



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA

Antonio Christian Evangelista Gonçalves

Impacto da manobra de recrutamento alveolar sobre a função pulmonar e mecânica respiratória em pacientes submetidos a cirurgia bariátrica avaliados pela tomografia de impedância elétrica: ensaio clínico controlado randomizado

Tese apresentada à Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Anestesiologia.

Orientadora: Profa. Titular Norma Sueli Pinheiro Módolo

Botucatu

2020

Antonio Christian Evangelista Gonçalves

Impacto da manobra de recrutamento alveolar sobre a
função pulmonar e mecânica respiratória em pacientes
submetidos a cirurgia bariátrica avaliados pela tomografia
de impedância elétrica: ensaio clínico controlado
randomizado

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina, Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Anestesiologia.

Orientadora: Profa. Titular Norma Sueli Pinheiro Módolo

Botucatu

2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Gonçalves, Antonio Christian Evangelista.

Impacto da manobra de recrutamento alveolar sobre a função pulmonar e mecânica respiratória em pacientes submetidos à cirurgia bariátrica avaliados pela tomografia de impedância elétrica : ensaio clínico controlado randomizado / Antonio Christian Evangelista Gonçalves. - Botucatu, 2020

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina de Botucatu

Orientador: Norma Sueli Pinheiro Módolo

Capes: 40102130

1. Cirurgia bariátrica. 2. Obesidade. 3. Tomografia. 4. Ensaio Clínico Controlado. Aleatório.

Palavras-chave: Cirurgia bariátrica; Manobra de recrutamento alveolar; Obesidade; Tomografia de impedância elétrica.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço primeiramente a Deus, por conduzir meu caminho.

Aos meus pais, Antonio Gonçalves de Oliveira e Maria Neumann Evangelista Gonçalves, pelo exemplo de vida e pelo apoio incondicional na educação de seus filhos. Amo vocês!

À minha esposa Daniella Cunha Brandão, obrigado por ser meu porto seguro, por vibrar a cada conquista, incentivar-me a sempre ir mais longe, ser minha conselheira e amparar-me nos momentos difíceis e nunca me deixar desistir! Obrigado, meu amor!

Aos meus filhos, Daniel e Samuel muito obrigado pelo abraço caloroso dado no momento de minha saída e por cada sorriso que ganho ao chegar! Vocês são a verdadeira prova do amor.

Ao meu irmão Patrik Evangelista Gonçalves, pelo apoio e amizade.

Aos meus familiares, pelo apoio e vibração com as minhas vitórias.

A todos os pacientes que aceitaram participar como voluntários desse estudo.

À Profa. Dra. Armèle Dornelas de Andrade, pelos ensinamentos, pela confiança, todo o incentivo e colaboração na realização deste trabalho. Sem o apoio do LACAP, esta pesquisa seria inviável.

À Profa. Dra. Norma Sueli Pinheiro Módolo, minha orientadora: agradeço pelos ensinamentos, pela dedicação incansável, pela paciência, acolhimento e amizade. A você, toda a minha admiração, respeito e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Caio César Araújo Moraes, por toda ajuda no desenvolvimento deste trabalho e por ser exemplo de profissional para todos que o cercam.

À Dra. Shirley Lima Campos, por todo apoio e incentivo na realização do trabalho.

Ao amigo Sostinys Albuquerque, por toda ajuda durante as coletas e por dividir cada angústia nas dificuldades encontradas.

À amiga Alita Novaes, pela ajuda na análise dos dados e todo apoio na realização deste trabalho.

Ao amigo Wagner Leite, pela ajuda nas coletas dos dados e por todo incentivo.

Ao amigo Lucas Jorge de Castro Alves, pela amizade desde o tempo da faculdade, pelo companheirismo e por ser exemplo de determinação na busca de seus objetivos.

À Dra. Nádia Duarte e à Dra. Ana Caetano pelo incentivo e apoio na realização do trabalho.

A todos os docentes do Departamento de Anestesiologia de Botucatu, pelos ensinamentos, pela dedicação e apoio constantes.

Aos funcionários do Departamento de Anestesiologia de Botucatu, em especial à Joana Jacirene Costa Teixeira, por toda dedicação e eficiência. Muito obrigado!

Ao Professor Emérito José Reinaldo Cerqueira Braz, pela dedicação e atenção à Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Leandro Gobbo Braz, pela ajuda e por todo incentivo.

À Tatiane Pineiz Biondo, assistente administrativa da Seção de Pós-Graduação em Anestesiologia da UNESP, por toda ajuda e orientações durante esse período. Muito obrigado, Tati!

Aos colegas Anestesiologistas do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (HC/UFPE), pela colaboração na realização desta pesquisa em especial ao Dr. Rui Leite e à Dra. Rossana de Melo Lins por todo incentivo.

Aos cirurgiões do programa de residência médica em Cirurgia Bariátrica do HC/UFPE, em especial ao Dr. Josemberg Campos, Dr. Flávio Kreimer e à Dra. Luciana Siqueira por todo apoio e incentivo.

Aos médicos residentes de Anestesiologia e de Cirurgia do HC/UFPE que participaram ativamente na realização desta pesquisa.

Aos funcionários do centro cirúrgico do Hospital das Clínicas da UFPE, pela ajuda durante a todo período da coleta de dados.

Aos meus queridos amigos que, de perto ou a distância, forneceram a força que impulsiona para sempre seguir adiante.

Aos Amigos/irmãos da Carochinha, pelo apoio e incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo financiamento com a bolsa de doutorado.

RESUMO

Gonçalves ACE. Impacto da manobra de recrutamento alveolar sobre a função pulmonar e mecânica respiratória em pacientes submetidos a cirurgia bariátrica avaliados pela tomografia de impedância elétrica: ensaio clínico controlado randomizado [tese]. Botucatu: Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista (Unesp); 2020.

Introdução: Os pacientes obesos quando submetidos a cirurgias de abdome sob videolaparoscopia sofrem alterações ventilatórias que comprometem a aeração pulmonar, a dinâmica da mecânica ventilatória e a função pulmonar, aumentando assim os riscos de complicações pulmonares no pós-operatório. Uma forma de minimizar essas alterações ventilatórias é combinar ventilação protetora associada à manobra de recrutamento alveolar (MRA). Assim, a hipótese deste estudo é que a MRA ao final da cirurgia otimizaria a distribuição da ventilação, a aeração pulmonar e promoveria dessa forma melhora da função pulmonar. **Metodologia:** Trinta e um pacientes obesos, sexo feminino, com idade média de $37 \pm 7,46$ anos, submetidos a cirurgia de gastroplastia videolaparoscópica foram estudados durante o procedimento cirúrgico e nas primeiras 24h. Foram randomizados para o grupo PEEP5 (16 pacientes) ventilados com PEEP de 5 cmH₂O sem manobra de recrutamento alveolar (MRA) ou grupo PEEP5-MRA (15 pacientes) com PEEP 5 cmH₂O com MRA. Os pacientes foram acompanhados nos períodos pré-operatório, intraoperatório e pós-operatório, submetidos ao teste de função pulmonar e avaliados pela tomografia de impedância elétrica em todos os momentos. **Resultados:** Pelo modelo linear misto, a aeração pulmonar diminuiu ao longo do tempo, em ambos os grupos ($p < 0,001$), e não houve diferença entre os grupos: aeração da região ventral ($p = 0,98$) e região dorsal ($p = 0,79$). Houve diminuição da ventilação na região dorsal em cada grupo sem diferença entre os grupos ($p = 0,32$). Não foi observado diferença na complacência pulmonar entre os grupos durante o intraoperatório ($p = 0,33$). Não houve diferença na função pulmonar nos dois grupos, no tempo de permanência hospitalar, tempo de anestesia e cirurgia. **Conclusão:** A aplicação da MRA em pacientes obesos ao final da cirurgia de gastroplastia videolaparoscópica não otimiza a ventilação e aeração pulmonar, assim como não há ganho na mecânica e função pulmonar.

Palavras-chave: Cirurgia Bariátrica, Obesidade, Manobra de Recrutamento alveolar, Tomografia de impedância elétrica.

ABSTRACT

Gonçalves ACE. Impact of alveolar recruitment maneuver on pulmonary function and respiratory mechanics in patients undergoing bariatric surgery using electrical impedance tomography: a randomized controlled clinical trial [Ph.D. thesis]. Botucatu: Medical School, São Paulo State University (Unesp); 2020.

Introduction: Obese patients when submitted to abdominal surgeries under laparoscopy undergo ventilatory changes that compromise pulmonary aeration, the dynamics of ventilatory mechanics and pulmonary function, thus increasing the risks of pulmonary complications in the postoperative period. One way to minimize these ventilatory changes is to combine protective ventilation associated with the alveolar recruitment maneuver (ARM). Thus, this study hypothesizes that ARM at the end of the surgery would optimize the distribution of ventilation, pulmonary aeration and thus promote improvement in lung function. **Methodology:** Thirty-one obese female patients, with an average age of 37 ± 7.46 years, who underwent laparoscopic gastropasty surgery were studied during the surgical procedure and in the first 24 hours. They were randomized to the PEEP5 group (16 patients) ventilated with PEEP of 5 cmH₂O without alveolar recruitment maneuver (ARM) or PEEP5-ARM group (15 patients) with PEEP 5 cmH₂O with ARM. Patients were followed up in the preoperative, intraoperative, and postoperative periods submitted to the pulmonary function test and evaluated by electrical impedance tomography at all times. **Results:** By the mixed linear model, pulmonary aeration decreased over time in both groups ($p < 0.001$) and there was no difference between the groups: aeration of the ventral region ($p = 0.98$) and dorsal region ($p = 0.79$). There was a decrease in ventilation in the dorsal region in each group with no difference between groups ($p = 0.32$). There was no difference in lung compliance between groups during the intraoperative period ($P = 0.33$). There was no difference in lung function in the two groups, length of hospital stay, anesthesia and surgery. **Conclusion:** The application of ARM in obese patients at the end of laparoscopic gastropasty surgery does not optimize pulmonary ventilation and aeration, as well as there is no gain in pulmonary mechanics and function.

Keywords: Bariatric Surgery, Obesity, Alveolar Recruitment Maneuver, Electrical Impedance Tomography.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASA-PS	Classificação do estado físico do paciente pela Sociedade Americana de Anestesiologia
ATS	<i>American Thoracic Society</i>
BIS	Índice Bispectral
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
Csr	Complacência do Sistema Respiratório
CPT	Capacidade Pulmonar Total
CRF	Capacidade Residual Funcional
CV	Capacidade Vital
CVF	Capacidade Vital Forçada
DPO	Dia de Pós-Operatório
DP	<i>Driving Pressure</i>
EELZ	<i>Expiratory End Lung Impedence</i>
ERS	<i>European Respiratory Society</i>
EtCO ₂	CO ₂ ao final da Expiração
FEF25-75%	Fluxo Expiratório Forçado em 25-75% da Capacidade Vital Forçada
FiO ₂	Fração inspirada de Oxigênio
FC	Frequência cardíaca
FR	Frequência Respiratória
HC	Hospital das Clínicas
IMC	Índice de Massa Corpórea
IOT	Intubação Orotraqueal
MRA	Manobra de Recrutamento Alveolar
NYHA	<i>New York Heart Association</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAD	Pressão Arterial Diastólica
PAM	Pressão Arterial Média
PAS	Pressão Arterial Sistólica
PCV	Ventilação mecânica Controlada a Pressão
PEEP	Pressão Positiva ao Final da Expiração
Pe _{Máx}	Pressão Expiratória Máxima
PIA	Pressão Intra-Abdominal
Pi _{Máx}	Pressão Inspiratória Máxima

PTC	Contagem Pós-Tetânica
Pva	Pressão de Via aérea
ROI	<i>Regions of interest</i>
SpO ₂	Saturação Periférica de Oxigênio
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TIE	Tomografia de Impedância Elétrica
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
VEF ₁ /CVF	Relação do Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo pela Capacidade Vital Forçada
VEF ₁	Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo
VRE	Volume de Reserva Expiratório
VRE/CPT	Relação Volume de Reserva Expiratório pela Capacidade Pulmonar Total
VRI	Volume de Reserva Inspiratório

