BRUNO FRANCISCO DE FREITAS TONELOTTO

**Determinação da PEEP ideal e avaliação de atelectasia pulmonar com o uso
da ultrassonografia durante intraoperatório de cirurgias eletivas**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Doutor em Ciências

Programa de Anestesiologia

Orientador: Prof. Dr. José Otavio Costa Auler Júnior

São Paulo

2018

BRUNO FRANCISCO DE FREITAS TONELOTTO

Determinação da PEEP ideal e avaliação de atelectasia pulmonar com o uso da ultrassonografia durante intraoperatório de cirurgias eletivas

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Programa de Anestesiologia

Orientador: Prof. Dr. José Otavio Costa Auler Júnior

São Paulo

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da

Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Tonelotto, Bruno Francisco de Freitas
Determinação da PEEP ideal e avaliação de
atelectasia pulmonar com o uso da ultrassonografia
durante intraoperatório de cirurgias eletivas /
Bruno Francisco de Freitas Tonelotto. -- São Paulo,
2018.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo.
Programa de Anestesiologia.
Orientador: José Otavio Costa Auler Júnior.

Descritores: 1.Respiração com pressão positiva
2.Atelectasia pulmonar 3.Pulmão/diagnóstico por
imagem 4.Ventilação pulmonar 5.Assistência
perioperatória 6.Manobra de recrutamento
7.Hiperinflação pulmonar 8.Linhas H

USP/FM/DBD-462/18

Responsável: Erinalva da Conceição Batista, CRB-8 6755

Nome: Bruno Francisco de Freitas Tonelotto

Título: Determinação da PEEP ideal e avaliação de atelectasia pulmonar com o uso da ultrassonografia durante intraoperatório de cirurgias eletivas

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências. Programa de Anestesiologia.

Aprovado em: ____/____/____.

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. José Otavio da Costa Auler Júnior

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____ -

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho,

a minha Mãe, por sua história de sucesso na educação de seus filhos, diante de todas as adversidades e motivo de entusiasmo e paixão pela vida;

a minha adorada irmã, que sempre esteve ao meu lado, amando-me e cuidando;

ao Luiz Alvares, pois, além de me ajudar na estatística, cuida todos os dias da pessoa mais importante da minha vida;

aos meus Pai, Avós, Tios e primos, pois família é fundamental;

aos pacientes que participaram do estudo e foram fundamentais;

a todos os amigos do SMA que vivenciaram dia a dia a construção deste sonho e apoiaram-me sempre;

a todos aqueles que acreditam que a ousadia e o erro são caminhos para grandes realizações;

a todas as pessoas que marcaram minha vida para sempre, por apresentarem projetos de sonhos, desafiando-me a construí-los.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força para seguir em frente, mesmo nos momentos de maior dificuldade, permitindo a realização deste sonho.

A cada um dos pacientes que aceitaram participar do estudo e contribuíram de maneira única. Sem sua confiança e auxílio, este estudo não seria possível.

Aos Professores Mauro Tucci e Marcelo Amato, pela colaboração sem igual.

Ao Professor Dr. José Otávio Costa Auler Júnior, pelo apoio, pelo incentivo, pela confiança e pelos ensinamentos em toda minha vida profissional, sendo um grande exemplo.

À Professora Dra. Maria José Carvalho Carmona, pelo apoio, pela confiança, pelo incentivo, pelas oportunidades e pela orientação no início do meu projeto, tendo sido fundamental em minha formação.

À Dra. Claudia Marquez Simões, pelos puxões de orelha pela ajuda e pela amizade construída ao longo do período deste trabalho e de convivência.

Ao Professor Ubirajara Peçanha Alves, a quem muito admiro, por ter me incentivado desde a graduação e por ter me ensinado a nunca desistir.

Ao Professor Jean-Jacques Rouby, por ter me recebido tão bem. E por suas discussões que foram fundamentais.

Aos Serviços Médicos de Anestesia Ltda. e a todos os meus sócios que têm me acolhido ao longo de toda minha carreira anestésica, pelo incentivo e companheirismo.

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação: referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A.L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3ª Ed. São Paulo: Serviços de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

RESUMO

Tonelotto BFF. *Determinação da PEEP ideal e avaliação de atelectasia pulmonar com o uso da ultrassonografia durante intraoperatório de cirurgias eletivas* [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2018.

Introdução: A atelectasia intraoperatória ocorre imediatamente após a indução anestésica e pode ser detectada por ultrassom pulmonar (LUS). No entanto, até o momento o LUS não é utilizado para avaliar a hiperdistensão pulmonar. Neste estudo, descreveu-se um método para detectar hiperdistensão pulmonar usando LUS. A tomografia de impedância elétrica (TIE) foi a referência para comparação dos métodos.

Métodos: Dezoito (18) pacientes, com 63 ± 6 anos de idade, com pulmões normais, submetidos à cirurgia abdominal inferior. O TIE foi calibrado, realizada a indução anestésica, intubação e ventilação mecânica. Para reverter a atelectasia posterior, realizou-se uma manobra de recrutamento alveolar com o uso de pressão expiratória final positiva (PEEP) 20 cmH₂O e pressão aérea do platô 40 cmH₂O durante 120 segundos. A titulação PEEP foi então obtida com valores descendentes: 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6 e 4 cmH₂O. Os dados de ultrassom e TIE foram coletados em cada nível PEEP e interpretados por dois observadores independentes. O número de linhas H foi contado usando um filtro especial. O teste de correlação de Spearman e a curva ROC foram utilizados para comparar os dados do LUS e TIE. **Resultados:** O número de linhas H aumentou linearmente com PEEP: de 3 em PEEP 4 cmH₂O a 10 em PEEP 20 cmH₂O. Cinco linhas H foram o limiar para a detecção de hiperdistensão pulmonar, definida como hiperdistensão na TIE $\geq 24,5\%$. A área sob a curva ROC foi 0,947 (IC 95% 0.901-0.976). **Conclusão:** O LUS intraoperatório detectou hiperdistensão pulmonar em valores descendentes de PEEP. A presença de cinco ou mais linhas H podem ser consideradas como indicando hiperdistensão pulmonar.

Descritores: respiração com pressão positiva; atelectasia pulmonar; pulmão/diagnóstico por imagem; ventilação pulmonar; assistência perioperatória; manobra de recrutamento; hiperinflação pulmonar; linhas H.

ABSTRACT

Tonelotto BFF. *Ideal PEEP and evaluation of pulmonary atelectasia with the use of ultrasonography during intraoperative of elective surgeries* [thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2018.

Purpose: Intraoperative atelectasis occurs immediately after anaesthetic induction and can be detected by lung ultrasound (LUS). However, LUS is considered as unable to assess pulmonary hyperinflation. In this study, we propose a method to detect pulmonary hyperinflation using LUS. Electrical impedance tomography (EIT) was the reference method.

Methods: We included 18 patients, 63 ± 6 -year old, with normal lungs, undergoing lower abdominal surgery. The following protocol was used: EIT was calibrated, followed by anaesthetic induction, intubation and mechanical ventilation. To reverse posterior atelectasis, a recruitment maneuver - positive end-expiratory pressure (PEEP) 20 cmH₂O and plateau airway pressure 40 cmH₂O during 120 sec was performed. PEEP titration was then obtained during a descending trial: 20, 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6 and 4 cmH₂O. Ultrasound and EIT data were collected at each PEEP level and analyzed by two independent observers. The number of H lines was counted using a special filter. Spearman correlation test and ROC curve were used to compare LUS and EIT data. **Results:** The number of H lines increased linearly with PEEP: from 3 at PEEP 4 cmH₂O to 10 at PEEP 20 cmH₂O. Five H lines was the threshold for detecting pulmonary hyperinflation, defined as a mean decrease in maximum EIT compliance $\geq 24,5$ %. The area under the ROC curve was 0.947 (CI 95% 0.901-0.976).

Conclusion: Intraoperative transthoracic LUS can detect pulmonary hyperinflation during a PEEP descending trial. Five or more H lines can be considered as indicating pulmonary hyperinflation in normally aerated lung regions.

Descriptors: positive-pressure respiration; pulmonary atelectasis; lung/imaging diagnosis; pulmonary ventilation; perioperative care; recruitment maneuver; pulmonary hyperinflation; H lines.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Kappa individual e ponderado dos três avaliadores.....	43
Gráfico 2 - Cálculo do ponto de corte na TIE para o colapso.....	44
Gráfico 3 - Colapso Pulmonar em % pela TIE em cada nível de PEEP	44
Gráfico 4 - Correlação do escore pulmonar, os níveis da PEEP e o ponto de corte da TIE para o colapso.....	45
Gráfico 5 - Curva ROC correspondente ao ponto de corte de 7,4% pela TIE. Área abaixo da curva = 0.946 (IC95% 0.903-0.990), $p < 0.001$ e índice Youden = 0.82	45
Gráfico 6 - Classificação ultrassonográfica em cada valor de PEEP para os 18 pacientes e sua correlação com o colapso estimado pela TIE.....	46
Gráfico 7 - Escore ultrassonográfico avaliado na PEEP titulada pela TIE.....	47
Gráfico 8 – Hiperdistensão pela TIE em diferentes Pressões Positivas de Expressão Final (PEEP), expressa em% de diminuição no máximo de conformidade (soma ponderada para o pulmão).....	49
Gráfico 9 - A Figura 2B mostra o crescente número de linhas B com PEEP.....	50
Gráfico 10 – Demonstração do calculo para o ponto de corte da hiperdistensão. O valor médio para todos os pacientes foi calculado como 24,5%.	50
Gráfico 11 - Número de linhas H em cada nível de PEEP correspondente ao ponto de corte. Mais de 5 linhas foi um bom marcador para hiperdistensão pulmonar.	51
Gráfico 12 - Curva ROC correspondente ao ponto de corte de 24,5% para hiperdistensão pela TIE. Área abaixo da curva = 0.947, (IC95% 0.901-0.976), $p < 0.001$ e índice Youden = 0.80.....	51
Gráfico 13 - Densidade de pixels em comparação com a contagem número de linhas A em diferentes faixas da escala de cinza	53

Gráfico 14 - Relação entre a distância da linha pleural e a pele em diferentes níveis da PEEP	53
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Método de cálculo da hiperdistensão e colapso pela TIE.....	26
Figura 2 - TIE em dois momentos distintos, comparados a tomografia computadorizada	26
Figura 4 - Metodologia utilizada na manobra de recrutamento pulmonar	34
Figura 5 - Identificação do diafragma com LUS	35
Figura 6 - Delimitação do diafragma e da linha axilar média com LUS.....	35
Figura 7 – Demarcou-se o local correto com um “x” e adquiriu-se as imagens.....	35
Figura 8 - Hiperdistensão pulmonar, evidenciam-se as linhas H.....	36
Figura 9 - Pulmão normal	37
Figura 10 - Linha B isolada	37
Figura 11 - Linhas B coalescentes.....	38
Figura 12 - Região central com consolidação pulmonar	38
Figura 13 - Histograma de escala de cinzas. Espectro de 51-100 e 201-250	47
Figura 14 - Reprodutibilidade entre observadores e interobservadores e seus respectivos valores de kappa	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Regressão logística para os avaliadores cego e não cego	49
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PEEPs escolhidas segundo o método.....	46
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO.....	19
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	19
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
4	CASUÍSTICA E MÉTODOS	29
4.1	PROJETO DE PESQUISA	30
4.1.1	Critérios de seleção dos pacientes	30
4.1.2	Critérios de exclusão de pacientes	30
4.1.3	Termo de consentimento livre e esclarecido	31
4.2	MÉTODOS.....	31
4.2.1	Amostra	31
4.2.2	Fase de coleta de dados.....	31
4.2.3	Procedimentos	32
4.2.3.1	Anestesia	32
4.2.3.2	Manobra de recrutamento e titulação PEEP	33
4.2.3.3	Exame de ultrassonografia pulmonar.....	34
	4.2.3.3.1 Contagem do número de linhas horizontais H aparecendo no parênquima pulmonar.....	35

4.2.3.3.2 Classificação do parênquima pulmonar segundo o artefato observado	36
4.2.3.3.3 Avaliação quantitativa do parênquima pulmonar	38
4.2.3.4 Tomografia por impedância elétrica	39
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
5 RESULTADOS	41
5.1 CASUÍSTICA	42
5.2 POPULAÇÃO DO ESTUDO	42
5.3 DESFECHOS	42
5.3.1 Desfecho Primário.....	42
5.3.2 Desfecho Secundário	48
6 DISCUSSÃO.....	54
7 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	62
ANEXO 1 – FICHA DE ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA	70
ANEXO 2 – FICHA DE ANÁLISE DAS LINHAS H AVALIADOR CEGO	71
ANEXO 3 – FICHA DE ANÁLISE DAS LINHAS H AVALIADOR NÃO CEGO	72

1 INTRODUÇÃO

Complicações pulmonares são as principais causas de morbidade e mortalidade pós-operatória(1). Uma das mais frequentes, a atelectasia, surge na indução anestésica, pode persistir no pós-operatório e contribuir para complicações pós-operatórias(2)(3).

