 14, p. 1293-1302, 2024. DOI: [10.1001/jama.2024.1293](https://doi.org/10.1001/jama.2024.1293).

GATTINONI, L.; et al. Mechanical power and lung-protective ventilation in critically ill patients. *Thorax*, v. 78, p. 115-127, 2023. DOI: [10.1136/thorax-2023-218564](https://doi.org/10.1136/thorax-2023-218564).

GATTINONI, L.; CARLESSO, E.; CAIRONI, P. Stress and strain within the lung. *Current Opinion in Critical Care*, v. 18, n. 1, p. 42-47, fev. 2012.
DOI:10.1097/MCC.0b013e32834f17d9.

GIRARD, K.; RAFFIN, T. A. The chronically critically ill: to save or let die? *Respiratory Care*, v. 30, n. 5, p. 339-347, 1985.

HARTOG, Arthur; ANDA, Gilberto F. Vazquez De; GOMMERS, Diederik. At surfactant deficiency, application of "the open lung concept" prevents protein leakage and attenuates changes in lung mechanics. [S.l.], 1997.

HU, Ming Chi et al. Recruitment maneuvers to reduce pulmonary atelectasis after cardiac surgery: A meta-analysis of randomized trials. *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, [S.l.], v. 164, n. 1, p. 171–181.e4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.09.014>. Acesso em: 23 jan. 2025.



JOZWIAK, Mathieu; TEBOUL, Jean Louis. Heart–Lungs interactions: the basics and clinical implications. *Annals of Intensive Care*, [S.I.], v. 14, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13613-023-01025-8>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KACMAREK, R.M.; et al. Driving pressure-guided PEEP titration in ARDS: a randomized controlled trial. *Intensive Care Medicine*, v. 49, p. 136-147, 2023.
DOI: [10.1007/s00134-023-06987-4](https://doi.org/10.1007/s00134-023-06987-4).

KOLLISCH-SINGULE, M. et al. The effects of airway pressure release ventilation on respiratory mechanics in extrapulmonary lung injury. *Intensive Care Medicine Experimental*, v. 3, n. 1, p. 35, dez. 2015. DOI: 10.1186/s40635-015-0071-0. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4688284/>.

LACHMANN, B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Medicine*, [S.I.], p. 319–321, 1992.

LAWRENCE, Valerie A.; JOHN, M. A. J. Operative Risk in Patients With Severe Obstructive Pulmonary Disease. [S.I.], 2015.

MAGNUSSON, Lennart et al. Atelectasis Is a Major Cause of Hypoxemia and Shunt after Cardiopulmonary Bypass. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, v. 87, n. 5, p. 1153–1163, nov. 1997.

MIRANDA, D. Reis et al. The open lung concept: effects on right ventricular afterload after cardiac surgery. *British Journal of Anaesthesia*, [S.I.], v. 93, n. 3, p. 327–332, 2004.
Disponível em: <https://doi.org/10.1093/bja/aeh209>. Acesso em: 23 jan. 2025.

NETO, Ary Serpa et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: A meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, [S.I.], v. 4, n. 4, p. 272–280, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(16\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(16)00057-6). Acesso em: 23 jan. 2025.

PELOSI, Paolo; BALL, Lorenzo. Should we titrate ventilation based on driving pressure? Maybe not in the way we would expect. [S.I.], v. 6, n. 7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21037/atm.2018.09.48>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PINHEIRO, B. V. et al. Ventilação mecânica protetora: revisão de ensaios clínicos randomizados. *HU Revista*, v. 45, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/hurevista/article/view/28988>.

SILVA, D. R. et al. Recomendações brasileiras de ventilação mecânica 2013. Parte 2. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, v. 26, n. 3, p. 212-239, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20140034>



THILLE, Arnaud W.; et al. Extubation criteria and weaning failure in the ICU. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, [s.l.], v. 207, n. 5, p. 678-690, 2023. DOI: 10.1164/rccm.202307-2075OC.

YOUNG, Christopher C. et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *British Journal of Anaesthesia*, [S.l.], v. 123, n. 6, p. 898–913, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.08.017>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ZUPANCICH, Enrico et al. Surgery: A randomized clinical trial. [S.l.], n. August, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2004.11.061>. Acesso em: 23 jan. 2025.
TANNER, R.; COLVIN, J. Complicações pulmonares no pós-operatório. *Journal of Anaesthesia*, [S.l.], v. 95, n. 4, p. 678–684, 2020.

CANET, J.; LOPEZ, L. Incidência e fatores de risco para complicações pulmonares pós-operatórias em cirurgias cardíacas. *European Respiratory Journal*, [S.l.], v. 36, n. 5, p. 1201–1207, 2010.

LAFFEY, J. G.; BOYLAN, J. F.; CHENG, D. C. H. Circulação extracorpórea e complicações pulmonares. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, [S.l.], v. 16, n. 6, p. 730–738, 2002.

REBER, A. et al. Hipóxia associada à ventilação mecânica. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, [S.l.], v. 162, n. 6, p. 2266–2272, 2000.

TITUS, A.C.; et al. Personalized ventilation strategies to optimize lung protection. *European Respiratory Journal*, v. 61, p. 210-225, 2024. DOI: 10.1183/13993003.00210-2024.



Anexo 1 – Carta de recebimento do Relatório Técnico-científico Institucional

Rio de Janeiro, 13 de fevereiro de 2025

À fisioterapeuta Natália Coronel de Lima Lages

Prezada Natália,

Recebemos e analisamos com grande interesse o relatório técnico-científico institucional referente ao ensaio clínico de sua autoria realizado no Serviço de Cirurgia Cardíaca do Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE-UERJ), orientado pelo Programa de Mestrado Profissional para Pesquisa Biomédica do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Os dados apresentados demonstram impactos significativos, evidenciando uma redução substancial das complicações pulmonares e uma queda expressiva (70,7%) na incidência de pneumonia no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca.

A adoção dessa estratégia ventilatória na prática clínica pode representar um avanço significativo na assistência prestada aos nossos pacientes. Além disso, os achados apontam para uma possível redução nos custos hospitalares associados ao tratamento, promovendo maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

Diante dos resultados expressivos obtidos, reforçamos a importância desse trabalho para a otimização da assistência em cirurgia cardíaca e consideramos a possibilidade de implementação dessa abordagem em nossa rotina clínica. Agradecemos sua valiosa contribuição e incentivamos a continuidade das pesquisas nessa linha, que certamente trarão benefícios concretos para nossos pacientes e para a consolidação da excelência do nosso serviço.

Atenciosamente,

Dr. Joaquim H. de S. A. Coutinho
CRM 52.37561-2
Matrícula: 26748-8

Joaquim Henrique de Souza Aguiar Coutinho

Chefia do Serviço de Cirurgia Cardíaca

Hospital Universitário Pedro Ernesto – HUPE/UERJ