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Protocolo de coleta dos dados: no período pré-operatório e pós-operatório foi realizado espirometria, manovacuometria e avaliação pela tomografia de impedância elétrica (TIE).....	25
Figura 2	Manobra de recrutamento alveolar realizada após a desinsuflação do pneumoperitônio com PEEP incremental de 15 cmH ₂ O.....	26
Figura 3	A tomografia por impedância elétrica – TIE.....	27
Figura 4	A) Posicionamento da cinta com 32 eletrodos no tórax do paciente. (B) Imagem da tomografia por impedância elétrica projetada em uma matriz de 32 x 32 pixels.....	27
Figura 5	Espirometria realizada no momento da coleta dos dados no pré-operatório no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco.....	28
Figura 6	Espirometro portátil (Micro Medical, Microloop, MK8, Inglaterra)....	29
Figura 7	Manovacuômetro digital MV-300 (Globalmed, São Paulo, Brasil).....	30
Figura 8	Mapa da ventilação: Imagem da tomografia por impedância elétrica (TIE) dividida, pela barra em amarelo, em duas regiões de interesse (ROIs) de mesma altura com base na matriz de pixels.....	33
Figura 9	Mapa de hiperdistensão e colapso pulmonar gerada pela TIE em diferentes níveis de PEEP, durante a manobra decremental da PEEP.....	33
Figura 10	Diagrama do CONSORT (<i>Consolidated Standards of Reporting Trials</i>).....	36
Figura 11	(A) Comportamento da Aeração pulmonar na região ventral durante o intraoperatório. (B) Aeração na região dorsal ao longo do tempo.....	38
Figura 12	Comportamento da Variação de Impedância no intraoperatório.....	39
Figura 13	Comportamento da distribuição da ventilação pulmonar nos dois grupos: ventilação heterogênea com predomínio ventral.....	40
Figura 14	Comportamento da complacência pulmonar ao longo da cirurgia.....	41
Figura 15	(A) Comportamento da complacência, colapso e hiperdistensão pulmonar em um caso representativo visto pela tomografia de impedância elétrica (TIE). (B) Mapa do colapso e hiperdistensão pulmonar em um caso representativo.....	43
Figura 16	(A) Comportamento da Pressão Arterial Média (PAM). (B) Comportamento da Frequência Cardíaca (FC) no intraoperatório.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados demográficos, antropométricos, clínicos e tempo de internamento hospitalar.....	37
Tabela 2	Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Obesidade: conceito, classificação e epidemiologia.....	13
1.2 Obesidade e Sistema Respiratório.....	13
1.3 Cirurgia bariátrica: uma opção de tratamento para obesidade refratária.....	14
1.4 Complicações pulmonares no pós-operatório de cirurgias abdominais.....	15
1.5 Manobra de recrutamento alveolar no intraoperatório de cirurgias abdominais.....	16
1.6 Utilização da tomografia de impedância elétrica (TIE) em pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópica e bariátrica: importância da distribuição regional da ventilação e aeração pulmonar.....	17
2 HIPOTESE.....	19
3 OBJETIVOS.....	20
3.1 Objetivo primário	20
3.2 Objetivos secundários.....	20
4 METÓDO.....	21
4.1 Desenho do estudo.....	21
4.2 Local do estudo e período da coleta de dados.....	21
4.3 População do estudo.....	21
4.4 Seleção de voluntários.....	21
4.5 Critérios de elegibilidade.....	21
4.6 Aleatorização e Mascaramento.....	22
4.7 Anestesia.....	22
4.8 Grupos e protocolo.....	24
4.9 Instrumentos de avaliação.....	26
4.10 Análise dos dados.....	30
4.11 Desfechos.....	34
4.12 Análise estatística e Tamanho amostral.....	34
4.13 Aspectos éticos.....	35
5 RESULTADOS.....	36
5.1 Desfecho Primário: Ventilação e Aeração.....	37
5.2 Desfecho Secundário: Mecânica Ventilatória, Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória.....	40
5.3 Dados exploratórios.....	42
6 DISCUSSÃO.....	45
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
8 CONCLUSÃO.....	52
9 REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE.....	58

1 INTRODUÇÃO / REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Obesidade: conceito, classificação e epidemiologia

A obesidade é o acúmulo de gordura corporal em decorrência do balanço energético positivo, considerada uma doença crônica não transmissível e de caráter multifatorial, relacionada intrinsecamente às doenças cardiovasculares, diabetes mellitus, neoplasias, dislipidemia e doenças osteomusculares, condições que impactam diretamente na qualidade de vida dessas pessoas (1).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), são considerados obesos indivíduos com Índice de Massa Corpórea (IMC) acima de 30 kg/m^2 e subdivididos em: Grau I, IMC de 30 a $34,9 \text{ kg/m}^2$; Grau II, IMC entre 35 a $39,9 \text{ kg/m}^2$ e Grau III, ou mórbida, para IMC acima de 40 kg/m^2 (1).

Na última década, a incidência de obesidade aumentou em todo mundo e em todas as faixas etárias bem como em todos os níveis socioeconômicos (2). Em 2016, 39% da população adulta estava acima do peso no mundo, cerca de 1,9 bilhão de adultos e, desses, 650 milhões eram obesos. A estimativa, para 2025, é de que 2,3 bilhões de adultos no mundo estejam acima do peso, sendo 700 milhões de indivíduos com obesidade (1). Já nos Estados Unidos, um dos países mais afetados, a prevalência aproxima-se de 40% nos adultos (3).

No Brasil, a obesidade aumentou 67,8%, nos últimos treze anos, partindo de 11,8% em 2006 para 19,8% em 2018. A maior taxa de crescimento foi entre os adultos de 25 a 34 anos (84,2%) (4). Atualmente o Brasil apresenta 55,7% da população acima do peso (4) e aproximadamente 168 mil mortes por ano são atribuíveis ao excesso de peso e obesidade (5).

1.2 Obesidade e Sistema Respiratório

Nos obesos, o excesso de gordura na cavidade abdominal interfere na dinâmica da musculatura diafragmática que associado ao aumento do diâmetro

torácico compromete a função pulmonar e do sistema respiratório desses pacientes (6,7).

As repercussões funcionais respiratórias observadas em obesos são diretamente proporcionais ao grau de obesidade, entre elas: aumento da resistência das pequenas vias aéreas, redução das complacências pulmonar e torácica, redução da pressão arterial de oxigênio, hipoventilação alveolar (8), redução da capacidade residual funcional (CRF), redução do volume de reserva expiratório (VRE) (9) e por uma redução na capacidade pulmonar total e capacidade vital, mas com capacidade inspiratória e volume residual normais (10).

Outros achados como a adiposidade visceral abdominal, a infiltração gordurosa no diafragma e na pleura e a hipertonia dos músculos do abdome estão associadas às alterações ventilatórias, nos indivíduos obesos, devido à diminuição do desempenho muscular e da expansão torácica nesses pacientes (7).

Entretanto, observamos que alguns obesos possuem espirometria normal (11) e, nesse contexto, os mecanismos que levam aos distúrbios da função pulmonar, nessa população, ainda não estão completamente esclarecidos (9,12).

1.3 Cirurgia bariátrica: uma opção de tratamento para obesidade refratária

Atualmente, o procedimento cirúrgico bariátrico é considerado um método efetivo para tratamento de obesidade refratária a outros tipos de tratamento clínicos e permanece como tratamento eficiente para a obesidade grave. Isso ocorre sobretudo com pacientes nos quais o tratamento clínico em geral – que tem como base a restrição de ingestão de alimentos calóricos e mudança nos hábitos de vida – não obteve sucesso (13).

Os resultados de uma revisão sistemática da Cochrane, ainda em 2014, já afirmava que a cirurgia para obesidade resulta em maior perda de peso quando comparada aos procedimentos não cirúrgicos a curto prazo (por exemplo, até dois anos após a cirurgia), proporcionando melhora em alguns

aspectos da qualidade de vida relacionados à saúde. Além disso, a perda de peso está associada a reduções de comorbidades como diabetes, síndrome metabólica e apneia do sono (14).

Os procedimentos cirúrgicos podem ser realizados por laparotomia, conhecida como cirurgia aberta ou convencional, ou por videolaparoscopia. A intervenção cirúrgica bariátrica por via laparoscópica apresenta melhor evolução clínica pós-operatória quando comparada ao procedimento convencional (15,16).

Angrisani et al. (17) demonstram que cerca de 96% dos procedimentos bariátricos foram realizados laparoscopicamente em 2013, com menos complicações e menor tempo de internação em comparação com a abordagem aberta. Adicionalmente, a técnica laparoscópica proporcionou a deambulação e aceitação da dieta líquida mais precoce (18).

1.4 Complicações pulmonares no pós-operatório de cirurgias abdominais

A prevalência das complicações respiratórias nas cirurgias do abdome superior varia entre 17 e 88% (19). A atelectasia é a complicação respiratória mais comum associada às cirurgias abdominais e vários fatores contribuem para sua formação como, por exemplo, uma ventilação mecânica não protetora no intraoperatório, uma elevada FiO_2 , disfunção diafragmática temporária e tipo de cirurgia (20).

Em decorrência dessa redução na atividade diafragmática, há redução dos volumes de reserva inspiratório (VRI) e expiratório (VRE), dos fluxos expiratórios, da capacidade vital (CV) e da capacidade residual funcional (CRF) (21).

As características fisiológicas associadas à obesidade podem exacerbar as alterações ventilatórias no intraoperatório e assim comprometer a aeração e ventilação pulmonares, alterando a dinâmica da mecânica pulmonar (22) e, conseqüentemente, aumentando os riscos de complicações pulmonares no pós-operatório (23,24).

Estudo de Grieco et al. (25) constatou em pacientes obesos submetidos a cirurgias de abdome sob videolaparoscopia a deteriorização da função pulmonar, com o fechamento das pequenas vias aéreas, promovendo assim maior possibilidade de complicações pulmonares no pós-operatório.

Assim, a busca por medidas que atenuam essas complicações pulmonares no pós-operatório devem ser levantadas com a finalidade de diminuir morbimortalidade perioperatória (26).

1.5 Manobra de recrutamento alveolar no intraoperatório de cirurgias abdominais

Com o objetivo de diminuir as alterações ventilatórias e as complicações pulmonares, alguns autores sugerem estratégias ventilatórias como, por exemplo, a manobra de recrutamento alveolar (MRA) (27-30), que é realizada com a finalidade de aumentar a abertura dos alvéolos e assim diminuir a heterogeneidade pulmonar (31), muito embora existam poucas evidências quanto ao uso da MRA em pacientes obesos.

Alguns estudos realizados avaliaram a evolução da PEEP durante a manobra nessa população, assim como o tempo de aplicação da MRA para um melhor desfecho clínico, porém nos pacientes sem lesão pulmonar essa resposta ainda se encontra em discussão (32,33).

Reinius et al. (34) avaliaram a formação de atelectasia em pacientes obesos submetidos à cirurgia e observaram que o grupo ventilado com MRA e PEEP alta apresentou menor atelectasia, evidenciando assim a importância da MRA associada à PEEP na diminuição na formação das atelectasias. Posteriormente, Futier et al. (35) relataram que a MRA otimizou a mecânica pulmonar em pacientes submetidos a cirurgia videolaparoscópica.

Em seguida, Pereira et al. (36) ratificaram a importância da PEEP elevada e individualizada pela tomografia de impedância elétrica na diminuição do colapso pulmonar em pacientes submetidos à cirurgia abdominal videolaparoscópica.

Entretanto, no estudo PROBESE (37), os autores não encontraram redução das complicações pulmonares quando compararam pacientes ventilados com PEEP mais alta associado à MRA aos pacientes ventilados com PEEP menor e sem MRA.

Dessa forma, levando a necessidade de uma maior investigação sobre o comportamento da distribuição da ventilação e aeração pulmonar durante as estratégias ventilatórias nesta população, bem como se uma manobra de recrutamento ao final do procedimento seria o suficiente para restaurar a ventilação e função pulmonares nesta população.

1.6 Utilização da tomografia de impedância elétrica (TIE) em pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópica e bariátrica: importância da distribuição regional da ventilação e aeração pulmonar

Alguns autores têm reportado o uso da tomografia de impedância elétrica (TIE) como aliado na obtenção de estratégias protetoras para ventilação mecânica de pacientes durante a anestesia geral nas cirurgias videolaparoscópicas (38-40)

Não invasividade, não radioatividade e portabilidade são vantagens que esse recurso proporciona no ambiente cirúrgico, possibilitando que a TIE torne-se cada vez mais utilizada nessa população, ao otimizar a ventilação mecânica com a escolha de pressões expiratórias adequadas, a partir da avaliação da distribuição regional da ventilação, aeração pulmonar, hiperdistensão e colapso pulmonar. É importante destacar que todos esses aspectos avaliados ainda no intraoperatório podem repercutir na maior ou menor incidência de complicações respiratórias.

He et al. (38) conduziram, em 2016, ensaio clínico com 50 pacientes submetidos a videolaparoscopia e encontraram uma melhor distribuição da ventilação pulmonar avaliada pela TIE, embora este achado não tenha se traduzido em diferença na incidência de complicações respiratórias.

Posteriormente, em 2017, Eichler et al. (39) avaliaram a aeração pulmonar por meio da razão entre a impedância pulmonar no final da expiração (EELZ – *Expiratory End Lung Impedence*) durante cada tempo da manobra de titulação da PEEP no período intraoperatório em 20 pacientes ao mesmo tempo em que a pressão esofágica era mensurada. Os autores sugeriram a necessidade do aumento de PEEP durante o pneumoperitônio, uma vez que o aumento da pressão esofágica provocada pelo aumento da pressão abdominal pode promover diminuição da aeração pulmonar.

Reforçando o uso da TIE, Pereira et al. (36), em 2018, demonstraram em um ensaio clínico que o uso da TIE foi capaz de indicar a melhor PEEP para cada paciente durante a anestesia geral, proporcionando assim menores áreas de colapso pulmonar no pós-operatório desses pacientes. Entretanto, contrapondo aos desfechos encontrados por He et al. (38) relacionados às complicações respiratórias no período pós-operatório, Pereira et al. obtiveram menor incidência e gravidade de atelectasias.

Entretanto, o uso da TIE em pacientes submetidos a cirurgia bariátrica ainda é escasso. Um estudo com delineamento *quasi-randomizado* utilizou a TIE para titular a PEEP a ser utilizada no intraoperatório e correlacionou mudanças na impedância pulmonar (ΔZ) com o volume corrente (40), porém os autores não avaliaram a distribuição regional da ventilação durante o procedimento cirúrgico.

Dessa forma, existe uma lacuna na literatura a respeito da influência da distribuição regional da ventilação e da manutenção da aeração pulmonar medidas pela TIE durante estratégias ventilatórias e a incidência de complicações respiratórias no pós-operatório nas várias populações submetidas a videolaparoscopia, incluindo a cirurgia bariátrica.

2 HIPÓTESE

A MRA, ao final da cirurgia, otimiza a distribuição da ventilação e aeração pulmonar, promove melhor função pulmonar e força dos músculos ventilatórios quando comparada à ventilação mecânica protetora.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Primário

- Comparar o comportamento da distribuição da ventilação e aeração pulmonar em pacientes que realizaram a MRA com o grupo mantido com ventilação protetora convencional.

3.2 Objetivos Secundários

- Avaliar a função pulmonar e complacência pulmonar;
- Avaliar a força muscular respiratória;
- Avaliar o comportamento hemodinâmico;
- Avaliar o tempo de permanência hospitalar.

4 MÉTODO

4.1 Desenho do estudo

Trata-se de um ensaio clínico, controlado e randomizado.