A formação de atelectasia, na maioria das vezes, associa-se a consequências adversas no período perioperatório, tais como distúrbios nas trocas gasosas, alterações da complacência pulmonar e da resistência vascular pulmonar, lesão pulmonar aguda, infecções respiratórias e aumento do tempo de internação hospitalar(4). A incidência durante a anestesia é alta, estimada entre 50% e 90% em pacientes adultos (5)(6).

Baseados em estudos publicados nos últimos anos, especialistas têm sugerido o uso de volume corrente fisiológico (6-8ml/Kg de peso ideal) durante o intraoperatório, com isso, minimizando o risco de lesão pulmonar que pode ocorrer em pacientes ventilados com volumes correntes maiores(7). Por sua vez, o uso de volume corrente fisiológico no intraoperatório pode levar a um aumento ainda maior do colapso pulmonar(8)(9).

O uso de uma estratégia de ventilação protetora, que consistente na utilização de baixos volumes correntes e pressões de platô e a aplicação da PEEP, pode reverter a atelectasia produzida pela indução anestésica e prevenir lesões pulmonares agudas pós-operatórias em pacientes com função pulmonar normal(10)(11).

O uso da PEEP pode prevenir a formação de atelectasia e minimizar o risco de complicações, no entanto, até o momento, não se tem um método eficaz para um ajuste ótimo desta e que seja adequado às diferentes necessidades dos pacientes. A PEEP intraoperatória previne atelectasias ao impedir o colapso pulmonar e a deformação regional, dessa forma, melhorando a complacência pulmonar(7)(2). No entanto a hiperdistensão pulmonar, associada ao aumento da PEEP na tentativa de reverter a atelectasia, pode ser prejudicial. Além disso, a hiperdistensão pulmonar é difícil de ser avaliada no período intraoperatório devido à carência de métodos, com boa usabilidade e de baixo custo.

Estudo recente de ventilação protetora no intraoperatório demonstrou que a pressão de distensão ou *driving pressure* (descrita como a diferença entre a pressão de platô e a PEEP), aplicada durante a ventilação mecânica no período perioperatório, pode estar associada a complicações pulmonares no intraoperatório(12). O volume corrente ajustado não estava associado com o aumento de complicações pulmonares no perioperatório. Dessa forma, focalizam-se os ajustes para reduzir a pressão de distensão, como a redução do volume

corrente, manobras de recrutamento e a otimização da PEEP, na tentativa de reduzir a morbidade dos pacientes que necessitam de ventilação mecânica durante o ato cirúrgico. Ajustes inadequados da PEEP, que levam ao aumento da pressão de distensão, estão associados com um aumento adicional nas complicações pós-operatórias.

Atualmente, a tomografia computadorizada (TC) é o método de referência para avaliação da atelectasia e hiperdistensão pulmonar (taxa excessiva de gás/tecido pulmonar) durante a anestesia geral(13). No entanto, na prática clínica, não está disponível na sala de cirurgia. A tomografia de impedância elétrica (TIE) é uma técnica não invasiva e capaz de monitorizar a ventilação regional em diferentes regiões pulmonares, útil para detectar atelectasias e hiperdistensão, principalmente, durante a titulação da PEEP após o recrutamento pulmonar(14)(15)(16). Em contraste com a análise morfológica da TC, a hiperdistensão medida pelo TIE representa uma deficiência mecânica (causada por tensão pulmonar excessiva), sendo parcialmente correlacionada com a hiperdistensão da TC, mas indicando, fundamentalmente, uma deficiência regional na complacência pulmonar imposta pelo PEEP.

Outra técnica não invasiva que pode ser utilizada à beira do leito é a ultrassonografia pulmonar transtorácica (LUS)(17)(18). Ela fornece informações mais precisas do que o exame físico e a radiografia de tórax(19). A LUS pode ser realizada à beira do leito e durante o intraoperatório(20)(21). Possui alta especificidade no diagnóstico de atelectasia, perda da aeração pulmonar, líquidos extrapleurais, anomalias diafragmáticas e pneumotórax(22)(23)(24)(25)(26).

Apesar de estar sendo cada vez mais utilizado, não há consenso internacional para educação, avaliação de competências e certificação na utilização de LUS(27). Hoje, a capacitação, geralmente, baseia-se no conceito de aprendizagem de domínio, mas muitas vezes é desestruturado e limitado pela agitação da vida clínica diária(28)(29).

Acredita-se que, em poucos anos, a ultrassonografia fará parte da rotina anestésica não somente na confecção de bloqueios neurais e acessos vasculares, mas também na avaliação pulmonar e avaliação da volemia. O interesse é crescente e muitos são os estudos em desenvolvimento, nesta área, que incluem a avaliação do tórax(30). Futuramente, surgirão novos conceitos que, sem dúvidas, romperão a barreira do que hoje ainda é impensável para esse tipo de tecnologia(31)(25).

2 OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

- 1) Avaliar a concordância entre a LUS e a tomografia por impedância elétrica (TIE), na avaliação do PEEP, onde há o menor colapso possível.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- 1) Validar o LUS para a utilização intraoperatória tanto para adequação da PEEP como para o diagnóstico de atelectasia.
- 2) Avaliar a existência da correlação entre a tomografia por impedância elétrica e LUS, na avaliação de outros artefatos pulmonares (linhas B1 e B2, linhas H).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3 REVISÃO DA LITERATURA

Atelectasia é distensão incompleta dos alvéolos pulmonares, sendo também conhecida como colapso alveolar(32). O termo é utilizado para descrever áreas alveolares que não se expandiram por ocasião do nascimento (atelectasia congênita) ou que colapsou após ter sido inflado (atelectasia adquirida)(33). Trata-se de uma enfermidade que ocorre com frequência durante a indução anestésica(34). Apesar de mais frequente no período de indução anestésica, pode persistir no período pós-operatório, contribuindo de maneira significativa para a morbidade e para o aumento do período de recuperação pós-operatório, com consequente elevação nos custos do tratamento(35). Incide em recém-nascidos, crianças, adultos e idosos(36)(37)(38)(39).

A causa mais frequente da atelectasia é a obstrução total de um brônquio ou bronquíolo(40). Consequentemente, a obstrução completa da entrada de um desses canais aéreos promoverá o aprisionamento do ar presente em todo o setor pulmonar ventilado por ele, ficando inicialmente retido no interior dos alvéolos(14). Caso a obstrução persista, o ar começa a ser reabsorvido até que os alvéolos daquele setor pulmonar se "colapsam" por completo, dando origem a uma atelectasia(34).

Causada por vários fatores, a atelectasia possui três mecanismos básicos: a atelectasia compressiva, que ocorre quando a pressão transmural, responsável pela dilatação dos alvéolos, está reduzida; por absorção, que surge quando a quantidade de gás que entra nos alvéolos é menor que aquela removida pela transferência para o sangue; e, por último, a que ocorre por perda de surfactante, que aparece quando a tensão superficial dos alvéolos aumenta devido à redução da ação do mesmo(4). A anestesia geral parece contribuir para a formação da atelectasia por meio dos três mecanismos anteriormente citados(33).

A atelectasia induzida pela anestesia pode desenvolver-se em técnicas anestésicas inalatórias ou intravenosas quando o paciente está respirando espontaneamente ou ventilado mecanicamente(5)(41)(42). Muitas vezes, a atelectasia induzida pela anestesia ocorre devido ao reflexo de suspiro estar abolido na anestesia geral – reflexo homeostático normal que mantém a complacência pulmonar e os alvéolos abertos(43) –; ou durante a pré-oxigenação pulmonar com FiO_2 de 100%(44)(45). Além da anestesia, o decúbito prolongado e a diminuição da atividade ciliar brônquica podem potencializar a incidência do colapso alveolar(46).

A incidência de atelectasias durante a anestesia é alta, sendo estimada entre 50% e 90% nos pacientes adultos submetidos à anestesia geral(1). É também um achado comum em crianças mecanicamente ventiladas com pulmões saudáveis, com incidência semelhante a do adulto(47)(37).

A formação de atelectasias pode estar associada a consequências adversas tanto no intraoperatório quanto no pós-operatório, tais como distúrbio nas trocas gasosas, alterações da complacência pulmonar e da resistência vascular pulmonar, lesão pulmonar aguda, infecções respiratórias e aumento do tempo de internação hospitalar(7)(31)(48)(39).

As complicações pulmonares pós-operatórias são reconhecidas como um evento adverso associado à anestesia(49). A hipoxemia leve a moderada em consequência do colapso pulmonar intraoperatório, definido como saturação da hemoglobina pelo oxigênio entre 85% e 90%, ocorre em cerca de metade dos pacientes submetidos à anestesia geral para procedimentos eletivos, apesar do uso de uma fração inspirada de oxigênio de 0,4(50)(51)(52)(3).

Pacientes submetidos à anestesia regional desenvolvem menor número de complicações pulmonares quando comparados aos que receberam anestesia geral. Recente estudo, todavia, mostrou que mulheres submetidas ao parto cesáreo sob anestesia regional apresentaram maior área de colapso pulmonar em áreas dependentes quando comparadas às pacientes que desenvolveram parto vaginal, também sob anestesia regional(13). Conquanto o significado clínico dessas alterações possa ser considerado mínimo, a determinação correta pode ajudar na escolha de melhores ajustes ventilatórios, dessa forma, minimizando tanto as complicações respiratórias quanto as repercussões hemodinâmicas. Nessa direção, recomenda-se o uso de uma estratégia de ventilação protetora prevenindo lesões pulmonares agudas pós-operatórias(49).

O uso da PEEP pode prevenir a formação de atelectasia e minimizar o risco de complicações, no entanto, o ajuste “ótimo” deste parâmetro está longe de ser consensual(43). Em pacientes mecanicamente ventilados e submetidos a cirurgias videolaparoscópicas, o uso da PEEP associado a manobras de recrutamento parece impedir colapso clinicamente significativo em adultos e crianças(53).

Na atualidade, não existe um método ideal para o ajuste da PEEP(54). Os ajustes inadequados podem promover um aumento da pressão de distensão pulmonar e assim, iniciar ou aumentar a lesão pulmonar preestabelecida, caso inadvertidamente ocorra hiperdistensão

do pulmão(12). A hiperdistensão pulmonar, somada à reversão induzida da atelectasia utilizando-se altas pressões nas vias aéreas, pode ser prejudicial(55)(6).

O papel da pressão positiva expiratória final na ventilação mecânica durante a anestesia geral permanece incerto(38). Níveis de pressão superiores a 4 cm/H₂O podem proteger contra complicações pulmonares pós-operatórias, mas também podem causar depressão circulatória intraoperatória e lesões pulmonares por hiperdistensão(8). A utilização de altos níveis de PEEP, seguida de manobras de recrutamento frequentes, também não parecem ideais, não protegendo contra complicações pulmonares pós-operatórias em pulmões saudáveis(42).

As manobras de recrutamento são estratégias ventilatórias que visam restaurar a aeração pulmonar. Elas consistem em um aumento breve e controlado na pressão da via aérea para abrir áreas colapsadas dos pulmões e PEEP para manter as vias aéreas abertas. A aplicação de manobras de recrutamento durante a anestesia normaliza a função pulmonar ao longo do período intraoperatório. No entanto o seu efeito no pós-operatório não tem sido animador e pode resultar em lesão pulmonar(56).