4.2 Local do estudo e período da coleta de dados

A coleta de dados foi realizada entre março de 2018 a dezembro de 2019 no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

4.3 População do estudo

A população do estudo foi composta por pacientes obesos submetidos à cirurgia de gastroplastia por videolaparoscopia no Hospital das Clínicas de Pernambuco, de ambos os sexos, com faixa etária de 18 a 60 anos.

4.4 Seleção de voluntários

Para obtenção da amostra, foi realizado um levantamento nos bancos de dados do setor de Cirurgia Bariátrica do HC/UFPE para identificação e triagem dos pacientes obesos com indicação de cirurgia. Esses pacientes foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos e a amostra foi trabalhada de forma consecutiva e randômica. Os pacientes que se enquadraram nos critérios de elegibilidade foram aleatorizados por um pesquisador que não estivesse envolvido diretamente com a pesquisa para garantir o sigilo de alocação.

4.5 Critérios de elegibilidade

4.5.1 Critérios de inclusão

Foram incluídos no estudo pacientes adultos com idade entre 18 e 60 anos, de ambos os sexos, agendados para cirurgia de gastroplastia por

videolaparoscopia no serviço de cirurgia do HC/UFPE e que assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE).

4.5.2 Critérios de exclusão

Foram excluídos aqueles pacientes com pneumopatias graves, portadores de insuficiência cardíaca congestiva (NYHA classe III ou IV), doença arterial coronariana, portadores de marcapasso, pacientes que necessitaram de intervenção por laparotomia, paciente classificado pela *American Society of Anesthesiologists* como ASA-P3 ou acima, pacientes que necessitaram de UTI no pós-operatório e os que apresentaram instabilidade hemodinâmica ($PAM \leq 60$ mmHg) no momento protocolado para a realização da MRA.

4.6 Aleatorização e mascaramento

Participaram do estudo quatro pesquisadores para garantir a aleatorização e mascaramento. Um pesquisador foi responsável pela aleatorização dos pacientes empregando o software *randomization.com* e distribuí-los aleatoriamente em dois grupos, outro pesquisador foi responsável pelo sigilo de alocação, utilizando-se para isso envelopes lacrados e opacos. Um terceiro pesquisador foi responsável pelas avaliações antes e após as intervenções e um quarto avaliador foi responsável pelas intervenções no intraoperatório.

4.7 Anestesia

Os pacientes foram inicialmente monitorizados com oximetria de pulso, eletrocardiografia nas derivações DII, V4 e V5, pressão arterial não invasiva, monitorização da profundidade anestésica realizada com o índice bispectral (BIS, Modelo A 2000[®], software versão 2.21, *Aspect Medical Systems*, Boston, MA, USA) e o bloqueio neuromuscular monitorizado com TOF-Watch SX (Organon, Ireland).

Todos os pacientes foram pré-oxigenados com oxigênio a 100%, durante 5 min, antes da intubação. Iniciou-se a indução anestésica com fentanil, 3 a 4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ IV, propofol 2,0 mg.kg^{-1} IV, e rocurônio, 0,6 mg.kg^{-1} IV.

Após indução anestésica, os pacientes foram submetidos a ventilação mecânica em modo volume controlado, com volume corrente de 7 ml.kg^{-1} de peso predito, fração inspiratória de oxigênio (FiO_2) de 0.5, frequência respiratória ajustada para manter a pressão de CO_2 ao final da expiração (ETCO_2) entre 35 e 42 mmHg, PEEP de 5 cmH_2O e uma pausa inspiratória de 15%, tendo uma estação de trabalho de anestesia da GE (GE Datex-Ohmeda, München, Alemanha).

A manutenção da anestesia foi realizada com infusão contínua de Propofol alvo controlada e Remifentanil para manter um índice de BIS entre 40-50. Foi utilizada uma infusão contínua de remifentanil entre 0,2 e 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, utilizando uma bomba (Perfusor[®] compact B. Braun, Melsungen, Alemanha), titulada durante todo o procedimento para manutenção da pressão arterial média (PAM) e frequência cardíaca (FC) em torno de 20% dos valores basais.

O pneumoperitônio foi gerado insuflando dióxido de carbono no abdome com a pressão intra-abdominal mantida entre 13 e 15 $\text{cm H}_2\text{O}$ (Insuflador de Alto Fluxo; Karl Storz, Tuttlingen, Alemanha) e a cirurgia realizada em céfalo-activo com ângulo de inclinação da mesa cirúrgica de 20 graus em relação ao solo. Esta inclinação foi mensurada por um goniômetro (GemRed, China).

Durante o procedimento, a hipotensão foi tratada com infusão de fluidos ou etilefrina 1 mg IV, conforme necessário e o bloqueio neuromuscular profundo foi realizado com rocurônio em doses intermitentes e monitorizado com TOF-Watch SX para manter uma contagem pós-tetânica (PTC) ≥ 1 associada à sequência de quatro estímulos (TOF) iguais a zero. Utilizamos o sugamadex para reversão do bloqueio muscular e sua dosagem de acordo com a profundidade do bloqueio neuromuscular.

Todos os pacientes receberam omeprazol 40 mg IV, dexametasona, 4 mg IV e ondansetrona, 8 mg IV. A analgesia pós-operatória foi realizada quarenta minutos antes do término da cirurgia com dipirona 2 g IV, paracoxibe

40mg IV e morfina 0,1 mg.kg⁻¹ e as concentrações foram calculadas com base no peso corporal ideal. A hidratação foi realizada com cristaloides 8 mL.kg⁻¹.h⁻¹.

4.8 Grupos e protocolo

Após preencher os critérios de inclusão da pesquisa e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), os pacientes realizaram espirometria (Micro Medical, Microloop, MK8, Inglaterra), manovacuometria (NEPEB, LabCare, Brasil) e foram avaliados pela TIE (Enlight 1800, Timpel, Brasil) no período pré-operatório.

No intraoperatório, os pacientes foram monitorizados com a TIE antes da indução anestésica e alocados aleatoriamente em dois grupos após a desinsuflação do pneumoperitônio:

- Grupo PEEP5 pacientes submetidos a pressão positiva ao final da expiração de 5 cmH₂O;
- Grupo PEEP5-MRA pacientes submetidos a pressão positiva ao final da expiração de 5 cmH₂O e manobra de recrutamento alveolar ao final da cirurgia (Figura 1).

A avaliação realizada, no intraoperatório, pela tomografia de impedância elétrica foi realizada nos seguintes tempos:

1. Basal (*Baseline*): paciente em decúbito dorsal, em ventilação espontânea e com ângulo de inclinação da mesa cirúrgica em zero grau em relação ao solo;
2. Pós-IOT: avaliação ocorreu 5 min após a IOT, paciente em ventilação mecânica e com ângulo de inclinação em zero grau;
3. Pré-extubação: avaliado 5 min após a MRA e com ângulo de inclinação em zero grau;
4. Pós-extubação: avaliado 15 min após a extubação e com ângulo de inclinação da mesa em zero grau.

A avaliação no pré e pós-operatório, pela tomografia de impedância elétrica, foi realizada com paciente na posição sentada.

As medidas dos dados hemodinâmicos (PAM, PAS, PAD e FC) foram avaliados nos seguintes tempos: basal, IOT, insuflação do pneumoperitônio, desinsuflação do pneumoperitônio, MRA, pré-extubação e pós-extubação.

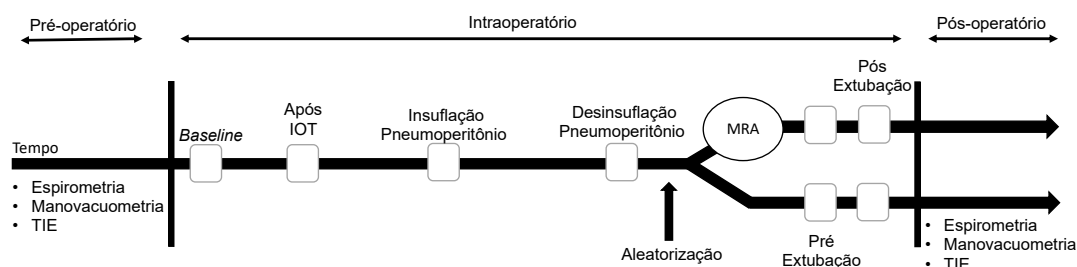


Figura 1. Protocolo de coleta dos dados: no período pré-operatório e pós-operatório foi realizado espirometria, manovacuometria e avaliação pela tomografia de impedância elétrica (TIE). No intraoperatório, antes da intubação orotraqueal (IOT), todos foram monitorizados para a TIE, ventilados em volume controlado com 7ml/kg de peso predito. A manobra de recrutamento alveolar (MRA) foi realizada no grupo PEEP5-MRA em pressão controlada com *driving pressure* (DP) de 15 cmH₂O e após a desinsuflação do pneumoperitônio.

4.8.1 Manobra de Recrutamento Alveolar

A manobra de recrutamento alveolar (MRA) foi realizada após a desinsuflação abdominal do pneumoperitônio em ventilação controlada por pressão com PEEP incremental de 15 cmH₂O durante 30 segundos, 20 cmH₂O durante 30 segundos, 25 cmH₂O durante 30 segundos, 30 cmH₂O durante um minuto e uma pressão de platô inspiratória de 15 cmH₂O acima da PEEP (*driving pressure*).

Ao término da MRA, realizamos a manobra decremental da PEEP, para avaliação do colapso pulmonar, com redução em 2 cmH₂O a cada 30 segundos, partindo de um PEEP de 19 cmH₂O até atingir a PEEP de 5 cmH₂O (Figura 2).

A distribuição da ventilação regional foi avaliada em duas regiões de interesse (ROIs, do inglês *regions of interest*) ventrodorsais de mesma altura.

Todos os pacientes realizaram uma nova espirometria, manovacuometria e foram avaliados pela TIE após 24h do procedimento cirúrgico (Figura 1).

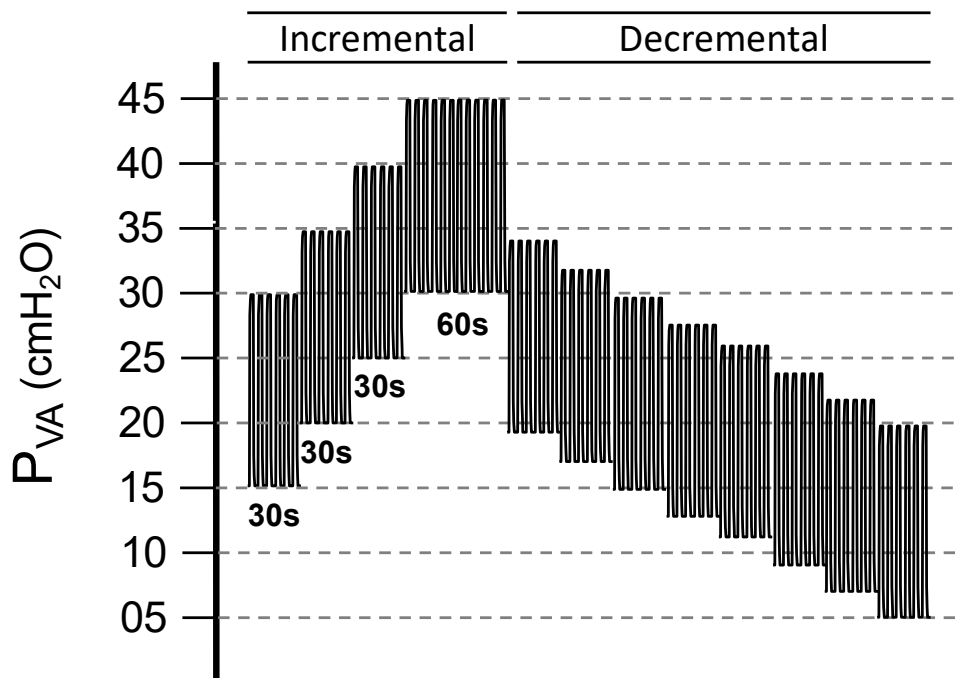


Figura 2. Manobra de recrutamento alveolar realizada após a desinsuflação do pneumoperitônio com PEEP incremental de 15 cmH₂O durante 30 segundos, 20 cmH₂O durante 30 segundos, 25 cmH₂O durante 30 segundos, 30 cmH₂O durante um minuto e em seguida foi realizada a avaliação do colapso com a PEEP reduzida em 2 cmH₂O a cada 30 segundos, partindo de um PEEP de 19 cmH₂O até atingir a PEEP de 5 cmH₂O.

4.9 Instrumentos de avaliação

4.9.1 Tomografia por impedância elétrica

A tomografia por impedância elétrica – TIE (Enlight 1800, TIMPEL S.A., São Paulo, Brasil) (Figura 3) foi utilizada para avaliar a distribuição da ventilação, aeração pulmonar, mecânica ventilatória e o colapso pulmonar. Para análise da TIE, uma cinta de 32 eletrodos foi colocada no quinto espaço intercostal para aquisição das imagens que foram geradas após a passagem de correntes elétricas alternadas através de eletrodos aplicados ao redor do tórax (41) (Figura 4A).



Figura 3. A tomografia por impedância elétrica – TIE. Fonte: site da Timpel (<http://timpel.com.br>).

A reconstrução da imagem foi feita por algoritmos que projetaram as medidas de resistividade elétrica em uma matriz de 32 x 32 pixels, onde cada pixel descreve a diferença de impedância (Figura 4B). A orientação espacial da imagem da TIE representa um corte axial do tórax, semelhante à imagem da tomografia computadorizada com o lado direito localizado à esquerda da imagem e a região anterior (ventral) vista na porção superior da imagem.