A lesão promovida pelo recrutamento inadvertido e/ou uso inadequado da PEEP é complexa e multifatorial(49). Uma das principais causas é a exposição do pulmão a altas pressões, secundária, principalmente, a grandes volumes não fisiológicos e a perda da capacidade residual funcional normal(52)(57).

Praticou-se, por muitos anos, a ventilação mecânica com altos volumes correntes. Esta estratégia recruta o tecido pulmonar colapsado, melhora a incompatibilidade ventilação-perfusão e, assim, diminui a necessidade de altas frações de oxigênio.

À medida que se progrediu na compreensão dos mecanismos de lesão pulmonar induzida pelo ventilador mecânico, as estratégias de proteção pulmonar começaram a ser consideradas, principalmente pelos anestesiológicos. De todas as estratégias protetoras, parece que a que promove maiores efeitos protetores é a utilização de baixos volumes correntes.

Na prática clínica diária, as complicações pulmonares relacionadas ao procedimento cirúrgico são comuns e não estão relacionadas somente com a ventilação, mas, também, com a terapia hidroeletrólítica, técnica operatória, etc. A ponderação do risco de complicações é um importante passo na avaliação do modo ventilatório adotado, volume corrente, PEEP e utilização de manobras de recrutamento alveolar. Deve-se buscar diminuir a morbidade e mortalidade, além da manutenção adequada da oferta de oxigênio.

A compreensão da avaliação perioperatória adequada acerca da possibilidade da formação de atelectasia permite à equipe médica decidir a melhor estratégia perioperatória, por conseguinte, reduzindo os desfechos desfavoráveis(53). O papel do anestesista não se limita apenas ao ato anestésico, mas também às implicações que este implica no pós-operatório.

A avaliação e abordagem adequada do colapso no período perioperatório é muito limitada, especialmente pela escassez de métodos diagnósticos disponíveis no bloco cirúrgico. Tanto a radiografia de tórax como tomografia computadorizada de tórax, são exames difíceis de serem executados no período intraoperatório, tornando a avaliação *in situ* praticamente inexecutável até o momento.

O número de pesquisas neste tópico é crescente e junto surgem novos métodos diagnósticos. Os dois métodos mais promissores são a tomografia por impedância elétrica e a ultrassonografia pulmonar. A tomografia de impedância elétrica é uma técnica não invasiva capaz de monitorizar a ventilação regional em diferentes regiões pulmonares, útil para detectar atelectasias e hiperdistensão.

Outra técnica não invasiva que pode ser utilizada à beira do leito é a ultrassonografia pulmonar transtorácica(58). Provavelmente e, em poucos anos, a ultrassonografia fará parte da rotina anestésica, não somente na realização de bloqueios neurais e acessos vasculares, como também na avaliação pulmonar e avaliação da volemia(59). Isso ocorrerá principalmente devido à miniaturização e portabilidade dos aparelhos, além da popularização dos aparelhos de ultrassonografia(60)(61).

Entretanto ainda não se pode utilizar a LUS isoladamente para monitorizar a aeração em pacientes com patologias pulmonares estabelecidas(62)(63). Alterações de imagem no LUS podem não ter uma correlação linear com a melhora da oxigenação(64). Em estudo recente, curiosamente, houve piora da aeração medida pelo LUS após carga hídrica em pacientes sépticos com síndrome da angústia respiratória, sem alteração na oxigenação(65).

Este estudo é pioneiro, no uso do ultrassom no ato operatório, para a detecção do PEEP que gera o menor colapso. A ultrassonografia, quando utilizada para a análise de atelectasia, pode mostrar-se semelhante à radiografia e à tomografia computadorizada de tórax, com a vantagem de não expor o paciente a radiações ionizantes(66)(67). Em adição, tem a vantagem de ser técnica portátil e prática, o que a torna útil no intraoperatório e em situações remotas (medicina pré-hospitalar)(68).

O exame ultrassonográfico depende de operador treinado e experiente. Outra dificuldade existente é a sombra acústica lançada por uma costela densa, podendo induzir certa confusão ao examinador menos experiente ou ainda a presença de congestão pulmonar, que pode produzir linhas B e afetar a avaliação, inclusive, do deslizamento pleural(69).

Métodos de imagem para avaliação da função pulmonar

O comprometimento na oxigenação arterial e a diminuição da complacência pulmonar são as primeiras alterações fisiológicas, sugerindo a presença de atelectasia após a indução anestésica(32,50). A curva pressão-volume do sistema respiratório também fornece algumas pistas da presença de atelectasia, tal como diminuição da complacência e o aparecimento de um ponto de inflexão inferior(70).

A radiografia de tórax convencional pode apresentar linhas ou opacificações, deslocamento das fissuras interlobares, perda de volume do segmento ou lobo afetado, deslocamento do mediastino ou do hemidiafragma e diminuição no espaço intercostal, além de outros sinais radiológicos sugestivos de atelectasia. Entretanto a radiografia de tórax pode não detectar o colapso pulmonar de forma adequada em pequenas regiões do pulmão ou em zonas onde as imagens estejam sobrepostas(71).

Métodos de imagem, tais como ressonância magnética ou tomografia computadorizada, fornecem informações sobre a heterogeneidade do pulmão durante a ventilação, isto é, formação de áreas de hiperdistensão em regiões não dependentes e colapso em regiões dependentes determinadas pelos agentes anestésicos, pelo ajuste do ventilador mecânico e, também, pelo posicionamento durante o procedimento cirúrgico(72). No entanto esses métodos não podem ser usados de forma contínua e não estão disponíveis para uso na UTI ou na sala cirúrgica(13)(73). Atualmente, há dois métodos com essas características, isto é, análise contínua da função pulmonar e portabilidade, a LUS e a TIE. Ambos permitem a análise e otimização da ventilação mecânica buscando reduzir a heterogeneidade pulmonar durante a anestesia geral.

A tomografia de impedância elétrica (TIE) é uma técnica potencialmente capaz de monitorar esses desequilíbrios e avaliar, de forma confiável, a ventilação regional em diferentes regiões torácicas. Livre de radiação e não invasiva, a técnica utiliza medidas de potenciais elétricos da parede torácica e fornece imagem do pulmão, com isso, avaliando a distribuição da ventilação e demonstrando áreas colapsadas ou hiperdistendidas(14,72). As informações obtidas por meio da TIE mostraram boa correlação com a variação de conteúdo

gasoso dentro do pulmão, embora, no presente momento, ainda, não seja possível avaliar densidades teciduais de forma semelhante à obtida com a tomografia computadorizada convencional(16).

Figura 1 -Método de cálculo da hiperdistensão e colapso pela TIE

Fonte: Costa ELV et al. Bedside estimation of recruitable alveolar collapse and hyperdistension by electrical impedance tomography. Intensive Care Med. 2009;(35):1132-7.

Figura 2 - TIE em dois momentos distintos, comparados a tomografia computadorizada

Fonte: Serpa Neto A et al. Associations between positive end-expiratory pressure and outcome of patients without ARDS at onset of ventilation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Ann Intensive Care. 2016;6(1).

Estudos utilizando a TIE no período intraoperatório mostraram a utilidade desta tecnologia para avaliar o redirecionamento da ventilação para áreas dorsais com o uso de pressões maiores e a prevenção da redistribuição da ventilação para regiões ventrais no

paciente supino(74)(3). Essas regiões ventrais na posição supina também podem ser identificadas como não dependentes, na qual há menor relação ventilação/perfusão. Em pacientes com lesão pulmonar aguda, a TIE já foi utilizada para ajustar uma PEEP que determine o colapso mínimo, melhor troca gasosa e menor risco de lesão induzida pelo ventilador mecânico, causado pela hiperdistensão nas regiões ventrais e pelo colapso cíclico nas regiões dorsais(75)(14).

Do outro lado, está a LUS. Exame muito utilizado atualmente na avaliação primária de pacientes com dispneia ou insuficiência respiratória, pacientes críticos e no perioperatório de todas as idades(76)(77)(29)(78)(79).

Visto que todas as agressões agudas reduzem a aeração pulmonar, a LUS pode fornecer informações complementares ao exame físico e à impressão clínica, com a principal vantagem de ser realizado à beira do leito, ou até mesmo durante uma cirurgia e sem a necessidade de radiação ionizante(80)(81). Destaca-se a sensibilidade e especificidade, semelhante aos exames anteriormente citados(82).

Acredita-se que a LUS seja o método factível na busca da detecção de atelectasias e posterior recrutamento pulmonar no perioperatório(83), considerando que a maioria dos anestesistas, ao realizar a manobra de recrutamento, fá-la de maneira aleatória e sem critério, tornando-a muitas vezes pouco efetiva e sem a devida comprovação(9)(84). Além de possibilitar o diagnóstico rápido e precoce, a LUS permite que se realize o recrutamento de maneira guiada, rápida e dirigida(85).

Artefatos pulmonares no ultrassom

A análise de artefatos pulmonares ganhou importância crescente na atualidade, principalmente como marcador de doenças pulmonares(65). Embora a utilidade da tomografia computadorizada no diagnóstico de patologias pulmonares seja indiscutível, a ultrassonografia é útil em situações de emergência, onde o tempo é essencial; e, no intraoperatório, quando o acesso à tomografia computadorizada é limitado(86).

Inúmeros são os artefatos pulmonares conhecidos e, possivelmente, muitos ainda surgirão (87). Entretanto deve-se sempre incorporar as queixas clínicas atuais, história patológica pregressa, exame físico e os resultados de imagem na interpretação dos achados ultrassonográficos pulmonares(76). Seguindo-se esses passos, acredita-se que artefatos pulmonares ganhem importância e hierarquia nas tomadas de decisão(88).

Durante a aquisição de uma imagem ultrassonográfica, são produzidos e detectados ecos que são a base do ultrassom. Sempre que dois materiais possuam a mesma impedância acústica (produto de densidade e velocidade de propagação), nenhum eco será produzido. No entanto, se dois materiais têm impedância acústica muito diferente, um eco forte será produzido e o ultrassom será totalmente refletido(8).

A reflexão do feixe de ultrassom através de uma interface entre os diferentes meios de impedância acústica é a base da LUS. Não se detecta imagem do ar nos pulmões aerados, no entanto a pleura e o arcabouço alveolar podem ser visualizados como estruturas hiperecogênicas. A anatomia do tórax é tal que o ar e a água se misturam inerentemente para invocar artefatos(80).

A maioria dos artefatos conhecidos são causados por fenômenos de reverberação. Esses fenômenos podem ocorrer por meio da presença de fluido em espaços virtuais, espessamento pleural, inflamação, entre outras patologias. Um dos artefatos recentemente descobertos são os "*Bellows Sign*", utilizados no diagnóstico da atelectasia pulmonar segmentar primária, reafirmando a hipótese de que há muito a ser estudado na ultrassonografia pulmonar(89).

Por ser um instrumento semiológico relativamente novo, a LUS ainda está em plena evolução e muitos artefatos ainda serão descobertos(90). Algumas técnicas já estão bem estabelecidas, como, por exemplo, a detecção de um pneumotórax(91). A hiperecogenicidade da linha pleural e a presença de linhas H (artefatos lineares paralelos à linha pleural) excluem derrame pleural ou consolidações parenquimatosas, mas não discriminam o pulmão normalmente aerado e hiperinflado do pneumotórax(65)(92).

A maioria das escalas e classificações são visuais, ou seja, são operadores dependentes(88). Atualmente, não existe método quantitativo para a avaliação pulmonar, o que, sem dúvidas, tornaria o método mais objetivo(93).

4 CASUÍSTICA E MÉTODOS

4 CASUÍSTICA E MÉTODOS

4.1 PROJETO DE PESQUISA

O protocolo do estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (registro CAAE 13768713.0.0000.0068), e registrado no ClinicalTrials.gov (NCT03211936), após o início da coleta de dados. Ressalta-se que a coleta de dados foi iniciada somente após a aprovação do Comissão de Ética em Pesquisa.

Este estudo foi originalmente projetado para identificar a PEEP que produz a melhor relação possível entre o colapso pulmonar e a hiperdistensão pulmonar durante um procedimento de titulação da PEEP, em pacientes submetidos à cirurgia abdominal inferior. No entanto, durante a aquisição de dados, um dos investigadores (BFFT) notou que o número de linhas H aumentava com o nível PEEP e levantou a hipótese de que essas linhas poderiam estar relacionadas à hiperinflação pulmonar. A partir desse momento, incluiu-se como objetivo secundário do estudo avaliar a hiperdistensão pulmonar usando a LUS, sendo a tomografia por impedância elétrica o método de referência, tema de concentração da presente tese(14) (54).

4.1.1 Critérios de seleção dos pacientes

Foram selecionados pacientes de ambos os sexos, submetidos a cirurgias do abdômen inferior (ginecológicas e urológicas), internados na enfermaria do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e no Instituto Central da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, com avaliação pré-operatória ambulatorial. A definição de cirurgia abdominal para inclusão no estudo contemplava cirurgias eletivas, com internação na noite anterior à data prevista e em que havia a previsão de abertura da cavidade peritoneal, não videolaparoscópicas.

4.1.2 Critérios de exclusão de pacientes

Os critérios de exclusão de pacientes foram:

- a. Idade inferior a 18 anos.
- b. Cirurgias de urgência ou emergência.
- c. Pacientes sem avaliação pré-operatória.
- d. Pacientes classificados pela *American Society of Anesthesiologists* como estado físico p3 ou maior.
- e. Pacientes portadores de doenças respiratórias obstrutivas e restritivas.
- f. Pacientes com previsibilidade de intubação orotraqueal difícil e que exijam manipulação excessiva das vias aéreas superiores.
- g. Pacientes portadores de marca-passo e pacientes agendados para procedimentos em região torácica.

4.1.3 Termo de consentimento livre e esclarecido

Após definição da indicação cirúrgica e avaliação dos critérios de inclusão e exclusão, os pacientes foram convidados a participar da pesquisa. Após esclarecimentos em relação aos objetivos gerais do estudo, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Amostra

O tamanho da amostra foi estimado, levando-se em consideração um estudo semelhante que avaliou a incidência de atelectasia em pacientes com síndrome da angústia respiratória aguda(94). Considerou-se o uso de um teste de hipótese bicaudal com poder mínimo de 80%, nível de significância de $p < 0,05$ para análise e intervalo de confiança de 95%. Foi utilizado o programa G*Power (2007) e a amostra estimada foi de 17 pacientes, considerando 5% de perdas, obtendo-se uma amostra estimada de 18 pacientes (95,96).

4.2.2 Fase de coleta de dados

O estudo foi composto pela coleta de dados no perioperatório: pré-indução, pós-indução, durante a titulação da PEEP e ao final do procedimento antes da extubação e após a extubação.

4.2.3 Procedimentos

4.2.3.1 Anestesia

Na recepção dos pacientes na sala operatória, eles foram monitorizados como habitualmente é feito no intraoperatório: cardioscopia contínua em derivações DII e D5, mensurações de pressão arterial não invasiva, saturação periférica de hemoglobina por oximetria de pulso, fração expirada de gás carbônico pela capnografia contínua (após a intubação orotraqueal) e grau de bloqueio neuromuscular pelo estimulador de nervo periférico determinado pela sequência de quatro estímulos (TOF).

Foi instalada a faixa descartável de eletrodos do tomógrafo de impedância (Modelo DX-1800, Dixtal, Brasil) na região torácica entre o 4° e 5° espaço intercostal, abaixo das axilas e superiormente à região das mamas nos pacientes do sexo feminino. Inicialmente, antes de induzir a anestesia, fez-se uma aquisição de 3 minutos com o paciente desperto e em posição supina, respirando ar ambiente. Para esta aquisição, o paciente colocou entre os lábios o sensor descartável de fluxo e pressão do tomógrafo de impedância elétrica. Essa medida foi considerada a medida basal.

Os pacientes tinham acesso venoso puncionado com cateter de *teflon* de calibre 20G ou 18G. Nova medida pelo tomógrafo de impedância era obtida imediatamente antes da indução da anestesia com o paciente em decúbito dorsal horizontal após ter respirado em ambiente com fração inspirada de oxigênio a 50% por pelo menos 3 minutos.

Realizou-se a indução anestésica geral por via venosa, com os seguintes componentes e dosagens: midazolam em bolus na dose de 0,05-0,2 mg.Kg⁻¹, propofol alvo controlado (modelo farmacocinético de Marsh) na dose-alvo regulada entre 2,0-6,0 mcg.ml⁻¹ com flash de 2 minutos, remifentanil em BIC (bomba de infusão contínua) com dose de 0,05-0,5 mcg/kg/min ou fentanil em bolus na dose de 2-5mcg.kg⁻¹; e rocurônio em bolus na dose de 0,6 mg.kg⁻¹ ou cisatracúrio em bolus na dose de 0,2 mg.kg⁻¹. A escolha do opioide assim como do bloqueador neuromuscular ficou a critério do anestesiológico em sala. Após verificação de ausência de sinal pelo monitor TOF, procedeu-se a intubação orotraqueal (IOT).

A manutenção da anestesia foi realizada também por via venosa da seguinte forma: propofol alvo controlado (modelo farmacocinético de Marsh) dose-alvo regulada entre 2,0-6,0

mcg/ml, remifentanil em BIC com dose de 0.05-0.5 mcg/kg/min ou fentanil em bolus de 2-5mcg/kg; e cisatracúrio em bolus 0,03-0,05 mg.kg⁻¹ ou Rocurônio 0,1-0,2 mg/kg a cada 40 minutos. O uso de fentanil concomitantemente ao uso de remifentail é de escolha do anestesiológista em sala.

Logo após indução da anestesia e IOT, foi verificada a correta localização da sonda orotraqueal por meio de detecção de CO₂ por capnografia. O sensor de pressão e fluxo do TIE foi conectado à sonda orotraqueal.

Ajustou-se a ventilação mecânica após os pacientes já estarem anestesiados e intubados, com os parâmetros: fração inspirada em 50% de oxigênio, volume corrente em 6 ml/Kg, frequência respiratória em 12 incursões por minuto (ipm). Na sequência, foi ajustada PEEP em 4 cmH₂O; a frequência respiratória foi ajustada para manter uma ETCO₂ entre 35-45 cmH₂O. A fração inspirada de oxigênio foi regulada para manter a SpO₂ > 96%.

4.2.3.2 Manobra de recrutamento e titulação PEEP

Imediatamente após a indução anestésica, realizou-se uma manobra de recrutamento de cerca de 1 minuto em modo de ventilação controlada por pressão com PEEP de 20 cmH₂O e pressão de platô inspiratório de 40 cmH₂O, frequência respiratória de 15 respirações. min⁻¹ e razão Inspiratório: expiratória de 1:1. Então, a titulação da PEEP foi realizada. A ventilação foi ajustada em modo controlado por volume, usando um volume corrente de 6 ml.kg⁻¹ de peso corporal ideal, uma pausa inspiratória de 0,5 segundos e uma frequência respiratória de 20 respirações.min⁻¹. O PEEP foi então reduzido 2 a 2 cmH₂O a cada 40 segundos de 20 cmH₂O a 4 cmH₂O.

Figura 3 - Metodologia utilizada na manobra de recrutamento pulmonar

4.2.3.3 Exame de ultrassonografia pulmonar

O exame ultrassonografia pulmonar foi realizado com o aparelho de ultrassonografia Logic Eq9® (General Electric, Chicago, Illinois, EUA), usando um transdutor convexo de baixa frequência de 10 cm, um ganho de 72%, uma compensação de ganho de 50% e uma profundidade de 15 cm. Conforme se ilustra nas figuras 4, 5 e 6, as imagens foram obtidas após cada alteração PEEP no mesmo local anatômico marcado com uma caneta cirúrgica. A área de aquisição estava localizada na linha média axilar, logo acima da cúpula diafragmática, identificada por exame ultrassonográfico prévio. A avaliação foi sempre realizada pelo mesmo examinador (BFFT). As imagens foram armazenadas em arquivos não comprimidos DICOM, com 8 bit na escala de cinza, variando de 0 (preto) a 255 (branco).

A melhor imagem em cada nível de PEEP foi selecionada para três avaliações distintas: (1) contagem do número de linhas horizontais A aparecendo no parênquima pulmonar; (2) classificação do parênquima pulmonar segundo o artefato observado; (3) avaliação do perfil de pixels (na escala de cinzas) de cada imagem.

Figura 4 - Identificação do diafragma com LUS

Figura 5 - Delimitação do diafragma e da linha axilar média com LUS

Figura 6 – Demarcou-se o local correto com um “x” e adquiriu-se as imagens

4.2.3.3.1 Contagem do número de linhas horizontais H aparecendo no parênquima pulmonar

Para facilitar a contagem de linhas H, foi aplicado um tratamento de imagem gráfica, com um filtro de escala de cinza com 75% de relação preto/branco e 100% da correção de nitidez. Foram contadas todas as linhas contínuas maiores que 1 cm e que estavam intercaladas com áreas de parênquima pulmonar. Após a contagem de linhas H realizada de forma "não cega" (o avaliador estava ciente do nível PEEP), as imagens foram numeradas aleatoriamente e a contagem de linhas H foi reavaliada de maneira cega (o avaliador desconhecia o nível PEEP). A reprodutibilidade intraobservadores foi avaliada para cada avaliador individual após duas medidas consecutivas. A reprodutibilidade interobservador foi avaliada por dois avaliadores independentes.

4.2.3.3.2 Classificação do parênquima pulmonar segundo o artefato observado

Classificou-se cada imagem de ultrassom usando 5 escores:

1. Hiperdistendido – presença de empilhamento de linhas H (geralmente, presente nas PEEP elevadas)

Figura 7 - Hiperdistensão pulmonar, evidenciam-se as linhas H

2. Normal – pulmão normal

Figura 8 - Pulmão normal

3. Linhas B1 – presença de linhas B isolada

Figura 9 - Linha B isolada

4. Linhas B2 – linhas B confluentes, com espaçamento menor que 5mm entre elas ou coalescentes

Figura 10 - Linhas B coalescentes

5. Consolidação: presença de consolidação grosseira (área hiperdensa, mais branca, mesclada com áreas hipodensas) na imagem ultrassonográfica; subpleural, ou no parênquima pulmonar

Figura 11 - Região central com consolidação pulmonar

As imagens salvas foram avaliadas por três avaliadores distintos, obtendo-se, após um escore ultrassonográfico de consenso em cada valor de PEEP para cada paciente.

4.2.3.3.3 Avaliação quantitativa do parênquima pulmonar

Com o intuito de realizar uma avaliação quantitativa, decidiu-se comparar se a presença de maior quantidade de preto (hiperdistensão do pulmão) nas imagens ultrassonográficas estaria associada ao maior número de linhas H. Ademais, comparou-se se

havia maior incidência dos tons de cinza que representam o parênquima pulmonar na tentativa de associá-los ao colapso.

Com o uso do programa DivX (versão 1.0.4, 1997, Neulion Inc., Amsterdã), selecionou-se uma área de 450X450 pixels em cada imagem, chamada ROI. Utilizando-se esta ROI, obteve-se o histograma da escala de cinzas da imagem, expressos tanto em gráfico como em tabela (com o número de pixels em cada tonalidade). Após, somou-se os pixels em intervalos: 0-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250; e dividiu-se pelo número total de pixels da imagem, conseguindo determinar a densidade dos pixels em cada intervalo (pixel/pixel²).

4.2.3.4 Tomografia por impedância elétrica

A tira eletrodo do TIE (Enlight-1800®, Timpel, São Paulo, Brasil) foi instalada na região torácica entre o 4º e o 5º espaço intercostal, conforme recomendado(14). O tomógrafo de impedância expressa a porcentagem de pulmão colapsado em porcentagem de massa de pulmão colapsado em relação ao total do tecido pulmonar, além da hiperdistensão, seguindo o mesmo padrão de relação descrito anteriormente.

Além das correlações diretas (colapso e hiperdistensão) entre os dados da TIE, calculou-se dois pontos de corte, um para a hiperdistensão e outro para o colapso.

Os pontos de corte foram calculados utilizando-se o PEEP de melhor complacência do sistema respiratório. Calculou-se o ponto de corte para hiperdistensão na TIE utilizando-se a PEEP, 2 cmH₂O acima da PEEP de melhor complacência, calculada nos 18 pacientes. De maneira semelhante, calculou-se o ponto de corte para o colapso na TIE utilizando-se a PEEP, 2 cmH₂O acima da PEEP de melhor complacência, calculada nos 18 pacientes.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados são expressos como média $\pm$ DP (IC 95%) ou mediana (interquartil 25, interquartil 75) de acordo com sua distribuição. A distribuição dos dados foi testada usando o teste de Kolmogorov-Smirnov e demonstrou-se anormal.