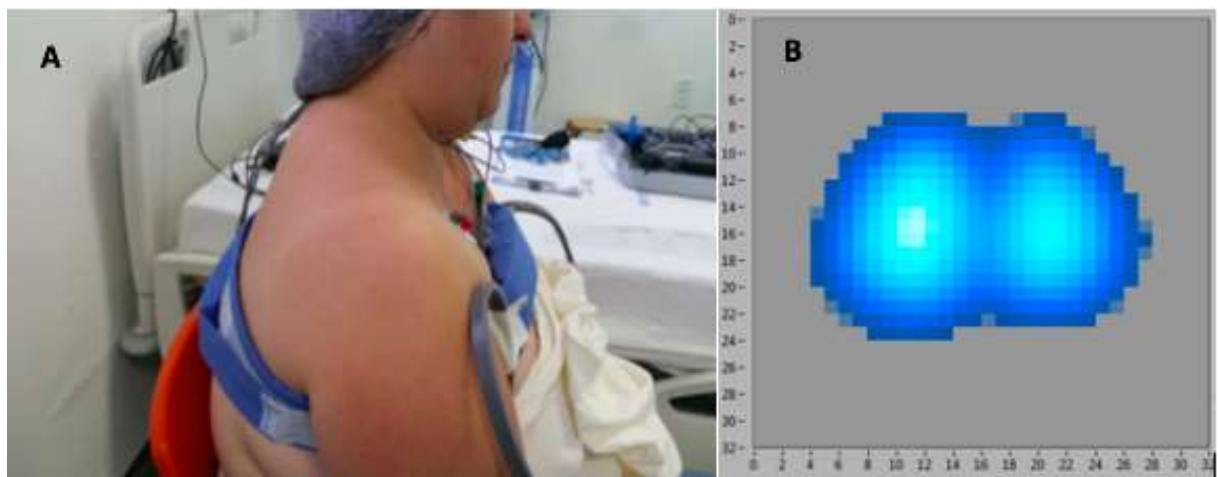


Figura 4. (A) Posicionamento da cinta com 32 eletrodos no tórax do paciente. (B) Imagem da tomografia por impedância elétrica projetada em uma matriz de 32 x 32 pixels. As cores azuis escuras representam áreas com menor variação da ventilação pulmonar; as claras, maior variação da ventilação pulmonar. Fonte: Arquivos dos autores. Fonte: Arquivos dos autores

4.9.2 Espirometria

Para mensurar os valores espirométricos, foram realizadas três manobras de acordo com as recomendações da *American Thoracic Society* (ATS) (42). Foram coletados os valores, com o paciente sentado, coluna ereta, pés apoiados no chão e sem apoio para os membros superiores.

Foram mensurados: de capacidade vital forçada (CVF), volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1), fluxo expiratório forçado 25%-75% (FEF 25%-75%) e a relação VEF1/CVF (Figura 5). Os testes foram realizados com um espirômetro portátil (Micro Medical, Microloop, MK8, Inglaterra) (Figura 6), uma boquilha descartável e um clipe nasal.

Todos os dados coletados foram interpretados de acordo com os valores preditos de Pereira et al. (43).



Figura 5. Espirometria realizada no momento da coleta dos dados no pré-operatório no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco. Fonte: Arquivos dos autores.



Figura 6. Espirometro portátil (Micro Medical, Microloop, MK8, Inglaterra). Fonte: Arquivos dos autores.

4.9.3 Manovacuometria

A manovacuometria foi realizada de acordo com as recomendações da *American Thoracic Society* (44) e da *European Respiratory Society* (45). Foi utilizado um manovacômetro digital MV-300 (Globalmed, São Paulo, Brasil) (Figura 7).

Durante a coleta dos valores de pressão inspiratória ($P_{iMáx}$) e pressão expiratória máxima ($P_{eMáx}$), o paciente esteve sentado e foi orientado a acoplar à sua boca um bocal (tipo mergulhador) com presença de orifício de fuga de 2mm de diâmetro interno e realizar uma expiração máxima e inspiração máxima por pelo menos 1,5 s, para que a pressão máxima sustentada por um segundo fosse observada (pressão média máxima) no manovacômetro.

Para o cálculo dos valores preditos de $P_{iMáx}$ e $P_{eMáx}$ foram utilizadas as equações de Neder (46).



Figura 7. Manovacuômetro digital MV-300 (Globalmed, São Paulo, Brasil). Fonte: Arquivos dos autores.

4.10 Análise dos dados

4.10.1 Parâmetros fisiológicos

Variáveis ventilatórias

Cálculo da complacência do sistema respiratório [$C_{sr} = VC / (P_{platô} - PEEP)$].

Variáveis hemodinâmicas

As variáveis hemodinâmicas foram avaliadas através das pressões sistólica (PAS), diastólica (PAD), arterial média sistêmica (PAM) e frequência cardíaca (FC) por meio do monitor multiparamétrico GE – Dash 4000 (GE, Milwaukee, EUA).

4.10.2 Análise *off-line* dos dados da TIE

A análise *off-line* dos dados da TIE foi realizada pelo software *EIT Analysis*, versão 8.11, 2014, Timpel S.A. Antes da quantificação dos dados, os arquivos passaram por um filtro para eliminar ruídos acima de 15 Hz.

- **Mapeamento da distribuição da ventilação pulmonar regional**

Para análise da distribuição da ventilação pulmonar regional, foi utilizada a razão de ventilação dorsal/ventral ($\Delta Z_{\text{dorsal}} / \Delta Z_{\text{ventral}}$) para todos os tempos do estudo, considerando ΔZ como a variação de impedância. A aquisição do ΔZ_{dorsal} e do $\Delta Z_{\text{ventral}}$ foram definidas após a delimitação de duas regiões de interesse (ROIs), derivadas a partir de uma imagem gerada em um intervalo de 3000 frames (1 minuto), selecionado dentro de um trecho gravado de cinco minutos, e repetindo-se esse procedimento para cada tempo do estudo.

Essas imagens funcionais foram divididas, no plano matriz, por uma barra em duas partes iguais ROI 1 ($\Delta Z_{\text{ventral}}$) e ROI 2 (ΔZ_{dorsal}) e por contagem dos pixels. Além disso, a referida barra permaneceu fixa durante a análise das regiões ventral e dorsal durante todos os tempos de análise deste estudo. Para a análise da ventilação global (ΔZ_{global}), a barra era removida do plano matriz. O mapa da ventilação é representado por tons de azul, onde tons mais claros de azul representam maior ventilação regional (Figura 8).

- **Medida da aeração pulmonar regional**

As medidas da aeração pulmonar foram realizadas por meio do traçado do pletismograma de impedância elétrica global, sendo obtida pela razão da soma das medidas de impedância elétrica expiratória final (EELZ) durante um intervalo de frames (3000 frames) pelo número de medições feitas. Para análise da aeração também foram consideradas as medidas do EELZ_{ventral} e EELZ_{dorsal}.

- **Avaliação do colapso e hiperdistensão pulmonar**

Após a desinsuflação do pneumoperitônio, os pacientes do grupo PEEP5-MRA foram submetidos à MRA, seguida de manobra decremental da PEEP. Durante toda a MRA e manobra decremental da PEEP, os pacientes foram monitorados pela TIE para quantificar o colapso pulmonar em cada momento que se reduzia a PEEP (Figura 9).

A tomografia de impedância permite estimar o colapso e a hiperdistensão pulmonar pelas informações (complacência do pixel) durante a manobra decremental da PEEP. Devemos interpretar que a perda de complacência do pixel nos níveis de PEEP abaixo da PEEP de melhor complacência indica que há colapso pulmonar. Por conseguinte, a redução da complacência do pixel em níveis de PEEP acima da PEEP de melhor complacência indica hiperdistensão (47).

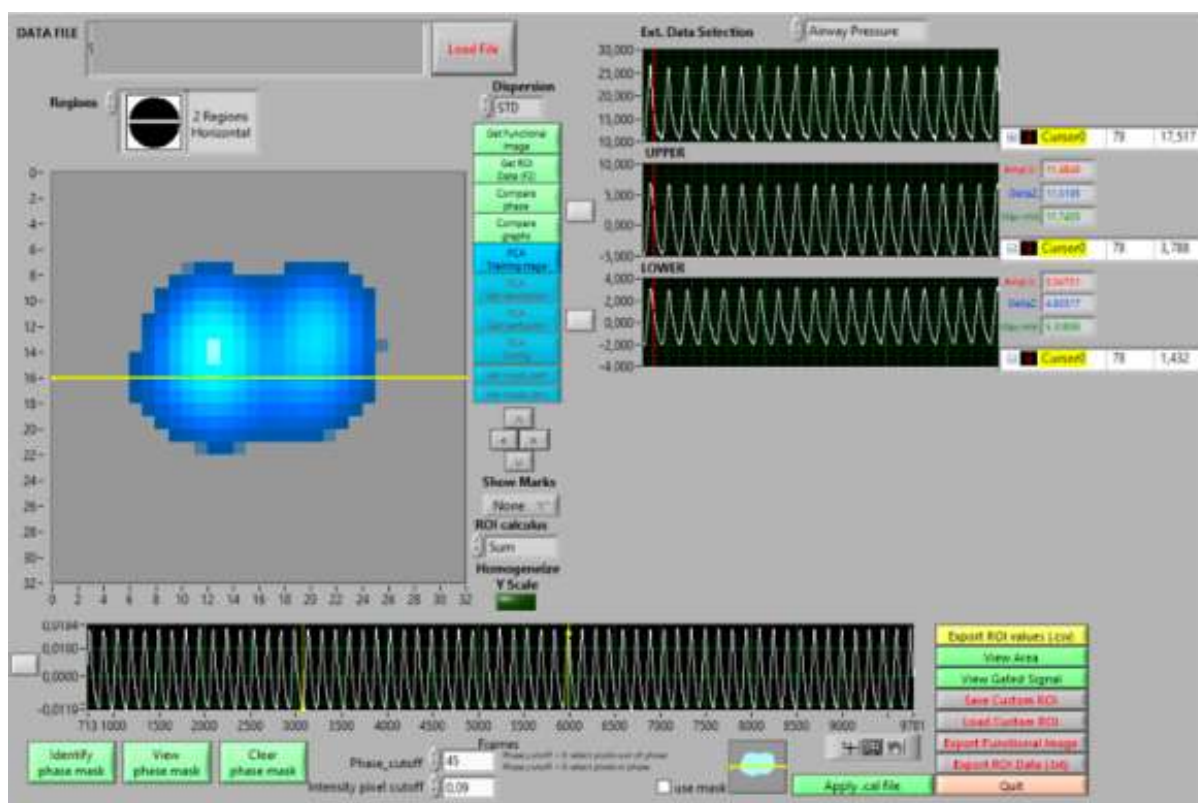


Figura 8. Mapa da ventilação: Imagem da tomografia por impedância elétrica (TIE) dividida, pela barra em amarelo, em duas regiões de interesse (ROIs) de mesma altura com base na matriz de pixels.

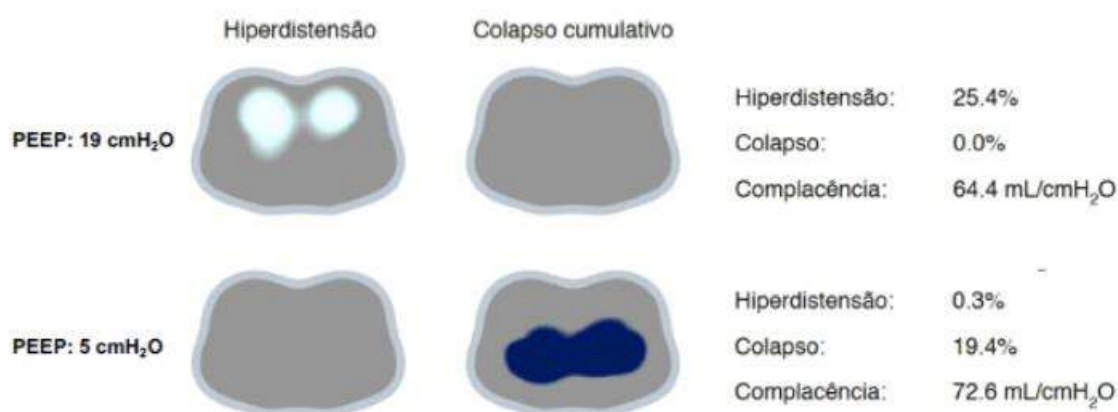


Figura 9. Mapa de hiperdistensão e colapso pulmonar gerada pela TIE em diferentes níveis de PEEP, durante a manobra decremental da PEEP. Observamos em azul área de colapso e em branco hiperdistensão.

4.11 Desfechos

Os desfechos primários deste estudo consistiram em identificar o comportamento da ventilação e aeração regional pulmonar ao passo que os secundários analisaram a mecânica ventilatória e a função pulmonar em ambos grupos.

4.12 Análise estatística e Tamanho amostral

Após confirmada a normalidade entre os grupos com o teste de Kolmogorov-Smirnov, foi utilizada o teste t para amostras independentes e os dados apresentados em média e desvio padrão (DP) para as seguintes variáveis: dados antropométricos, tempo de internamento hospitalar, função pulmonar, força muscular e razão da ventilação ventral/dorsal. Para a presença de comorbidades foi utilizado o teste de qui-quadrado para comparação entre os grupos. A diferença entre os dois grupos – em diferentes tempos ou em diferentes regiões de interesse – foi testada usando o modelo linear de efeitos mistos. A significância estatística foi aceita quando $p < 0,05$ e as análises foram realizadas com o programa “R” (R Core Team (2016). *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria).

O tamanho amostral foi estimado através do programa OpenEpi (Versão 3.01, Emory University, Rollins School of Public Health, 2013). Os autores deste estudo consideraram um aumento estimado de 10% na distribuição da ventilação dorsal no grupo que realizou a MRA quando comparado ao grupo que realizou a ventilação mecânica protetora ao final da cirurgia. Este valor foi atribuído pelos autores respaldado na observação prévia de casos clínicos do próprio grupo. Considerando o poder do teste de 80% e estimativa de erro tipo I de 5%, tamanho de efeito de 1, a amostra proposta neste protocolo foi de 13 pacientes por grupo, embora os autores tenham considerado um acréscimo aproximado de 20% no número amostral com o objetivo de suprir possíveis perdas (Apêndice 1).