Calculou-se a concordância entre os três avaliadores do escore do parênquima pulmonar, bem como a concordância para os avaliadores dois a dois, por meio do kappa ponderado, para tanto, utilizando-se o *software* Winpepi, versão 11.65 (JoeAbramson, <http://www.brixtonhealth.com/pepi4windows.html>).

Ao avaliar a contagem de linhas A, por ser algo ainda não descrito na literatura, optou-se pela realização da reprodutibilidade intraobservador e interobservador. A reprodutibilidade intraobservadora foi definida como:

$$\frac{\text{Contagem de linhas A } 1^{\text{o}} \text{exame} - \text{Contagem de linhas A } 2^{\text{o}} \text{exame}}{\text{Contagem de linhas A } 1^{\text{o}} \text{exame}} \quad (1)$$

e expresso em %. A reprodutibilidade interobservadora foi definida como:

$$\frac{\text{Contagem de linhas A } 1^{\text{o}} \text{examinador} - \text{Contagem de linhas A } 2^{\text{o}} \text{examinador}}{\text{Contagem de linhas A } 1^{\text{o}} \text{examinador}} \quad (2)$$

Este valor foi expresso em %. A concordância entre duas avaliações consecutivas e dois avaliadores diferentes foi estimada utilizando a correlação de coeficiente intraclass. A reprodutibilidade intraobservadora e interobservador foi realizada de maneira cega e não cega (seis avaliações no total).

A correlação da contagem de linha H e o nível PEEP foi realizada utilizando o teste de correlação de Spearman. A comparação entre a contagem de linhas H em pacientes com e sem limiar da TIE para hiperdistensão foi demonstrada por meio da mediana (intervalo interquartil 25 – intervalo interquartil 75).

Tanto a precisão do ultrassom de pulmão, para prever a hiperdistensão pulmonar, como o colapso, foram testados utilizando a curva ROC (ponto J de Youden).

Ao avaliar a correlação da densidade de pixels em cada PEEP e o colapso ou a hiperdistensão, utilizou-se uma regressão linear múltipla como covariadas, diferentes faixas de densidade de pixels. O *software* SPSS (IBM, versão 24.0.0.0, 2017) foi utilizado para as análises estatísticas. A diferença entre a espessura dos espaços subcutâneos foi analisada com ANOVA e regressão linear.

5 RESULTADOS

5 RESULTADOS

5.1 CASUÍSTICA

Vinte e um pacientes foram incluídos no estudo após consentimento informado, no entanto dois pacientes foram excluídos: um, devido à presença de derrame pleural (identificado após a avaliação pulmonar inicial); e o outro, devido à baixa qualidade das imagens.

5.2 POPULAÇÃO DO ESTUDO

A idade da população avaliada neste estudo variou de 47 a 68 anos, com média de $63 \pm 5,87$ anos, sendo 13 homens (72,2%) e 5 mulheres (27,8%). Quanto aos dados antropométricos, o índice de massa corporal foi $28,2 \pm 3,67 \text{ kg/m}^2$. Dos sujeitos incluídos no estudo, 14 sujeitos tinham classificação de estado físico p2 segundo a ASA, sendo a hipertensão arterial sistêmica, a condição preexistente de maior incidência.

5.3 DESFECHOS

5.3.1 Desfecho Primário

Ao testar a normalidade dos dados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, observou-se que os dados de hiperdistensão e colapso não apresentavam distribuição normal, com $P < 0,001$ em ambos.

Concordância entre avaliadores dos artefatos pulmonares

Calculou-se a concordância entre os três avaliadores e, também, a concordância para os avaliadores dois a dois. O kappa ponderado para os três avaliadores foi de 0,92, o que é considerada uma forte concordância. As concordâncias dos avaliadores dois a dois obtiveram valores de kappa ponderado (fator quadrático) próximos a 0,88, também, considerados muito bons.

Gráfico 1 – Kappa individual e ponderado dos três avaliadores

Tomografia por impedância elétrica e ponto de corte da ultrassonografia pulmonar para o colapso

Conforme observa-se no Gráfico 2, o limiar médio da TIE para o colapso foi de 7,4% correspondente a um nível médio de PEEP de 10 cmH₂O. No Gráfico 3 é possível verificar que o colapso pulmonar na TIE aumenta linearmente à medida que diminui o nível de PEEP. O ponto de corte para o colapso TIE (7,4%) foi alcançado em PEEP de 14 cmH₂O em 1 paciente, 12 cmH₂O em 2 pacientes, 10 cmH₂O em 4 pacientes, 8 cmH₂O em 7 pacientes, 6 cmH₂O em 2 pacientes e 4 cmH₂O em 1 paciente. De acordo com os dados do Gráfico 4, o escore ultrassonográfico correspondente a 7,4% de colapso na TIE, na maior parte das vezes, foi o colapso subpleural ou parenquimatoso. A curva ROC correspondente a este limite e é ilustrada no Gráfico 5: área abaixo da curva = 0.946, 0.903-0.990 (CI95%), $p < 0.001$ e índice de Youden = 0.82.

Gráfico 2 - Cálculo do ponto de corte na TIE para o colapso

Gráfico 3 - Colapso Pulmonar em % pela TIE em cada nível de PEEP

Gráfico 4 - Correlação do escore pulmonar, os níveis da PEEP e o ponto de corte da TIE para o colapso

Gráfico 5 - Curva ROC correspondente ao ponto de corte de 7,4% pela TIE. Área abaixo da curva = 0.946 (IC95% 0.903-0.990), $p < 0.001$ e índice Youden = 0.82

Conforme é possível observar no Gráfico 6, ocorreu associação entre o escore ultrassonográfico e o colapso estimado pela tomografia de impedância elétrica (r de Spearman = 0,84; $P < 0,001$).

Gráfico 6 - Classificação ultrassonográfica em cada valor de PEEP para os 18 pacientes e sua correlação com o colapso estimado pela TIE

Tomografia por impedância elétrica e titulação da PEEP em comparação à ultrassonografia

Na tabela 1 são apresentadas as PEEPs escolhidas por intermédio da tomografia de impedância usando o critério ultrassonográfico. Utilizou-se dois critérios para escolha de PEEP pelo ultrassom – menor PEEP com ausência de linhas B2 (sinal de colapso pulmonar) e menor PEEP sem consolidação grosseira no ultrassom.

Tabela 1 - PEEPs escolhidas segundo o método

PEEP titulada pela TIE (cmH ₂ O)	12 (10 - 14) [8-16]
[mínimo – máximo]	
PEEP titulada pelo ultrassom, critério ausência de linhas B2 [mínimo – máximo]	14 (12 - 16) [12-18]
PEEP titulado pelo ultrassom, critério ausência de consolidação [mínimo – máximo]	10 (8 - 12) [6-12]

TIE: Tomógrafo de Impedância Elétrica

Valores em média $\pm$ desvio padrão ou mediana (percentil 25% - 75%)

Ao avaliar o escore ultrassonográfico correspondente a PEEP titulada pela TIE, observou-se que 77,7% correspondiam ao colapso ou linhas B2 (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Escore ultrassonográfico avaliado na PEEP titulada pela TIE

Avaliação quantitativa da ultrassonografia pulmonar por meio da análise da escala de cinzas - colapso

Comparou-se, por meio de um modelo de regressão linear, a presença de colapso pela TIE adotando-se o ponto de corte de 7,4% com a avaliação das ROIs das imagens ultrassonográficas de cada intervalo da escala de cinzas. Encontrou-se significância estatística nos intervalos de 101-150 e 201-250 (Fig. 9), com $p = 0,014$ e $p = 0,0001$ respectivamente.

Figura 12 - Histograma de escala de cinzas. Espectro de 51-100 e 201-250

Incidência de atelectasia

A avaliação pulmonar ultrassonográfica com o paciente acordado pré-operatória evidenciou que cerca de 25% dos pacientes possuíam atelectasias subpleurais, no entanto não apresentavam quaisquer sintomas. Ao final do procedimento, visualizou-se que 100% dos pacientes possuíam algum grau de atelectasia independente da duração do procedimento.

5.3.2 Desfecho Secundário

Reprodutibilidade da contagem de linhas H

A reprodutibilidade entre observadores e interobservadores foi realizada de forma cega e não cega. Para um determinado observador (BFFT), a reprodutibilidade de duas avaliações consecutivas foi de 0,81 e 0,88, para cegos (DVF) e não cegos (BFFT) respectivamente. Para uma avaliação dada, a reprodutibilidade entre dois observadores diferentes (CMS e LMM) foi de 0,76 e 0,83, para cegos e não cegos, respectivamente.

Figura 13 - Reprodutibilidade entre observadores e interobservadores e seus respectivos valores de kappa

Probabilidade de identificação da hiperdistensão pela ultrassonografia de pulmão

Por meio de uma análise de regressão logística, observou-se uma probabilidade significativa dos avaliadores (cegos ou não) identificarem a hiperdistensão quando maior que 24,5% (TIE). O Quadro 1 mostra o cálculo do teste Omnibus e do r^2 pelo método de Cox & Snell para os modelos estudados, além da probabilidade de acerto.

Quadro 1 - Regressão logística para os avaliadores cego e não cego

	Probabilidade de acerto	Teste Omnibus		R ² Cox & Snell
		Chi-square	p value	
Avaliador não cego	87,7%	109,74	<0,0001	0,492
Avaliador Cego	69,7%	96,197	<0,0001	0,442

Tomografia por impedância elétrica e ponto de corte da ultrassonografia pulmonar para a hiperdistensão

Conforme o Gráfico 10, o limiar médio da TIE para hiperdistensão foi de 24,5% correspondente a um nível médio de PEEP de 14 cmH₂O. Dados do Gráfico 8 revelam a hiperinflação pulmonar EIT aumentou linearmente com PEEP: de 0% (0, 3) em PEEP 4 cmH₂O a 42% (22, 57) em PEEP 20 cmH₂O (Rho = 0,786, p = 0,0001). No Gráfico 9 é possível observar que o número de linhas A aumentou linearmente com PEEP: de 3 em PEEP 4 cmH₂O a 10 a PEEP 20 cmH₂O. As imagens de ultrassom representativas para o paciente 2 seguem ilustradas na Figura 14. Dados do Gráfico 11 revelam que o limite de hiperinflação EIT (24,5%) foi alcançado em PEEP de 10 cmH₂O em 2 pacientes, 12 cmH₂O em 4 pacientes, 14 cmH₂O em 6 pacientes, 16 cmH₂O em 4 pacientes e 18 cmH₂O em 2 pacientes. Observando-se o gráfico anteriormente descrito, verifica-se que o limiar de ultrassom foi de 5 ou mais linhas A. A curva ROC correspondente a este limite é apontada no Gráfico 12: área abaixo da curva = 0.947, (IC95% 0.901-0.976), p <0.001 e índice Youden = 0.80.

Gráfico 8 – Hiperdistensão pela TIE em diferentes Pressões Positivas de Expressão Final (PEEP), expressa em% de diminuição no máximo de conformidade (soma ponderada para o pulmão)

Gráfico 9 - A Figura 2B mostra o crescente número de linhas B com PEEP

Gráfico 10 – Demonstração do cálculo para o ponto de corte da hiperdistensão. O valor médio para todos os pacientes foi calculado como 24,5%.

Gráfico 11 - Número de linhas H em cada nível de PEEP correspondente ao ponto de corte. Mais de 5 linhas foi um bom marcador para hiperdistensão pulmonar.

Gráfico 12 - Curva ROC correspondente ao ponto de corte de 24,5% para hiperdistensão pela TIE. Área abaixo da curva = 0.947, (IC95% 0.901-0.976), $p < 0.001$ e índice Youden = 0.80

Figura 14 - Imagens ultrassonográficas do paciente número 2 em 3 níveis diferentes de PEEP. Observa-se a diminuição no número de linhas horizontais a medida que o PEEP diminui. A – PEEP 20 cmH₂O, B- PEEP 10 cmH₂O, C- PEEP 4 cmH₂O

Avaliação quantitativa da ultrassonografia pulmonar por meio da análise da escala de cinzas - hiperdistensão

De maneira quantitativa, analisou-se a densidade dos pixels das escalas de cinzas em intervalos, considerando 0 preto e 255 brancos e utilizando-se a regressão linear para tais análises. Quando foram comparados o número de linhas de hiperdistensão e a densidade de tons de cinza de 0-50 (preto) (Gráfico 12), encontrou-se uma correlação estatisticamente significativa com maior número de pixels desta faixa quanto maior foi o número de linhas H, $p = 0,004$, $R=0,229$. Comparou-se incidência de linhas H com a densidade de pixels na faixa de 201-250 (branco), também, por meio da regressão linear. Os resultados não foram estatisticamente significativos, na última, com $p= 0.368$ e $R= 0,073$.

Gráfico 13 - Densidade de pixels em comparação com a contagem número de linhas A em diferentes faixas da escala de cinza

Avaliação da diminuição progressiva do espaço subcutâneo à medida que se aumentam os valores de PEEP

Ao analisar a espessura do espaço subcutâneo, houve redução progressiva e significativa da espessura do espaço intercostal em cada nível de PEEP, de 4 até 20 cmH₂O ($p = 0,001$), como visto no Gráfico 13. Quando se comparou pacientes anestesiados com pacientes acordados, a anestesia induziu uma diminuição pequena, mas significativa, na espessura do espaço intercostal ($p = 0,02$).

Gráfico 14 - Relação entre a distância da linha pleural e a pele em diferentes níveis da PEEP

6 DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

Na prática clínica diária, as complicações pulmonares relacionadas ao procedimento cirúrgico são comuns, aumentando a morbidade e mortalidade dos pacientes. A ponderação do risco de complicações é um importante passo da avaliação pré-operatória. No entanto uma das limitações para uma abordagem rápida e precisa dessas complicações é a falta de métodos diagnósticos que possam ser utilizados no perioperatório, desse modo, tornando a avaliação difícil e pouco prática.

Por ser uma técnica nova e ainda não bem difundida, a LUS encontra inúmeras barreiras que transpõem o desconhecimento. O desenho deste estudo, inicialmente, pretendia avaliar a atelectasia pulmonar em comparação com a TIE. Todavia, durante a aquisição das imagens e somente devido à presença de um aparelho que fornecia os resultados em porcentagem de hiperdistensão (TIE), foi possível inferir e identificar um artefato pulmonar desconhecido até o momento.

O principal resultado deste estudo é que a LUS pode detectar um artefato que sugere hiperdistensão pulmonar em pacientes com parênquima pulmonar normal. Acredita-se que, inflando o pulmão além da sua capacidade normal (hiperdistendendo), promove-se a aproximação das pleuras parietal e visceral, com isso, simulando uma superfície mais espessa na qual o som emitido pelo dispositivo ultrassonográfico produz ecos maiores do que os produzidos comumente no parênquima pulmonar, então, formando esses artefatos que foram denominados de linhas H.

O número de linhas H (linhas horizontais em empilhamento paralelas à linha pleural) aumenta linearmente com o aumento da PEEP, e mais de cinco linhas H foi um bom marcador de hiperdistensão pulmonar, conforme valor de corte para tal, definido previamente pela TIE. Para que a contagem de linhas H seja válida, necessita-se de uma região pulmonar normalmente aerada sem derrame pleural, linhas B ou consolidação.

A correlação da contagem de linhas H, o nível PEEP e a hiperdistensão pulmonar pela TIE é estreita e significativa estatisticamente. Sugere-se que o aumento da aeração pulmonar aumente o número de artefatos horizontais emitidos a partir da linha pleural em regiões pulmonares normalmente aeradas. Provavelmente, essa aeração aumentada tenha causado uma alteração morfológica detectada pelo ultrassom, associado a uma deficiência mecânica detectada pela TIE. Esse resultado constitui a base para a avaliação da ultrassonografia na hiperdistensão pulmonar e a identificação de um limiar acima do qual a possibilidade de

hiperdistensão pulmonar se torne provável, em pacientes com pulmão normal. Podendo ser utilizado futuramente, em outros estudos, como ponto de partida para a investigação.

No presente estudo, utilizou-se a TIE como método de referência para hiperdistensão e colapso pulmonar. A TIE oferece a possibilidade de avaliar e monitorizar a conformidade regional ao medir a variação da impedância torácica e inferir a mudança regional do volume pulmonar. Calculam-se essas alterações dividindo-se a variação da impedância elétrica torácica pela diferença entre a pressão da via aérea e a PEEP.

Na TIE, a conformidade regional diminui, quando o PEEP diminui, fazendo com que as pressões transpulmonares expiratórias locais aproximem-se de zero, gerando o colapso alveolar. Por outro lado, a conformidade regional também diminui quando a PEEP é muito alta, produzindo pressões transpulmonares expiratórias excessivas ($> 10 \text{ cmH}_2\text{O}$) e hiperdistensão do parênquima pulmonar. O *software* da TIE calcula esse segundo fenômeno, ou seja, a perda de conformidade causada pela hiperdistensão (descontando o efeito do colapso pulmonar), dessa forma, mostrando que são prevalentes em regiões pulmonares periféricas não dependentes, às vezes coexistindo com colapso pulmonar.

Conforme se observa nos Gráficos 2 e 10, definiu-se arbitrariamente os limiares de hiperdistensão e colapso, pois não existiam limites predefinidos na literatura e era necessário partir de um número. Nesse sentido, calculou-se o ponto de corte para hiperdistensão na TIE utilizando-se a PEEP, 2 cmH_2O acima da PEEP de melhor complacência, calculada pela mediana dos 18 pacientes. De maneira semelhante, calculou-se o ponto de corte para o colapso na TIE utilizando-se a PEEP, 2 cmH_2O acima da PEEP de melhor complacência, calculada pela mediana dos 18 pacientes.

A melhor complacência calculada foi com a PEEP de 12 cmH_2O . Utilizou-se, então, o valor correspondente em porcentagem, na TIE, as PEEPs de 14 cmH_2O para hiperdistensão (24,5%) e 10 cmH_2O para colapso alveolar (7,4%), como ponto de corte.

Ao avaliar a complacência da TIE, percebeu-se que quase a metade dos pacientes reduzia a complacência pulmonar de maneira acentuada com PEEP igual a 14 cmH_2O . Provavelmente, com a PEEP igual a 14 cmH_2O , a maioria dos pacientes já tenha apresentado algum grau de hiperdistensão nos níveis da PEEP bem abaixo desse limiar. Convenientemente, no entanto, o número de linhas H começou a exceder 5 somente depois de exceder o limite de 24,5% de hiperdistensão na TIE (o que indica que aproximadamente um quarto da capacidade pulmonar (potencial) já estava comprometida pela hiperdistensão).

Em 17 dos 18 pacientes, o limiar da ultrassonografia para hiperdistensão variou entre 6 e 9 linhas H. Considerando-se este limiar, a área sob a curva ROC foi de 0,947, atestando a alta sensibilidade e especificidade do método na detecção dessa condição clínica.

A contagem de linhas H pode ser dependente do operador e influenciada pelo conhecimento da PEEP aplicada. No entanto o presente estudo testou a variabilidade intra e interobservador e demonstrou claramente uma baixa variabilidade, coeficientes kappa acima de 0,75. Isso permanece verdadeiro quando o operador não tem conhecimento do PEEP aplicado.

No tocante à hipótese de que o pulmão empurra a pleura quando se utiliza PEEPs elevadas, a análise da espessura do espaço subcutâneo demonstrou redução progressiva e significativa com o aumento progressivo da PEEP, de 4 até 20 cmH₂O ($p = 0,001$). Além disso, os pacientes anestesiados e em ventilação mecânica também revelam uma diminuição do espaço subcutâneo quando comparados aos mesmos indivíduos acordados.

Em adição aos dados já discutidos, estudou-se ainda os efeitos do colapso pulmonar medido pela TIE e sua correlação com a ultrassonografia. De maneira não surpreendente, 25% dos pacientes possuíam atelectasias regionais antes do início da anestesia e em ventilação espontânea. E todos os pacientes, ao final do procedimento, possuíam algum grau de atelectasia (dados semelhantes aos da literatura disponível).

Na titulação da PEEP, com redução progressiva de 2 em 2 cmH₂O, a partir da PEEP de 20 cmH₂O, o aparecimento do colapso pulmonar estava associado com o aparecimento de linhas B, que, com a progressão do colapso, podem tornar-se coalescentes ou aumentar em número. No entanto isso nem sempre aconteceu na amostra em análise. Observou-se que, muitas vezes, deu-se uma progressão do aparecimento de linhas B isoladas para a formação de colapso subpleural, sem a formação de linhas B coalescentes.

Muito provavelmente o aparecimento precoce dessas linhas B ocorreu devido à sensibilidade aumentada da LUS em detectar artefatos subpleurais. A mínima formação de colapso subpleural produz um artefato exuberante por estar muito próximo à fonte emissora de ondas ultrassonográficas (*probe*), dificultando a propagação do ultrassom regionalmente. À medida que o colapso subpleural aumenta suas proporções e aprofunda-se nas camadas pulmonares mais internas, poderá ser mais visível a imagem de colapso grosseiro no parênquima pulmonar.

Percebeu-se ainda, uma boa correlação da PEEP de melhor complacência e que produziu o menor colapso pela TIE e pela ultrassonografia de tórax. Treze pacientes possuíam

colapso ou linhas B pela LUS, considerando-se 7,4% como significativo para colapso na TIE. Informação que foi corroborada pela análise da curva ROC com AUC = 0,946.

Apesar dos excelentes resultados encontrados, algumas questões causaram incerteza na titulação da PEEP por meio da ultrassonografia, entre elas: 1) os sinais ultrassonográficos de colapso pulmonar não são específicos para o colapso e podem aparecer em outras condições pulmonares; 2) a manobra de recrutamento pulmonar utilizada (pressão inspiratória total de 40cmH₂O) pode não ser suficiente, principalmente em pacientes com sobrepeso/obesidade, para desfazer o colapso completamente, e, nesta situação, serão identificados no ultrassom sinais de colapso em valores da PEEP elevados, que necessariamente não é o valor da PEEP mais adequado para o paciente.

Apesar de se ter contado com três avaliações independentes e com boa concordância entre elas (kappa ponderado 0,88), utilizou-se outra metodologia ao comparar a LUS e a TIE na tentativa de diminuir esses vieses. Realizou-se a análise quantitativa das imagens por meio da avaliação do histograma da escala de cinzas, em cada nível da PEEP. Uma área pulmonar foi delimitada, partindo da pleural e indo em direção ao hilo pulmonar. Padronizou-se essa medida para que todas as imagens contivessem o mesmo número de pixels.

Após a contagem de pixels, agrupou-se esses pixels em cinco faixas: 0-50, 51-100, 101-150, 151-200, 201-250. A formação desses grupos facilitou a análise estatística, com isso, permitindo a categorização de cada faixa. Quanto mais próximo do zero, mais preto; e, de maneira oposta, quanto mais próximo de 250, mais branco.

Ambas as situações, colapso e hiperdistensão foram avaliadas quantitativamente. Inicialmente, analisou-se a correlação do maior número de pontos brancos na imagem ultrassonográfica e o colapso pulmonar e os resultados foram animadores. Individuou-se maior densidade de pontos brancos (faixa da escala de cinzas de 201-250) e de pontos que representavam o parênquima pulmonar (faixa da escala de cinzas de 101-150), quanto maior o colapso medido pela TIE.

Ao avaliar a hiperdistensão, o aumento do número de linhas H estava relacionado ao aumento da densidade de pixels que representavam os pontos “mais pretos” (faixa de 0-50). A cada aumento do número de linhas, havia um aumento correspondente nas densidades de pixels que representam a tonalidade negra e, por consequência, semelhantes ao ar no ultrassom.

Os dados quantitativos possibilitaram diminuir o viés da avaliação qualitativa, traduzindo em números os achados nas imagens da LUS. Esses dados corroboram a hipótese

de que o ultrassom pulmonar é um excelente método para avaliação do colapso e da hiperdistensão pulmonar em pacientes saudáveis, no período intraoperatório.