4.13 Aspectos éticos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFPE, sob número de Parecer 1.214.954, e registrado no *Clinical.Trials.gov* (NCT 03476863). Todos os indivíduos da população-alvo, depois de recrutados nos centros de referência, foram esclarecidos quanto à investigação proposta e então consentiram participar como voluntários. Para isso, cada participante assinou, após lido em voz alta para o mesmo, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) de acordo com a Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (Apêndice 2).

5 RESULTADOS

Um total de 31 pacientes, do sexo feminino, foram incluídos neste estudo. Quinze no grupo PEEP5-MRA e dezesseis no grupo PEEP5, de um total de 43 pacientes elegíveis. Foram excluídos seis pacientes por não preencherem os critérios de inclusão e cinco que tiveram a cirurgia suspensa. Entre os 32 pacientes randomizados, houve uma exclusão durante a análise (Figura 10). As características e as comorbidades dos pacientes estão apresentadas na Tabela 1.

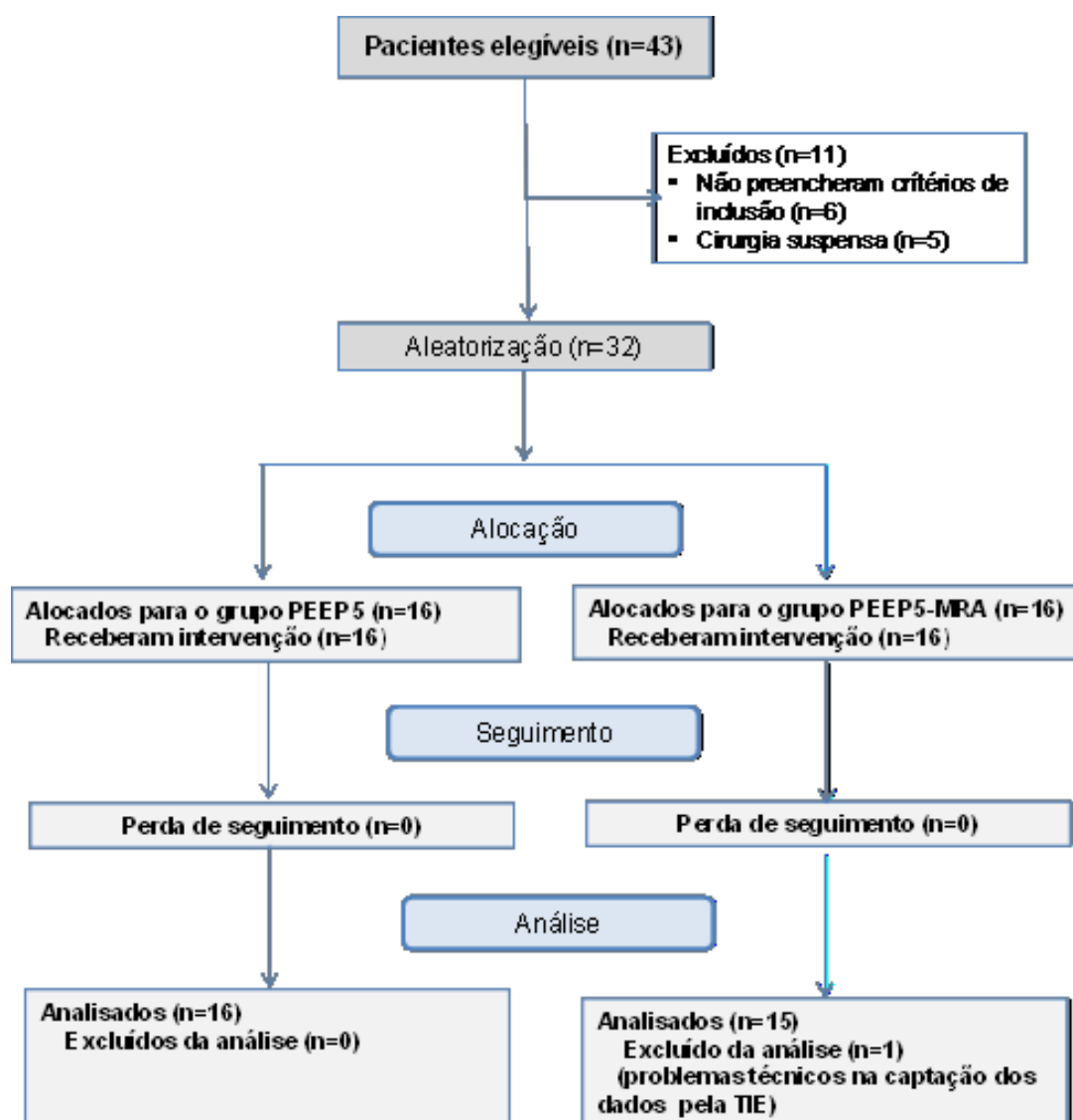


Figura 10. Diagrama do CONSORT (*Consolidated Standards of Reporting Trials*).

Tabela 1. Dados demográficos, antropométricos, clínicos e tempo de internamento hospitalar

Dados	Grupo PEEP5 (n= 16)	Grupo PEEP5- MRA (n= 15)	p-valor
Idade (anos) Média ± DP	36,94 ± 8,29	37,07 ± 6,74	0,96
IMC (kg/m ²) Média ± DP	35,88 ± 2,56	34,67 ± 2,81	0,24
Peso Predito (kg) Média ± DP	52,81 ± 6,63	54,40 ± 5,46	0,50
Perímetro Torácico (cm) Média ± DP	115,69 ± 5,77	116,80 ± 5,46	0,54
Circunferência da cintura (cm) Média ± DP	125,25 ± 9,24	128,67 ± 8,33	0,29
Circunferência do quadril (cm) Média ± DP	132,13 ± 9,74	137,07 ± 6,56	0,11
Tempo de internamento hospitalar (dias) Média ± DP	2,31 ± 0,60	2,13 ± 0,65	0,32
Hipertensão arterial (%)	62,5%	46,67%	0,72
Asma leve (%)	12,5%	13,34%	1,00
Diabetes (%)	6,25%	20%	0,25
Dislipidemia (%)	18,75%	20%	0,93
Uso de O ₂ no pós-operatório (%)	25%	20%	0,73

Nos dados quantitativos foi realizado o teste t para amostras independentes e o resultados expressos em média ± desvio padrão (DP). Para as variáveis dicotômicas foi realizado o teste qui-quadrado e os resultados expressos em percentual. O valor de $p < 0,05$ foi considerado para significância estatística. IMC = índice de massa corpórea; Peso Predito para homens: $50 + 0,91(\text{Altura} - 152,4 \text{ cm})$; Peso Predito para mulheres: $45,5 + 0,91(\text{Altura} - 152,4 \text{ cm})$.

5.1 Desfecho Primário: Ventilação e Aeração

Pelo modelo linear misto, a aeração pulmonar diminuiu ao longo do tempo cirúrgico em cada grupo, tanto na região ventral quanto região dorsal ($p < 0,001$) e não houve diferença entre os grupos: aeração da região ventral ($p = 0,98$) e região dorsal ($p = 0,79$) (Figura 11).

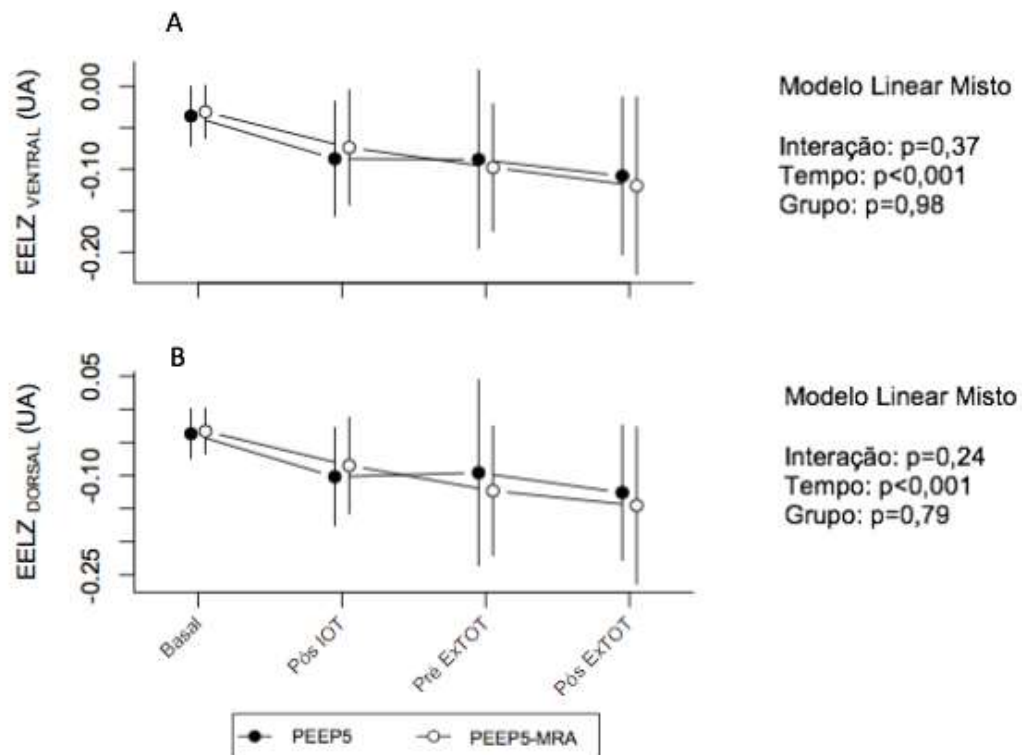


Figura 11. (A) Comportamento da Aeração pulmonar na região ventral durante o intraoperatório. (B) Aeração na região dorsal ao longo do tempo. EELZ = impedância elétrica expiratória final; UA = unidade arbitrária.

Na variação de impedância global (ΔZ) no intraoperatório (Figura 12), houve uma redução ao longo do tempo em ambos os grupos ($p<0,01$), mas não evidenciamos diferença entre eles ($p=0,94$).

A razão da distribuição da ventilação na região dorsal e ventral (D/V) foi semelhante entre os grupos PEEP5 e PEEP5-MRA no pré-operatório ($1,47 \pm 0,54$ vs. $1,55 \pm 0,37$; $p=0,65$) e pós-operatório ($1,61 \pm 0,42$ vs. $1,52 \pm 0,57$; $p=0,67$).

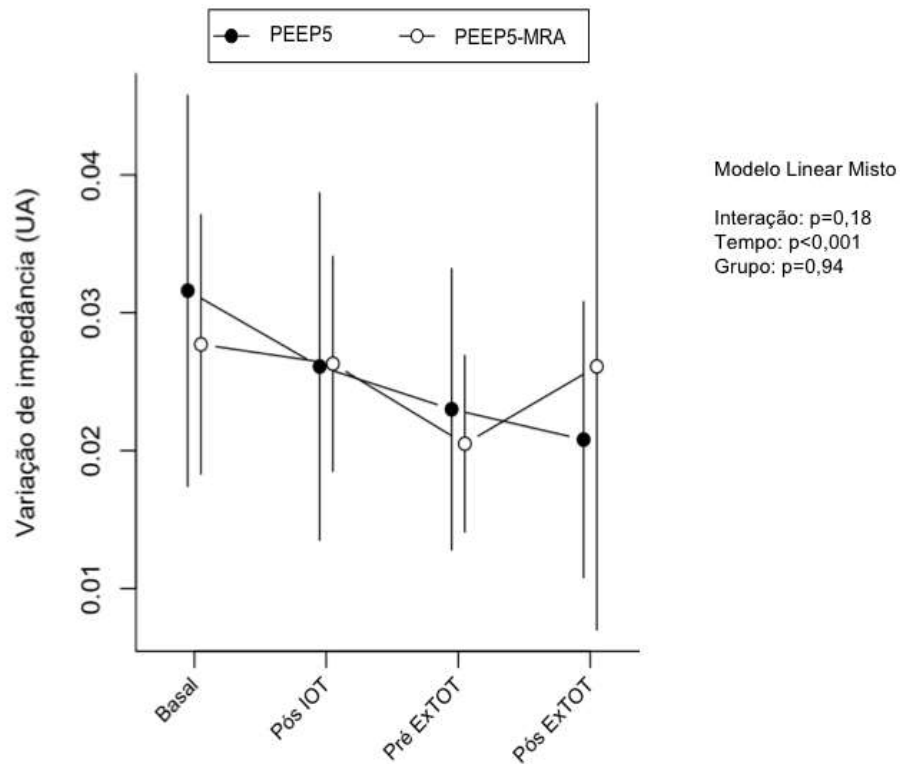


Figura 12. Comportamento da Variação de Impedância no intraoperatório. UA = unidade arbitrária.

Na distribuição da ventilação (Figura 13), constatou-se uma diminuição da ventilação na região dorsal em cada grupo sem evidenciar diferença entre os grupos ($p=0,32$).

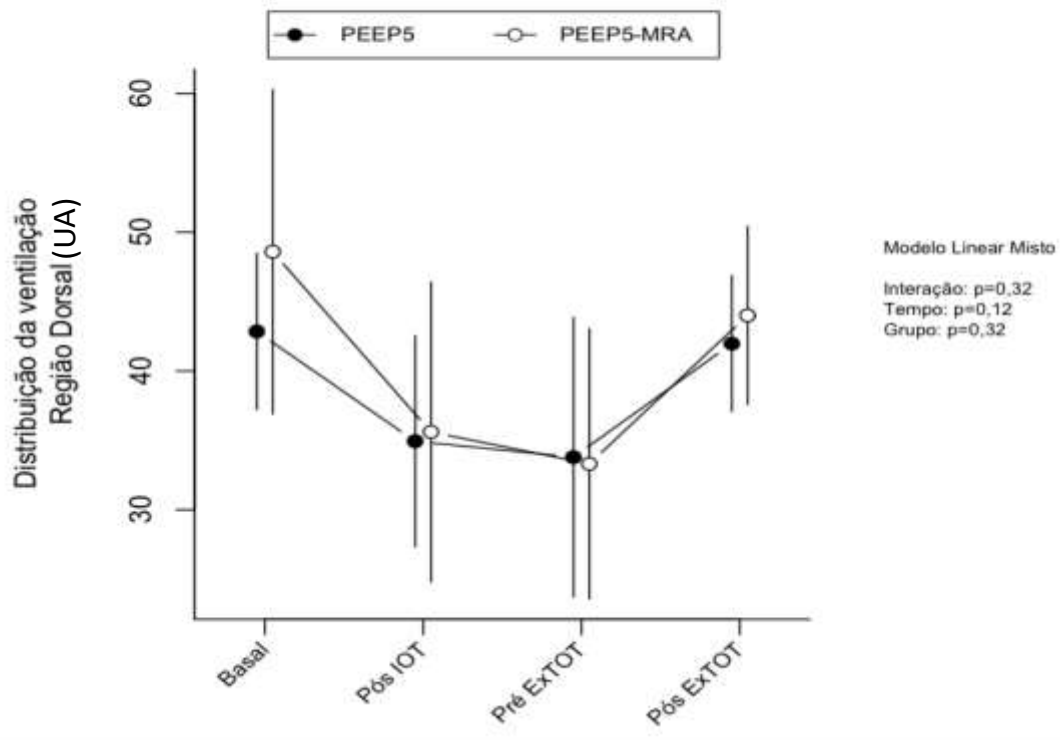


Figura 13. Comportamento da distribuição da ventilação pulmonar nos dois grupos: ventilação heterogênea com predomínio ventral. UA = unidade arbitrária.

5.2 Desfecho Secundário: Mecânica Ventilatória, Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória

5.2.1 Mecânica Ventilatória: Complacência Pulmonar

O comportamento da complacência pulmonar foi observado após a intubação e durante o todo o intraoperatório (Figura 14). Não foi observado diferença entre os grupos durante o intraoperatório ($p=0,33$).

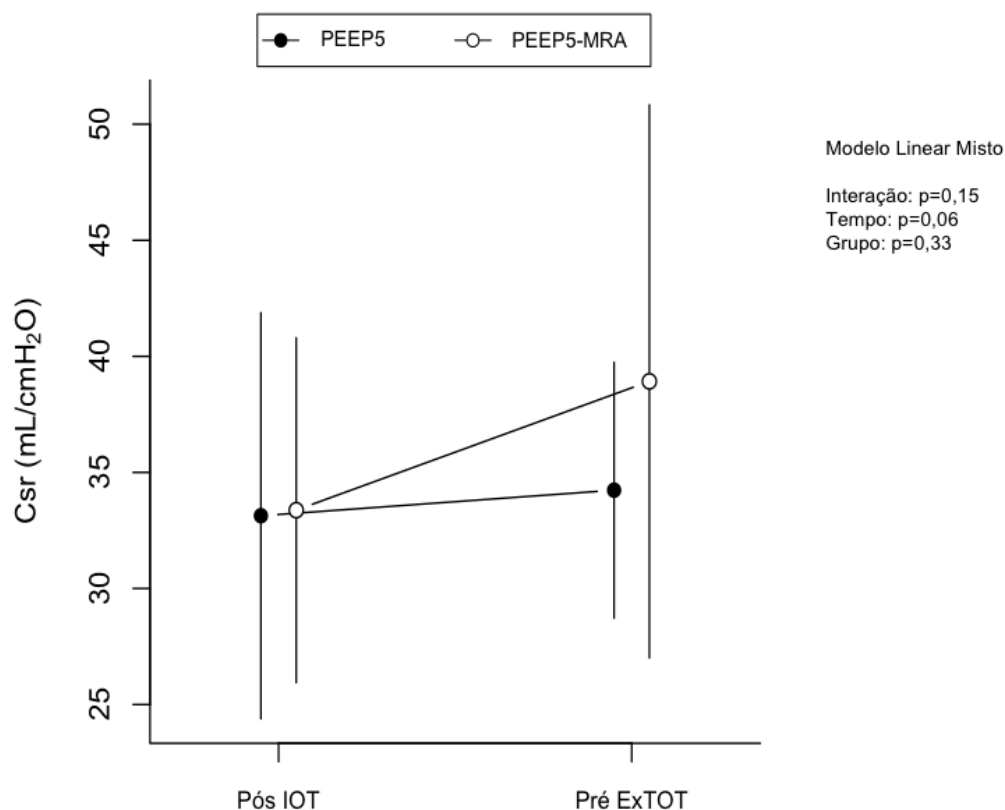


Figura 14. Comportamento da complacência pulmonar ao longo da cirurgia.

5.2.2 Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória

Não houve diferença na função pulmonar nos dois grupos do estudo. Verificou-se uma diminuição da função pulmonar em ambos os grupos quando comparamos a CVF e o VEF₁ antes e após a cirurgia (Tabela 2). Em relação à força muscular respiratória, inicialmente observamos que os pacientes apresentaram força muscular preservada antes da cirurgia, com piora dessa condição no primeiro dia do pós-operatório (Tabela 2).

Tabela 2. Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória

Dados	Valores Pré-operatório			Valores no primeiro dia Pós-operatório		
	Grupo PEEP5	Grupo PEEP5-MRA	p	Grupo PEEP5	Grupo PEEP5-MRA	p
VEF ₁ (%predito)	88,70 ± 10,20	88,73 ± 11,24	0,99	61,50 ± 16,53	65,80 ± 16,53	0,61
CVF (%predito)	87,36 ± 9,9	86,36 ± 12,74	0,84	61,58 ± 15,71	67,30 ± 21,31	0,50
VEF ₁ /CVF (%predito)	100,91 ± 5,16	103,55 ± 7,24	0,33	83,42 ± 8,11	83,40 ± 9,9	0,65
Pi _{Máx} (cmH ₂ O)	85,73 ± 15,98	90,64 ± 8,73	0,38	55,91 ± 26,05	65,90 ± 17,69	0,32
Pi _{Máx} (%predito)	92,57 ± 16,41	95,17 ± 8,00	0,70	60,45 ± 28,24	65,81 ± 16,61	0,65
Pe _{Máx} (cmH ₂ O)	91,73 ± 23,67	96,82 ± 17,61	0,58	62,82 ± 23,91	70,80 ± 27,20	0,50
Pe _{Máx} (%predito)	97,86 ± 27,77	102,14 ± 20,59	0,69	67,43 ± 27,05	67,29 ± 27,22	0,99

Nos dados quantitativos foi realizado o teste t para amostras independentes e o resultados expressos em média ± desvio padrão (DP). O valor de $p < 0,05$ foi considerado para significância estatística.

VEF₁ = volume expiratório forçado no primeiro segundo; CVF = capacidade vital forçada; VEF₁/CVF = relação do volume expiratório forçado no primeiro segundo pela Capacidade Vital Forçada; Pi_{Máx} = pressão inspiratória máxima; Pe_{Máx} = pressão expiratória máxima.

5.3 Dados exploratórios

Nos pacientes submetidos a MRA e PEEP decremental foi identificada uma PEEP média de 14 ± 5 cmH₂O para garantir o menor nível de colapso e hiperdistensão pulmonar pela TIE (PEEP-TIE). A Csr média foi 73 ± 12 na PEEP-TIE, e 38 ± 12 ml/cmH₂O na PEEP 5 cmH₂O. O colapso pulmonar foi cinco vezes maior na PEEP 5 cmH₂O ($19 \pm 14\%$) em comparação com a PEEP-TIE ($3,8 \pm 1,8\%$). Podemos visualizar o comportamento da Csr, hiperdistensão e colapso pulmonar em um caso representativo na Figura 15.

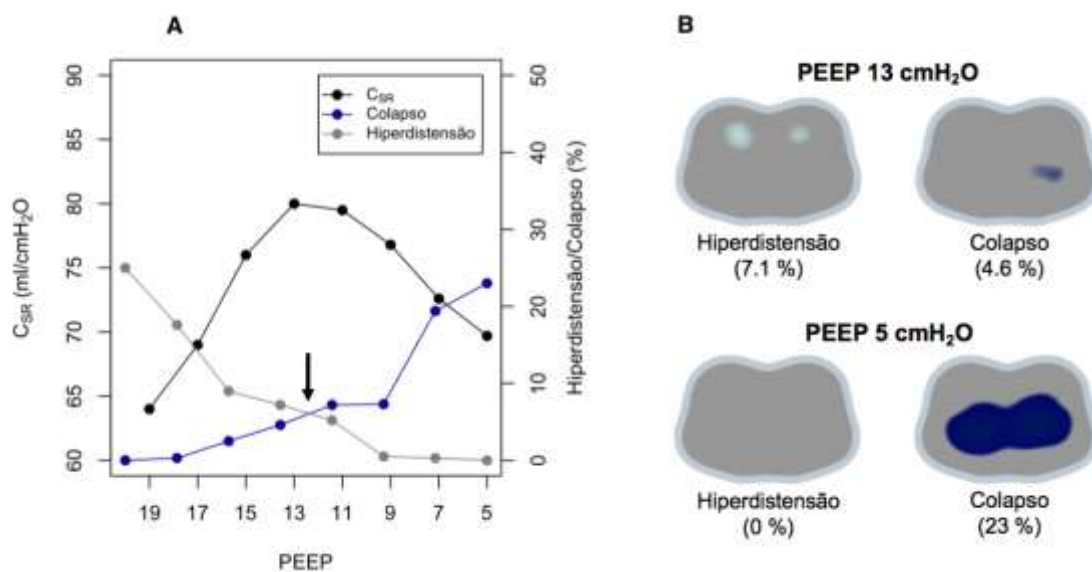


Figura 15. (A) Comportamento da complacência, colapso e hiperdistensão pulmonar em um caso representativo visto pela tomografia de impedância elétrica (TIE). A seta representa a PEEP de menor colapso, melhor complacência e menor hiperdistensão. (B) Mapa do colapso e hiperdistensão pulmonar em um caso representativo. Note que com a PEEP de 5 cmH₂O há um colapso pulmonar de 23%.

Os pacientes submetidos à MRA não apresentaram instabilidade hemodinâmica (Figura 16) e não se verificou diferença no tempo de permanência hospitalar entre os grupos (Tabela 1).

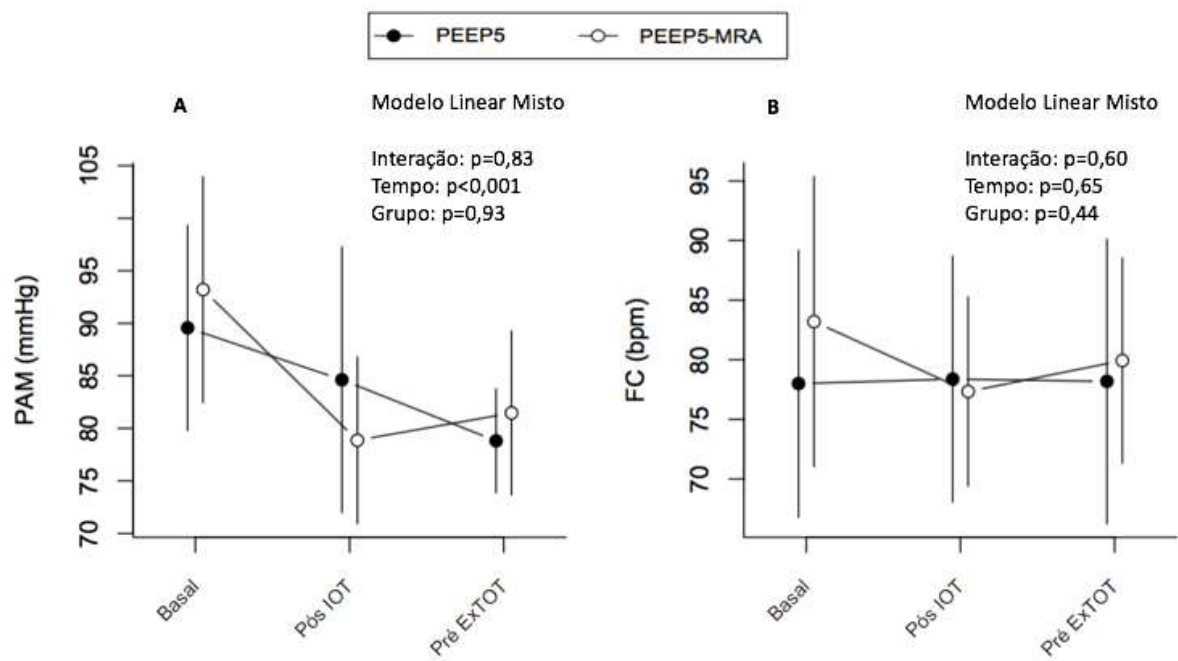


Figura 16. (A) Comportamento da Pressão Arterial Média (PAM). (B) Comportamento da Frequência Cardíaca (FC) no intraoperatório.

6 DISCUSSÃO

Classicamente, a MRA é seguida do ajuste da PEEP suficiente para manter o pulmão e vias aéreas abertas, como preconizado pela estratégia “*Open Lung Approach*”. Neste estudo, testamos a hipótese se a MRA isolada ao final da gastroplastia videolaparoscópica em pacientes obesos e com pulmões saudáveis seria suficiente para restaurar a função pulmonar.

Os principais resultados apontam que não houve diferença entre os grupos PEEP5 e PEEP5-MRA: (1) na distribuição da ventilação regional e na aeração pulmonar; (2) na complacência do sistema respiratório; (3) no VEF1 e CVF; (4) e na força muscular.

Distribuição da Ventilação Regional

A distribuição da ventilação pulmonar no intervalo de tempo compreendido desde antes da IOT até a extubação do paciente – demonstrada através da variação de impedância global (ΔZ) e por meio da distribuição da ventilação na região dorsal –, bem como a razão da distribuição da ventilação dorsal e ventral observada nos períodos pré-operatório e pós-operatório foram semelhantes entre os grupos.

Sabendo-se da relação linear entre ΔZ e variação do volume pulmonar, observamos uma diminuição da ventilação após a intubação e que se manteve reduzida ao longo da cirurgia para ambos os grupos. Portanto, os obesos submetidos a gastroplastia por videolaparoscopia apresentaram um pulmão funcional pequeno e com pouca variação de volume.