O presente estudo possui várias limitações importantes. Não foi, inicialmente, desenhado para contar as linhas H nas regiões pulmonares aeradas acessíveis ao exame ultrassonográfico durante o procedimento cirúrgico. Portanto, as imagens gravadas eram às vezes de qualidade inferior, o que complicava a contagem das linhas. Além do mais, o tamanho da amostra não foi calculado para a análise das linhas H, mas sim baseado em um trabalho prévio da análise do colapso pulmonar por meio da LUS. Por isso, preferiu-se tratar este achado como um estudo piloto e um possível estímulo a novos estudos.

As regiões pulmonares anteriores não foram acessadas durante o procedimento cirúrgico, embora sejam bem conhecidas por serem predominantemente envolvidas na hiperdistensão induzida pela ventilação mecânica em pulmões saudáveis. A frequência de emissão da sonda era baixa porque o alvo inicial do estudo era detectar a atelectasia. Uma sonda de frequência de 10-15 mHz, como uma sonda vascular, pode ser mais eficiente para contar as linhas H.

Por último, mas não menos importante, a TIE pode ser considerada o método de referência para avaliar a hiperdistensão pulmonar, mas talvez não consiga avaliar regionalmente os alvéolos hiperdistendidos. A tomografia computadorizada de pulmão, o padrão ouro para hiperdistensão pulmonar, não pode ser usada no perioperatório. Poderia ser usada, no entanto, em pacientes criticamente doentes com intuito de verificar a precisão do método de ultrassom em detectar a hiperdistensão pulmonar. A TIE tem a principal vantagem de não ser invasiva e ser um método viável para o período intraoperatório.

Em suma, apesar das numerosas limitações descritas em precedência, todas impactando negativamente a avaliação dos artefatos de reverberação emitidos a partir da linha pleural, a contagem de linhas H parece estar bem-correlacionada com a hiperdistensão medida pela TIE. Além disso, a ultrassonografia parece prever, com boa fidedignidade, a PEEP com menor colapso e menor hiperdistensão. O que sugere que o método possa ser utilizado em todos os ambientes hospitalares e pré-hospitalares, usando a sonda convexa clássica de baixa frequência que geralmente serve para ultrassom pulmonar em unidades de terapia intensiva. Neste estudo, mais de cinco linhas H detectadas em uma região pulmonar, normalmente aerada, sugeriram fortemente hiperdistensão pulmonar. Estudos adicionais são necessários para confirmar estes achados.

7 CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

O principal resultado deste estudo foi que a LUS é capaz de detectar o colapso pulmonar quando comparada à TIE. A LUS é um método de fácil execução e com boa reprodutibilidade. Além disso, descobriu-se, ao longo da coleta de dados, que a LUS poderia detectar um artefato que sugere hiperdistensão pulmonar em pacientes com parênquima pulmonar normal. O número de linhas H, que aumenta linearmente com PEEP e mais de cinco linhas A, foi um bom marcador de hiperdistensão pulmonar, de acordo com o definido pela TIE. A contagem de linhas H requer uma região pulmonar normalmente aerada sem derrame pleural, linhas B ou consolidação.

A compreensão da avaliação perioperatória adequada acerca da possibilidade de formação de hiperdistensão permite à equipe médica escolher, de maneira adequada, a melhor estratégia ventilatória. Acredita-se que o estudo aprofundado do ultrassom pulmonar possa contribuir cada vez mais para a descoberta de novos "artefatos". Assim, como os outros artefatos previamente descritos, as linhas H empilhadas possuem correlação com a porcentagem de hiperdistensão do pulmão, além de serem fáceis de identificar.

REFERÊNCIAS

1. Brooks-Brunn JA. Predictors of postoperative pulmonary complications following abdominal surgery. *Chest*. 1997;111(3):564-71.
2. Moller JT, Johannessen NW, Berg H, Espersen K, Larsen LE. Hypoxaemia during anaesthesia - An observer study. *Br J Anaesth* [Internet]. 1991;66(4):437-44. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0025780284&partnerID=tZOtx3y1>
3. Radke OC, Schneider T, Heller AR, Koch T. Spontaneous Breathing during General Anesthesia Prevents the Ventral Redistribution of Ventilation as Detected by Electrical Impedance Tomography. *Anesthesiology* [Internet]. 2012;116(6):1227-34. Disponível em: <http://anesthesiology.pubs.asahq.org/Article.aspx?doi=10.1097/ALN.0b013e318256ee08>
4. Malbouisson LMS, Humberto F, Rodrigues RDR, Carmona MJC, Auler Jr. JOC. Atelectasias durante anestesia: fisiopatologia e tratamento. *Rev Bras Anesthesiol*. 2008;58(1):73-83.
5. Hedenstierna G, Edmark L. Effects of anesthesia on the respiratory system. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet]. 2015;29(3):273-84. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2015.08.008>
6. Rothen HU, Neumann P, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson a, Hedenstierna G. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth*. 1999;82(4):551-6.
7. Kavanagh BP. Perioperative atelectasis. *Minerva Anesthesiol*. 2008;74(6):285-7.
8. Pfeilsticker FJ do A, Neto AS. ‘Lung-protective’ ventilation in acute respiratory distress syndrome: Still a challenge? *J Thorac Dis*. 2017;9(8):2238-41.
9. Tusman G, Böhm SH, Tempra A, Melkun F, García E, Turchetto E, et al. Effects of Recruitment Maneuver on Atelectasis in Anesthetized Children. *Anesthesiology*. 2003;98(1):14-22.
10. Ladha K, Vidal Melo MF, 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* [Internet]. 2015;h3646. Disponível em: <http://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.h3646>
11. Futier E, Constantin J-M, 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* [Internet]. 2013;369(5):428-37. Disponível em: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoA1301082>
12. Serpa Neto A, Filho RR, Cherpanath T, Determann R, Dongelmans DA, Paulus F, et al. Associations between positive end-expiratory pressure and outcome of patients

without ARDS at onset of ventilation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Ann Intensive Care*. 2016;6(1).

13. Meira MNC, Carvalho CRR, Galizia MS, Borges JB, Kondo MM, Zugaib M, et al. Atelectasis observed by computerized tomography after Caesarean section. *Br J Anaesth*. 2010;104(6):746-50.
14. 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):1132-7.
15. Costa EL, Chaves CN, Gomes S, Beraldo MA, Volpe MS, Tucci MR, et al. Real-time detection of pneumothorax using electrical impedance tomography. *Crit Care Med* [Internet]. 2008;36(4):1230-8. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18379250>
16. Victorino JA, Borges JB, Okamoto VN, Matos GFJ, Tucci MR, Caraméz MPR, et al. Imbalances in Regional Lung Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2004;169:791-800. Disponível em: http://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/rccm.200301-133OC?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub=pubmed#.VTzRPCHtlBc
17. A. Lichtenstein D, Mauriat P. Lung Ultrasound in the Critically Ill Neonate. *Curr Pediatr Rev* [Internet]. 2012;8(3):217-23. Disponível em: <http://www.eurekaselect.com/openurl/content.php?genre=article&issn=1573-3963&volume=8&issue=3&spage=217>
18. Lichtenstein D, Axler O. Intensive use of general ultrasound in the intensive care unit. *Intensive Care Medicine*. 1993;353-5.
19. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J-J. Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *VI Clin Investig Anesthesiol*. 2004;100(1):9-15.
20. Cavaliere F, Biasucci D, Costa R, Soave M, Addabbo G, Proietti R. Chest ultrasounds to guide manual reexpansion of a postoperative pulmonary atelectasis: A case report. *Minerva Anesthesiol*. 2011;77(7):750-3.
21. Elia F, Verhovez A, Molino P, Ferrari G, Aprà F. Lung ultrasound in the reexpansion of pulmonary atelectasis. *Intern Emerg Med*. 2011;6(5):461-3.
22. Lovrenski J. Lung ultrasonography of pulmonary complications in preterm infants with respiratory distress syndrome. *Ups J Med Sci*. 2012;117(1):10-7.
23. Karabinis A, Saranteas T, Karakitsos D, Lichtenstein D, Poularas J, Yang C, et al. The 'cardiac-lung mass' artifact: An echocardiographic sign of lung atelectasis and/or pleural effusion. *Crit Care*. 2008;12(5):1-6.
24. Karacabey S. Use of ultrasonography for differentiation between bullae and pneumothorax. *Emerg Radiol*. 2018;9(3):1-6.

25. Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram: A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest*. 2009;135(6):1421-5.
26. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134(1):117-25.
27. Lopes PCF, Nunes N. Atelectasia pulmonar em cães durante anestesia geral. *Ciência Rural*. 2010;40(1):246-53.
28. Gargani L. Lung ultrasound: A new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound [Internet]*. 2011;9(1):6. Disponível em: <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/9/1/6>
29. Pietersen PI, Madsen KR, Graumann O, Konge L, Nielsen BU, Laursen CB. Lung ultrasound training: a systematic review of published literature in clinical lung ultrasound training. *Crit Ultrasound J [Internet]*. 2018;10(23):1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13089-018-0103-6>
30. Zechner PM, Seibel A, Aichinger G, Steigerwald M, Dorr K, Scheiermann P, et al. Lungensonographie in der akut- und intensivmedizin. *Anaesthesist*. 2012;61(7):608-17.
31. Duggan M, Kavanagh BP. Atelectasis in the perioperative patient. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2007;20(1):37-42.
32. Scarlata S, Bartoli IR, Pedone C, Incalzi RA. Obstructive atelectasis of the lung. *Postgrad Med J*. 2016;92(1088):365.
33. Restrepo RD, Braverman J. Expert Review of Respiratory Medicine Current challenges in the recognition, prevention and treatment of perioperative pulmonary atelectasis Current challenges in the recognition, prevention and treatment of perioperative pulmonary atelectasis. *Expert Rev Respir Med [Internet]*. 2015;9(1):97-107. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ierx20%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1586/17476348.2015.996134>
34. Langeron O, Carreira S, le Saché F, Raux M. Postoperative pulmonary complications updating. *Ann Fr Anesth Reanim [Internet]*. 2014;33(7-8):480-3. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0750765814009903>
35. Tusman G, Böhm SH, Warner DO, Sprung J. Atelectasis and perioperative pulmonary complications in high-risk patients. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2012;25(1):1-10.
36. Dominguez MC, Alvares BR. Pulmonary atelectasis in newborns with clinically treatable diseases who are on mechanical ventilation: clinical and radiological aspects. 2018;51(4):20-5.
37. Volpicelli G, Ricci L, Poliotto S, Acosta CM, Tusman G, Abrego D, et al. Lung recruitment prevents collapse during laparoscopy in children A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2017;1-8.
38. Agostini P, Naidu B, Cieslik H, Rathinam S, Bishay E, Kalkat MS, et al. Comparison of recognition tools for postoperative pulmonary complications following thoracotomy.

- Physiotherapy [Internet]. 2011;97(4):278-83. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physio.2010.11.007>
39. Magnusson L. New concepts of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth*. 2003;91(1):61-72.
 40. Martínez G, Cruz P. Atelectasias en anestesia general y estrategias de reclutamiento alveolar. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* [Internet]. 2008;55:493-503. Disponível em: https://www.sedar.es/vieja/restringido/2008/n8_2008/7.pdf
 41. Hedenstierna G, Edmark L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet]. 2010;24(2):157-69. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2009.12.002>
 42. Possa SS, Amador CB, Costa AM, Sakamoto ET, Kondo CS, Vasconcellos ALM, et al. Implementation of a guideline for physical therapy in the postoperative period of upper abdominal surgery reduces the incidence of atelectasis and length of hospital stay. *Rev Port Pneumol* [Internet]. 2014;20(2):69-77. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rppneu.2013.07.005>
 43. Hartland BL, Newell TJ, Damico N. Alveolar Recruitment Maneuvers Under General Anesthesia: A Systematic Review of the Literature. *Respir Care* [Internet]. 2015;60(4):609-20. Disponível em: <http://rc.rcjournal.com/cgi/doi/10.4187/respcare.03488>
 44. Meyhoff CS, Staehr AK, Rasmussen LS. Rational use of oxygen in medical disease and anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2012;25(3):363-70.
 45. Coussa M, Proietti S, Schnyder P, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, et al. Prevention of Atelectasis Formation During the Induction of General Anesthesia in Morbidly Obese Patients. *Anesth Analg* [Internet]. 2004;1491-5. Disponível em: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00000539-200405000-00054>
 46. Hedley-Whyte J. Intraabdominal Surgery and Anesthesia Management. *Anesthesiology*. 2017;126(3):543-6.
 47. Tusman G, Acosta CM, Böhm SH, Waldmann AD, Ferrando C, Marquez MP, et al. Postural lung recruitment assessed by lung ultrasound in mechanically ventilated children. *Crit Ultrasound J*. 2017;
 48. Maggio D, Sadowitz B, Vieau C, Albert SP, Kubiak BD, Roy S, et al. Titration of mean airway pressure and FiO₂ during high frequency oscillatory ventilation in a porcine model of acute lung injury. *J Surg Res* [Internet]. 2010;164(1):e147-53. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2010.07.002>
 49. Serpa Neto A, Schultz MJ, Gama de Abreu M. Intraoperative ventilation strategies to prevent postoperative pulmonary complications: Systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet]. 2015;29(3):331-40. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1521689615000609>
 50. Cereda M, Xin Y, Kadlecsek S, Hamedani H, Rajaei J, Clapp J, et al. Hyperpolarized

gas diffusion MRI for the study of atelectasis and acute respiratory distress syndrome. *NMR Biomed.* 2014;27(12):1468-78.

51. Edmark L, Auner U, Hallén J, Lassinantti-Olowsson L, Hedenstierna G, Enlund M. A ventilation strategy during general anaesthesia to reduce postoperative atelectasis. *Ups J Med Sci.* 2014;119(3):242-50.
52. Gonçalves LO, Cicarelli DD. Alveolar recruitment maneuver in anesthetic practice: how, when and why it may be useful. *Rev Bras Anesthesiol.* 2005;55(6):631-8.
53. Dominique Bruins S, Meng Choo Leong P, Yi Ng S. Retrospective review of critical incidents in the post-anaesthesia care unit at a major tertiary hospital ONLINE FIRST PUBLICATION. *Singapore Med J [Internet].* 2016;58(8):1-15. Disponível em: <http://www.smj.org.sg/online-first>
54. Rouby JJ, Lu Q, Goldstein I. Selecting the right level of positive end-expiratory pressure in patients with acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;165(8):1182-6.
55. 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.
56. Hess DR. Recruitment Maneuvers and PEEP Titration. *Respir Care [Internet].* 2015;60(11):1688-704. Disponível em: <http://rc.rcjournal.com/cgi/doi/10.4187/respcare.04409>
57. Lohser J, Slinger P. Lung injury after one-lung ventilation: A review of the pathophysiologic mechanisms affecting the ventilated and the collapsed lung. *Anesth Analg.* 2015;121(2):302-18.
58. Stefanidis K, Dimopoulos S, Tripodaki E-S, Vitzilaios K, Politis P, Piperopoulos P, et al. Lung sonography and recruitment in patients with early acute respiratory distress syndrome: A pilot study. *Crit Care [Internet].* 2011;15(4):R185. Disponível em: <http://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/cc10338>
59. Colmenero M, García-Delgado M, Navarrete I, López-Milena G. Utilidad de la ecografía pulmonar en la unidad de medicina intensiva. *Med Intensiva.* 2010;34(9):620-8.
60. Leopoldo F, Neto D, De Tarso P, Dalcin R, Teixeira C, Gabe F, et al. Ultrassom pulmonar em pacientes críticos: uma nova ferramenta diagnóstica* Lung ultrasound in critically ill patients: a new diagnostic tool. *J Bras Pneumol.* 2012;38(2):246-256.
61. Beaubien-souligny W. Point-of-care ultrasound in end-stage kidney disease : beyond lung ultrasound. *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2018;27(00):1-10.
62. Corradi F, Brusasco C, Garlaschi A, Paparo F, Ball L, Santori G, et al. Quantitative analysis of lung ultrasonography for the detection of community-acquired pneumonia: A pilot study. *Biomed Res Int.* 2015;2015.

63. Sartori S, Tombesi P. Emerging roles for transthoracic ultrasonography in pulmonary diseases. *World J Radiol.* 2010;2(6):203-14.
64. Lisciandro GR, Fosgate GT, Fulton RM. Frequency and number of ultrasound lung rockets (B-lines) using a regionally based lung ultrasound examination named Vet BLUE (veterinary bedside lung ultrasound exam) in dogs with radiographically normal lung findings. *Vet Radiol Ultrasound.* 2014;55(3):315-22.
65. Bello G, Blanco P. Lung Ultrasonography for Assessing Lung Aeration in Acute Respiratory. 2018;0:1-11.
66. Yu X, Zhai Z, Zhao Y, Zhu Z, Tong J, Yan J, et al. Performance of Lung Ultrasound in Detecting Peri-Operative Atelectasis after General Anesthesia. *Ultrasound Med Biol.* 2016;42(12):2775-84.
67. Tusman G, Acosta CM, Nicola M, Esperatti M, Bohm SH, Suarez-Sipmann F. Real-time images of tidal recruitment using lung ultrasound. *Crit Ultrasound J.* 2015;7(1):1-4.
68. Zanatta M, Benato P, Battisti S De, Pirozzi C, Ippolito R, Cianci V. Pre - hospital lung ultrasound for cardiac heart failure and COPD : is it worthwhile ? *Crit Ultrasound J* [Internet]. 2018;1-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13089-018-0104-5>
69. Bouhemad B, Mongodi S, Via G, Rouquette I. Ultrasound for “Lung Monitoring” of Ventilated Patients. *Anesthesiology* [Internet]. 2015;122(2):437-47. Disponível em: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00000542-201502000-00034>
70. Puybasset L, Cluzel P, Chao NAN, Slutsky AS, Coriat P, Rouby J, et al. A Computed Tomography Scan Assessment of Regional Lung Volume in Acute Lung Injury. i.
71. Tulla H, Takala J, Alhava E, Hendolin H, Manninen H, Kari A, et al. Does the anesthetic method influence the postoperative breathing pattern and gas-exchange in hip-surgery - a comparison between general and spinal-anesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1992;36(16):101-5.
72. Malbouisson L, Muller J-C, Constantin J-M, Lu QIN, Puybasset L, Rouby J-J. Computed Tomography Assessment of Positive End-expiratory Pressure-induced Alveolar Recruitment in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2001;163(6):1444-50. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.163.6.2005001>
73. Caltabeloti F, Monsel A, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Gu W-J, et al. Early fluid loading in acute respiratory distress syndrome with septic shock deteriorates lung aeration without impairing arterial oxygenation: a lung ultrasound observational study. *Crit Care* [Internet]. 2014;18(3):R91. Disponível em: <http://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/cc13859>
74. Andersson B, Lundin S, Lindgren S, Stenqvist O, Hergã O. End-expiratory lung volume and ventilation distribution with different continuous positive airway pressure systems in volunteers. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2011;55(2):157-64.

75. Gong B, Krueger-Ziolek S, Moeller K, Schullcke B, Zhao Z. Electrical impedance tomography: Functional lung imaging on its way to clinical practice? *Expert Rev Respir Med*. 2015;9(6):721-37.
76. Durand P, Luca D De, Tissieres P. What's new in lung ultrasound in the critically ill or injured child. *Intensive Care Med* [Internet]. 2018;00(8):9-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5356-9>
77. Rocha G, Soares P, Silva AI, Almeida D, Figueiredo S, Pissarra S, et al. Respiratory Care for the Ventilated Neonate. *Canadian Respiratory Journal*. 2018;8(12):1-12.
78. Cagini L, Andolfi M, Becattini C, Ranalli MG, Bartolucci F, Mancuso A, et al. Bedside sonography assessment of extravascular lung water increase after major pulmonary resection in non-small cell lung cancer patients. *F Thorac Dis*. 2018;10(7):4077-84.
79. Chiappetta M, Cesario EA, Smargiassi A, Inchingolo R, Ciavarella LP, Lopatriello S, et al. Postoperative Chest Ultrasound Findings and Effectiveness After Thoracic Surgery : a pilot study TAG ed N. *Ultrasound in Med. & Biol*. 2018;44(9):1960-7.
80. Xirouchaki N, Kondili E, Prinianakis G, Malliotakis P, Georgopoulos D. Impact of lung ultrasound on clinical decision making in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2014;40(1):57-65.
81. Touw HRW, Tuinman PR, Gelissen HPMM, Lust E, Elbers PWG. Lung ultrasound: Routine practice for the next generation of internists. *Neth J Med*. 2015;73(3):100-7.
82. Trovato GM, Sperandeo M. The resistible rise of B-line lung ultrasound artefacts. *Respiration*. 2015;89(2):175-6.
83. Girard M, Gnreux V, Monastesse A. Lung Ultrasonography for the Detection of Anesthesia-induced Lung Atelectasis. *Anesthesiology* [Internet]. 2015;122(1):213-4. Disponível em: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00000542-201501000-00039>
84. Imber DA, Pirrone M, Zhang C, Fisher DF, Kacmarek RM, Berra L. Respiratory Management of Perioperative Obese Patients. *Respir Care* [Internet]. 2016;61(12):1681-92. Disponível em: <http://rc.rcjournal.com/cgi/doi/10.4187/respcare.04732>
85. Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D, Belaunzarn A, Cereceda S, Rae E, et al. Accuracy of transthoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children. *Anesthesiology*. 2014;120(6):1370-9.
86. Trovato GM, Sperandeo M. Sounds, ultrasounds, and artifacts: Which clinical role for lung imaging? *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187(7):780-1.
87. Martelius L, Svari L, Janr C, Helve O, Kaskinen A, Kirjavainen T, et al. Lung Ultrasound and Static Lung Compliance during Postnatal Adaptation in Healthy Term Infants. *Neonatology*. 2015;108(4):287-92.
88. Sperandeo M, Rotondo A, Guglielmi G, Catalano D, Feragalli B, Trovato GM.

Transthoracic ultrasound in the assessment of pleural and pulmonary diseases: Use and limitations. *Radiol Medica*. 2014;119(10):729-40.

89. Jakobson, DJ; Yellin, A; Yagil, Y; Bar-Shai, A. Bellows sign: A novel sonographic sign for the detection of segmental atelectasis. *Am J Emerg Med*. 2018;(2017):2017-9.
90. Rademacher N, Pariaut R, Pate J, Saelinger C, Kearney MT, Gaschen L. Transthoracic lung ultrasound in normal dogs and dogs with cardiogenic pulmonary edema: A pilot study. *Vet Radiol Ultrasound*. 2014;55(4):447-52.
91. Volpicelli G. Point-of-care lung ultrasound. *Praxis*. 2014;103(12):711-6.
92. Cavaliere F, Zamparelli R, Soave MP, Gargaruti R, Scapigliati A, De Paulis S. Ultrasound artifacts mimicking pleural sliding after pneumonectomy. *J Clin Anesth* [Internet]. 2014;26(2):131-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclinane.2013.09.011>
93. Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound lung comets: A clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19(3):356-63.
94. Prina E, Leite Vieira Costa E, Tavares Ranzani O, Gomes S, Ribeiro De Santis Santiago R, Nakamura M, et al. PEEP titration with lung ultrasound and electrical impedance tomography in an ARDS animal model. *Eur Respir J* [Internet]. 2014;44(Suppl 58):8-9. Disponível em: http://erj.ersjournals.com/content/44/Suppl_58/P4892.short
95. Erdfelder E, FAul F, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009;41(4):1149-60.
96. Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G* Power: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* [Internet]. 2007;39(2):175-91. Disponível em: <http://www.gpower.hhu.de/>

ANEXO 1 – FICHA DE ANÁLISE ULTRASSONOGRÁFICA

Ficha para análise de imagens – USG e PEEP

Nome do sujeito: _____

Avaliador: _____

PEEP	Linhas B		Outros achados	Tímel
	sim	Não		
Pré indução				
Pós IOT				
20				
18				
16				
14				
12				
10				
8				
6				
4				

1. 1	2. H
3. 2	4. N
5. 3	6. B1
7. 4	8. B2
9. 5	10. C

ANEXO 3 – FICHA DE ANÁLISE DAS LINHAS H AVALIADOR NÃO CEGO

NOME DO PACIENTE: _____

PEEP	PRESENÇA DE LINHAS H	NÚMERO DE LINHAS H	OUTROS ACHADOS
20			
18			
16			
14			
12			
10			
8			
6			
4			