Adicionalmente, ao analisarmos a ventilação na região dorsal em nossa população de obesos no intraoperatório, constatamos uma redução significativa após a IOT, com o retorno dos valores próximos aos basais, apenas após a extubação. Dessa forma, evidenciamos o comportamento heterogêneo da ventilação com predomínio da ventilação na região ventral ao longo da cirurgia para ambos os grupos, sem diferenças entre eles.

Entretanto, a comparação dos nossos achados com outros estudos torna-se limitada, uma vez que até o momento não foram encontrados na literatura estudos que avaliassem a distribuição da ventilação através da TIE no intraoperatório de cirurgia bariátrica, como também estudos que avaliassem o impacto da MRA nas variáveis de ventilação determinadas pela TIE.

Karsten et al. (48), em 2011, avaliaram a distribuição da ventilação através da TIE em 32 pacientes no intraoperatório de pacientes submetidos a colecistectomia videolaparoscópica, comparando os dados de ventilação quanto ao uso de PEEP de 10 cmH₂O *versus* ZEEP. Estes autores sugerem que o aumento da pressão intrabdominal (PIA) ocasionado pelo pneumoperitônio, associado à paralisia diafragmática decorrente da anestesia geral, promovam atelectasias na região dorsal durante o período intraoperatório, levando a uma maior heterogeneidade pulmonar.

Assim, acreditamos que os fatores mencionados possam ser exacerbados agravando a heterogeneidade pulmonar no paciente obeso. Ademais, a MRA ao final do procedimento cirúrgico não se mostrou suficiente para homogeneizar a ventilação nas regiões ventral e dorsal na nossa população. Além disso, ambos os grupos do nosso estudo fizeram uso de PEEP de 5 cmH₂O, diferenciando a comparação dos nossos achados com o de Karsten et al.

Aeração Pulmonar e Complacência Pulmonar

Da mesma forma que a distribuição da ventilação, o comportamento da aeração pulmonar avaliado em nosso estudo através do EELZ_{dorsal} e EELZ_{ventral} desde o período antes da intubação até a extubação do paciente apresentou-se de maneira semelhante em ambos os grupos.

Eichler et al. (39) estudaram o comportamento da aeração pulmonar através da TIE associado à pressão esofagiana durante a cirurgia bariátrica. Para avaliação da aeração, os autores obtiveram a razão entre o *end expiratory lung impedance* (EELZ) dos primeiros 30 segundos de cada tempo da manobra de titulação da PEEP pelo EELZ final do mesmo tempo da PEEP. Estes

autores observaram a necessidade de maiores valores de PEEP na presença de pneumoperitônio para homogeneizar a aeração pulmonar e de menores valores quando a MRA era aplicada antes do pneumoperitônio.

Entretanto, ao contrário destes autores, acreditávamos que a MRA ao final do pneumoperitônio e antes da extubação poderia provocar menor heterogeneidade pulmonar nos pacientes obesos. Hipotetizamos que o efeito de PEEP mais elevada momentaneamente após a desinsuflação do pneumoperitônio associada à diminuição das atelectasias dorsais fosse mais efetivo na população em tela, entretanto nossos achados refutam a hipótese inicial.

A heterogeneidade pulmonar pode ainda ser comprovada em nossos pacientes do Grupo PEEP5-MRA durante a titulação decremental da PEEP. Nestes pacientes, pudemos observar um colapso pulmonar de aproximadamente 20% na PEEP de 5cmH₂O, também utilizada de maneira constante para o Grupo PEEP5. Essa heterogeneidade da ventilação durante o intraoperatório foi revertida após as 24h de cirurgia nos nossos pacientes, uma vez que a razão da distribuição da ventilação dorsal/ventral não diferiu entre eles.

A complacência pulmonar foi semelhante entre os grupos antes da extubação, muito embora era esperado um aumento na complacência no grupo que recebeu a MRA quando comparado ao grupo controle.

Pereira et al. (36) identificaram que a combinação entre MRA e uma PEEP individualizada no início do procedimento cirúrgico possibilitava uma redução no colapso pulmonar. Ferrando et al. (49) ao avaliarem pacientes submetidos a cirurgia abdominal concluíram que o uso de uma PEEP individualizada – após uma manobra de recrutamento, escolhida pela melhor complacência dinâmica (média de PEEP de 8 ± 2 cmH₂O) *versus* PEEP 5 cmH₂O – resultou em aumento significativo da complacência pulmonar. Esses estudos sinalizam a individualização da PEEP como uma boa estratégia para otimizar a mecânica ventilatória.

A variabilidade do comportamento ventilatório dos pacientes obesos devido às condições inerentes a cada paciente como, por exemplo, a dimensão da caixa torácica e a pressão pleural (50) faz com que esse comportamento tenha reflexo na quantidade de PEEP necessária para manter a mecânica pulmonar em cada paciente individualmente.

Diante do cenário apresentado, entendemos que possivelmente o retorno a uma PEEP de 5 cmH₂O após a MRA realizada em nosso estudo não tenha alcançado o aumento na complacência pulmonar observado nos estudos que individualizaram a PEEP após a titulação da MRA.

Nesse sentido, avaliamos que a combinação entre PEEP e MRA certamente merece ainda ser testada no intraoperatório em pacientes obesos submetidos a cirurgia videolaparoscópica para identificar a melhor estratégia para esses pacientes.

Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória

A função pulmonar e força muscular respiratória não diferiram entre os grupos nos períodos pré e pós-operatórios.

Em relação à função pulmonar, nosso estudo apresenta resultados semelhantes com o de Defresne et al. (51). Os autores avaliaram a função pulmonar de 50 pacientes obesos submetidos à gastroplastia videolaparoscópica e compararam os pacientes que receberam MRA antes e após o pneumoperitônio. Acreditamos que a MRA nessa população não seja capaz de modificar as propriedades viscoelásticas do parênquima pulmonar suficientemente de maneira a atenuar a redução da função respiratória comum nesse tipo de pós-operatório.

Porém, Severgnini et al. (52), em um ensaio clínico com 55 indivíduos submetidos a cirurgia abdominal alta, com maioria de pacientes eutróficos, relataram melhora na função pulmonar no período pós-operatório dos pacientes que fizeram uso de ventilação protetora (7ml/kg e PEEP=10cmH₂O) quando comparados aos indivíduos que utilizaram altos volumes correntes sem

PEEP. A diferença entre os achados no último estudo e o nosso pode ser explicada por tratar-se de populações e manejo intraoperatório distintos.

A diminuição da força muscular respiratória já é bem relatada na literatura, sobretudo após as cirurgias do abdome superior, seja pela dor no pós-operatório, como também pela manipulação cirúrgica no abdome superior.

Antes da cirurgia, nenhum dos pacientes deste estudo apresentou fraqueza da musculatura inspiratória que se caracteriza por pressões inspiratórias máximas menores de 70% do predito (53). Essa condição funcional é importante para a uniformização da amostra e com isso não influenciar nos demais desfechos deste estudo.

Dados exploratórios

Não houve diferenças nas pressões arteriais, na frequência cardíaca ou drogas vasoativas durante o período intraoperatório, como também não houve necessidade de agentes vasoativos durante a manobra de recrutamento.

Diversos autores reportaram a estabilidade hemodinâmica durante a MRA (49,54,55). Alguns fatores estão associados à estabilidade hemodinâmica nos pacientes obesos submetidos a MRA como, por exemplo, uso de ventilação em modo de pressão controlada (PCV) durante o recrutamento (54) e otimização com cristaloides antes das manobras (55). Como a MRA neste estudo foi realizada ao final da cirurgia, provavelmente a otimização intravascular com líquidos previamente contribuiu para a estabilidade hemodinâmica, assim como o fato da MRA ter sido realizada em PCV.

No paciente obeso, a pressão pleural está aumentada durante a expiração o que gera pressões transpulmonares negativas, favorecendo assim o colapso pulmonar durante a expiração (50,56). Nesse contexto, os pacientes obesos necessitam de uma PEEP maior para evitar esse colapso. Estudos anteriores identificaram esse valor de PEEP e evidenciaram uma maior exigência de PEEP em pacientes obesos (36,57).

No presente estudo identificamos, após a PEEP decremental, que no grupo que recebeu a MRA no final da cirurgia, o valor da PEEP-TIE média foi de 14 cmH₂O que proporcionou um colapso pulmonar cinco vezes menor comparativamente à PEEP de 5 cmH₂O, além de menor hiperdistensão e melhor complacência pulmonar na população de obesos.

Limitações do estudo

Os nossos pacientes foram classificados no status físico P2 da Sociedade Americana de Anestesiologistas e o uso de manobras de recrutamento e PEEP alta em pacientes mais instáveis não foi testado o que poderia aumentar os efeitos hemodinâmicos durante a MRA. Os dados da função pulmonar e força muscular podem ter sofrido influência da dor ou algum desconforto durante a avaliação pós-operatória.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como principais considerações finais podemos enumerar:

1. Outros estudos randomizados devem ser conduzidos para definir a melhor estratégia ventilatória durante o intraoperatório, esclarecendo o momento mais adequado para realização da MRA;
2. O valor da PEEP individualizada, nos pacientes com obesidade, aponta como uma opção na diminuição da heterogeneidade pulmonar e na redução das complicações pulmonares no pós-operatório;
3. O uso da tomografia de impedância elétrica no intraoperatório é uma ferramenta importante na avaliação da dinâmica ventilatória nos pacientes obesos no intraoperatório e possui um papel fundamental na definição da PEEP individualizada e seu uso deve ser estimulado.

8 CONCLUSÃO

A aplicação da MRA isolada em pacientes obesos durante a cirurgia de gastroplastia videolaparoscópica não otimiza a ventilação e aeração pulmonar, assim como não há ganho na complacência e na função pulmonar.

9 REFERÊNCIAS

1. WHO | Obesity and overweight. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/topics/obesity/en/>. Accessed July 07, 2020.
2. Afshin A, Forouzanfar MH, Reitsma MB, Sur P, Estep K, Lee A, et al. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *N Engl J Med*. 2017;377(1):13-27.
3. Hales CM, Carroll MD, Fryar CD, Ogden CL: Prevalence of Obesity Among Adults and Youth: United States, 2015-2016. Key findings data from the National Health and Nutrition Examination Survey. Available at: <https://www.cdc.gov/nchs/data/data-briefs/db28>. Accessed July 08, 2020.
4. Ministério da Saúde. Vigitel Brasil 2018. 2019;131. Available at: <https://actbr.org.br/uploads/arquivos/Vigitel-Brasil-2018-completo.pdf>. Accessed July 07, 2020.
5. Rabacow FM, Azeredo CM, Rezende LFM. Deaths attributable to high body mass in Brazil. *Prev Chronic Dis*. 2019;16(10):1-4.
6. Grassi L, Kacmarek R, Berra L. Ventilatory mechanics in the patient with obesity. *Anesthesiology*. 2020;5:1246-56.
7. Dixon AE, Peters U. The effect of obesity on lung function. *Expert Rev Respir Med [Internet]*. 2018;12(9):755–67.
8. Rabec C, de Lucas Ramos P, Veale D. Respiratory Complications of Obesity. *Arch Bronconeumol [Internet]*. 2011;47(5):252–61.
9. Jones RL, Nzekwu MMU. The effects of body mass index on lung volumes. *Chest [Internet]*. 2006;130(3):827–33.
10. Steier J, Lunt A, Hart N, Polkey MI, Moxham J. Observational study of the effect of obesity on lung volumes. *Thorax*. 2014;69(8):752–9.
11. Collins LC, Hoberty PD, Walker JF, Fletcher EC, Peiris AN. The effect of body fat distribution on pulmonary function tests. *Chest*. 1995;107(5):1298–302.
12. Kessler R, Chaouat A, Schinkewitch P, Faller M, Casel S, Krieger J, et al. The obesity-hypoventilation syndrome revisited: A prospective study of 34 consecutive cases. *Chest*. 2001;120(2):369–76.
13. Welbourn R, Hollyman M, Kinsman R, Dixon J, Liem R, Ottosson J, et al. Bariatric Surgery Worldwide: Baseline Demographic Description and One-Year Outcomes from the Fourth IFSO Global Registry Report 2018. *Obes Surg*. 2019;29(3):782–95.
14. Colquitt JL, Pickett K, Loveman E, Frampton GK. *Lang et al, 1990.pdf*. *Cochrane Collab*. 2014;(8):244.

15. Ezri T, Muzikant G, Medalion B, Szmuk P, Charuzi I, Susmallian S. Anesthesia for restrictive bariatric surgery (gastric bypass not included): Laparoscopic vs open procedures. *Int J Obes*. 2004;28(9):1157–62.
16. Joyce JA. Bariatric surgery. *Curr Rev Nurse Anesth*. 2009;32(12):143–51.
17. Angrisani L, Santonicola A, Iovino P, Formisano G, Buchwald H, Scopinaro N. Bariatric Surgery Worldwide 2013. *Obes Surg*. 2015;25(10):1822–32.
18. Chung AY, Thompson R, Overby DW, Duke MC, Farrell TM. Sleeve Gastrectomy: Surgical Tips. *J Laparoendosc Adv Surg Tech*. 2018;28(8):930–7.
19. Arozullah AM, Conde M V., Lawrence VA. Preoperative evaluation for postoperative pulmonary complications. *Med Clin North Am*. 2003;87(1):153–73.
20. Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: A pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology*. 2005;102(4):838–54.
21. Ebeo CT, Benotti PN, Byrd RP, Elmaghraby Z, Lui J. The effect of bi-level positive airway pressure on postoperative pulmonary function following gastric surgery for obesity. *Respir Med*. 2002;96(9):672–6.
22. Ball L, Hemmes SNT, Serpa Neto A, Bluth T, Canet J, Hiesmayr M, et al. Intraoperative ventilation settings and their associations with postoperative pulmonary complications in obese patients. *Br J Anaesth*. 2018;121(4):899–908.
23. Schultz MJ, Hemmes SNT, Neto AS, Binnekade JM, Canet J, Hedenstierna G, et al. Epidemiology, practice of ventilation and outcome for patients at increased risk of postoperative pulmonary complications: LAS VEGAS - An observational study in 29 countries. *Eur J Anaesthesiol*. 2017;34(8):492–507.
24. Neto AS, Hemmes SNT, Barbas CSV, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al. Incidence of mortality and morbidity related to postoperative lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med* [Internet]. 2014;2(12):1007–15.
25. Grieco DL, Anzellotti GM, Russo A, Bongiovanni F, Costantini B, D'Indinosante M, et al. Airway Closure during Surgical Pneumoperitoneum in Obese Patients. *Anesthesiology*. 2019;131(1):58–73.
26. Fernandez-Bustamante A, Frendl G, Sprung J, Kor DJ, Subramaniam B, Ruiz RM, et al. Postoperative pulmonary complications, early mortality, and hospital stay following noncardiothoracic surgery: A multicenter study by the perioperative research network investigators. *JAMA Surg*. 2017;152(2):157–66.
27. Schultz MJ. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): A multicentre randomised controlled trial. *Lancet* [Internet]. 2014;384(9942):495–503.
28. Ladha K, Melo MFV, McLean DJ, Wanderer JP, Grabitz SD, Kurth T, et al. Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: Hospital based registry study. *BMJ*. 2015;351.

29. Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, Pascal J, Eurin M, Neuschwander A, et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med*. 2013;369(5):428–37.
30. Ferrando C, Soro M, Unzueta C, Suarez-Sipmann F, Canet J, Librero J, et al. Individualised perioperative open-lung approach versus standard protective ventilation in abdominal surgery (iPROVE): a randomised controlled trial. *Lancet Respir Med*. 2018;6(3):193–203.
31. Suzumura EA, Amato MBP, Cavalcanti AB. Understanding recruitment maneuvers. *Intensive Care Med*. 2016;42(5):908–11.
32. Silva PL, Moraes L, Santos RS, Samary C, Ornellas DS, Maron-Gutierrez T, et al. Impact of pressure profile and duration of recruitment maneuvers on morphofunctional and biochemical variables in experimental lung injury. *Crit Care Med*. 2011;39(5):1074–81.
33. Santos RS, Moraes L, Samary CS, Santos CL, Ramos MBA, Vasconcellos AP, et al. Fast versus slow recruitment maneuver at different degrees of acute lung inflammation induced by experimental sepsis. *Anesth Analg*. 2016;122(4):1089–100.
34. Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S, Sundbom M, Duvernoy O, Pelosi P, et al. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: A computerized tomography study. *Anesthesiology*. 2009;111(5):979–87.
35. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Kwiatkoski F, Jaber S, et al. Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology*. 2010;113(6):1310–9.
36. Pereira SM, Tucci MR, Morais CCA, Simões CM, Tonelotto BFF, Pompeo MS, et al. Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*. 2018;129(6):1070–81.
37. Bluth T, Serpa Neto A, Schultz MJ, Pelosi P, Gama De Abreu M. Effect of Intraoperative High Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) with Recruitment Maneuvers vs Low PEEP on Postoperative Pulmonary Complications in Obese Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA - J Am Med Assoc*. 2019;321(23):2292–305.
38. He X, Jiang J, Liu Y, Xu H, Zhou S, Yang S, et al. Electrical Impedance Tomography-guided PEEP Titration in Patients Undergoing Laparoscopic Abdominal Surgery. *Med (United States)*. 2016;95(14):1–6.
39. Eichler L, Truskowska K, Dupree A, Busch P, Goetz AE, Zöllner C. Intraoperative Ventilation of Morbidly Obese Patients Guided by Transpulmonary Pressure. *Obes Surg*. 2018;28(1):122–9.
40. Erlandsson K, Odenstedt H, Lundin S, Stenqvist O. Positive end-expiratory pressure optimization using electric impedance tomography in morbidly obese

- patients during laparoscopic gastric bypass surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2006;50(7):833–9.
41. Costa ELV, Lima PG, Amato MBR. Electrical impedance tomography. *Curr Opin Crit Care*. 2009;15(1):18–24.
 42. Graham BL, Steenbruggen I, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, Hallstrand TS, et al. Standardization of spirometry 2019 update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):E70–88.
 43. Pereira CA de C, Sato T, Rodrigues SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J Bras Pneumol [Internet]*. 1992;33(4):397–406.
 44. Gibson GJ, Whitelaw W, Siafakas N, Supinski GS, Fitting JW, Bellemare F, et al. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518–624.
 45. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019;53(6).
 46. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Brazilian J Med Biol Res*. 1999;32(6):719–27.
 47. Costa ELV, Borges JB, Melo A, Suarez-Sipmann F, Toufen C, Bohm SH, et al. Bedside estimation of recruitable alveolar collapse and hyperdistension by electrical impedance tomography. *Intensive Care Med*. 2009;35(6):1132–7.
 48. Karsten J, Luepschen H, Grossherr M, Bruch HP, Leonhardt S, Gehring H, et al. Effect of PEEP on regional ventilation during laparoscopic surgery monitored by electrical impedance tomography. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2011;55(7):878–86.
 49. Ferrando C, Suarez-Sipmann F, Tusman G, León I, Romero E, Gracia E, et al. Open lung approach versus standard protective strategies: Effects on driving pressure and ventilatory efficiency during anesthesia - A pilot, randomized controlled trial. *PLoS One*. 2017;12(5):1–12.
 50. Fumagalli J, Berra L, Zhang C, Pirrone M, Santiago RRDS, Gomes S, et al. Transpulmonary pressure describes lung morphology during decremental positive end-expiratory pressure trials in obesity. *Crit Care Med*. 2017;45(8):1374–81.
 51. Defresne AA, Hans GA, Goffin PJ, Bindelle SP, Amabili PJ, DeRoover AM, et al. Recruitment of lung volume during surgery neither affects the postoperative spirometry nor the risk of hypoxaemia after laparoscopic gastric bypass in morbidly obese patients: A randomized controlled study. *Br J Anaesth*. 2014;113(3):501–7.
 52. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, Chiesa A, Frigerio A, Bacuzzi A, et al. Protective Mechanical Ventilation during General Anesthesia for Open

- Abdominal Surgery Improves Postoperative Pulmonary Function. *Anesthesiology* [Internet]. 2013 Jun 4;118(6):1307–21.
53. Dall'Ago P, Chiappa GRS, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: A randomized trial. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(4):757–63.
54. Lim SC, Adams AB, Simonson DA, Dries DJ, Broccard AF, Hotchkiss JR, et al. Transient hemodynamic effects of recruitment maneuvers in three experimental models of acute lung injury. *Crit Care Med*. 2004;32(12):2378–84.
55. Bohm SH, Thamm OC, Von Sandersleben A, Bangert K, Langwieler TE, Tusman G, et al. Alveolar recruitment strategy and high positive end-expiratory pressure levels do not affect hemodynamics in morbidly obese intravascular volume-loaded patients. *Anesth Analg*. 2009;109(1):160–3.
56. Loring SH, Behazin N, Novero A, Novack V, Jones SB, O'Donnell CR, et al. Respiratory mechanical effects of surgical pneumoperitoneum in humans. *J Appl Physiol*. 2014;117(9):1074–9.
57. Pirrone M, Fisher D, Chipman D, Imber DAE, Corona J, Mietto C, et al. Recruitment Maneuvers and Positive End-Expiratory Pressure Titration in Morbidly Obese ICU Patients. *Crit Care Med*. 2016;44(2):300–7.

Apêndice 1.**Sample Size For Comparing Two Means**

Input Data			
Confidence Interval (2-sided)	90%		
Power	80%		
Ratio of sample size (Group 2/Group 1)	1		
	Group 1	Group 2	Difference*
Mean			10
Standard deviation	10	10	
Variance	100	100	
Sample size of Group 1	13		
Sample size of Group 2	13		
Total sample size	26		

*Difference between the means

Results from OpenEpi, Version 3, open source calculator--SSMean
 Print from the browser with ctrl-P
 or select text to copy and paste to other programs.

Figura A1. Tamanho amostral estimado pelo programa OpenEpi (Versão 3.01, Emory University, Rollins School of Public Health, 2013).

Apêndice 2. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Esclarecimentos

Este é um convite para você participar da pesquisa **“IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR SOBRE A FUNÇÃO PULMONAR E MECÂNICA RESPIRATÓRIA DE PACIENTES SUBMETIDOS A CIRURGIA BARIÁTRICA AVALIADOS PELA TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA”** que é coordenada pelo pesquisador **Antonio Christian Evangelista Gonçalves**.

Sua participação é voluntária, o que significa que você poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento, sem que isso lhe traga nenhum prejuízo ou penalidade.

Essa pesquisa procura **avaliar o impacto da manobra de recrutamento alveolar realizada no intraoperatório e suas repercussões na função pulmonar e mecânica respiratória em pacientes submetidos à cirurgia bariátrica videolaparoscópica**. Caso decida aceitar o convite, você poderá ser selecionado de acordo com um sorteio computadorizado para ser submetido(a) ao(s) seguinte(s) procedimentos: **Avaliação pela Tomografia de Impedância Elétrica, Avaliação da Função Pulmonar e Força Muscular Respiratória e a Manobra de Recrutamento Alveolar**.

Os riscos envolvidos com sua participação são mínimos e o senhor(a) estará sempre acompanhado(a) de um médico anestesiológista familiarizado com as técnicas a serem utilizadas o que poderá reduzir eventuais desconfortos. A chamada tomografia de impedância elétrica trata-se de um exame indolor, onde será colocada uma cinta na região do seu peitoral de forma confortável. O risco deste exame é mínimo uma vez trata-se de método não-invasivo e livre de radiação. Os exames da função pulmonar e para avaliação da força respiratória será realizado antes e depois da cirurgia. Para realização destes exames que também serão feitos de forma não-invasiva, será colocado um bocal na sua boca e solicitado ao senhor(a) que respire profundamente neste bocal que está acoplado a um aparelho para registrar como o ar está entrando e saindo dos seus pulmões. Ao realizar estes exames o senhor poderá ficar com um pouco de cansaço, mas como haverá um intervalado entre as manobras, este risco será minimizado. A chamada Manobra de Recrutamento Alveolar já é um procedimento comum durante este tipo de cirurgia que o senhor irá realizar. Como para realizar esta cirurgia é necessário que o senhor já esteja utilizando um ventilador mecânico, esta manobra será realizada pelo médico anestesiológista onde o mesmo durante alguns instantes do processo

cirúrgico irá aumentar a pressão nos seus pulmões com o objetivo de levar mais oxigênio e ar para eles. Os riscos desta manobra serão mínimos, mas poderá acontecer uma baixa na sua pressão arterial ou uma hiperdistensão (aumento) nos seus pulmões, entretanto, estes riscos serão minimizados, uma vez que as pressões utilizadas para esta manobra estarão dentro de uma faixa de segurança já utilizada rotineiramente neste tipo de procedimento. Além disso, o senhor estará sendo acompanhado por um médico experiente e especializado nesta área.

Você terá os seguintes benefícios ao participar da pesquisa: saber se existe algum grau de comprometimento da sua respiração e essas informações permitirá que seja elaborado um protocolo de tratamento para diminuir tais alterações, melhorando sua respiração e acelerando a recuperação no pós operatório, prevenindo as complicações pulmonares; além da sua contribuição para aumento dos conhecimentos sobre qual a melhor técnica ventilatória com finalidade de melhorar a qualidade de sobrevivência das pessoas que realizem a mesma cirurgia.

Todas as informações obtidas serão sigilosas e seu nome não será identificado em nenhum momento. Os dados coletados estarão sob responsabilidade do pesquisador e serão arquivados em papel e meio digital (computador pessoal) após 5 anos de realização da pesquisa. A divulgação dos resultados será feita de forma a não identificar os voluntários.

Sua participação na pesquisa não trará qualquer tipo de ônus ou despesas.

Você ficará com uma cópia deste Termo e toda a dúvida que você tiver a respeito desta pesquisa, poderá perguntar diretamente para **Antonio Christian E. Gonçalves, Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal do Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – Recife-PE ou pelo telefone (81) 2126-8496 e (81) 99259-3476 (inclusive ligações à cobrar).**

Dúvidas a respeito da ética dessa pesquisa poderão ser questionadas ao Comitê de Ética em Pesquisa (Av. da Engenharia s/n – 1º Andar, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600 ou pelo telefone (81) 2126-8588.

Consentimento Livre e Esclarecido

Eu,.....(sujeito) abaixo assinado, tendo recebido todos os esclarecimentos acima citados, e ciente dos meus direitos, declaro que compreendi os objetivos desta pesquisa, como ela será realizada, os riscos e benefícios envolvidos e concordo em participar voluntariamente da pesquisa **“IMPACTO DA MANOBRA DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR SOBRE A FUNÇÃO PULMONAR E MECÂNICA RESPIRATÓRIA DE PACIENTES SUBMETIDOS A CIRURGIA BARIÁTRICA AVALIADOS PELA TOMOGRAFIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA”**, bem como autorizo toda documentação necessária, a divulgação e a publicação em periódicos, revistas bem como apresentação em congressos, workshop e quaisquer eventos de caráter científico.

Participante da pesquisa:

Nome

Assinatura

Pesquisador responsávelAntonio Christian E. Gonçalves

Nome

Assinatura

E-mail: antoniochristian@hotmail.com

Endereço profissional: **Av. Prof. Moraes Rêgo, 1235 – Cidade Universitária – Recife-PE.**Fone: **(81) 2126-8496 (81) 99259-3476 – inclusive ligações a cobrar****Comitê de Ética em Pesquisa**

Endereço: Av. da Engenharia s/n – 1º Andar, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600

Fone: (81) 2126-8588.

Testemunha 1:

Nome

Assinatura

Testemunha 2:

Nome

Assinatura

Recife, __/__/__