

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL – CPGEI

CARMEN CAROLINE RASERA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PRESSÃO DE DIÓXIDO DE
CARBONO EXPIRADO POR CAPNOGRAFIA COMO ÍNDICE
PREDITIVO DE SUCESSO NA RETIRADA DA VENTILAÇÃO
MECÂNICA INVASIVA EM PEDIATRIA**

TESE

CURITIBA
2015

CARMEN CAROLINE RASERA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA PRESSÃO DE DIÓXIDO DE
CARBONO EXPIRADO POR CAPNOGRAFIA COMO ÍNDICE
PREDITIVO DE SUCESSO NA RETIRADA DA VENTILAÇÃO
MECÂNICA INVASIVA EM PEDIATRIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências – Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr

CURITIBA
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R224a Rasera, Carmen Caroline
2015 Análise quantitativa da pressão de dióxido de carbono expirado por capnografia como índice preditivo de sucesso na retirada da ventilação mecânica invasiva em pediatria / Carmen Caroline Rasera.-- 2015.
155 p.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2015.
Bibliografia: p. 125-143.

1. Capnografia. 2. Desmame do respirador. 3. Dióxido de carbono. 4. Respiração artificial. 5. Unidade de tratamento intensivo. 6. Tratamento intensivo neonatal. 7. Engenharia biomédica. 8. Engenharia elétrica - Teses. I. Gewehr, Pedro Miguel, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. III. Título.

CDD 22 -- 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Título da Tese Nº. 109

Análise Quantitativa da Pressão de Dióxido de Carbono Expirado por Capnografia como Índice Preditivo de Sucesso na Retirada da Ventilação Mecânica Invasiva em Pediatria

por

Carmen Caroline Raser

Orientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr

Esta tese foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de DOUTOR EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Engenharia Biomédica, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, às 13h30min do dia 20 de março de 2015. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos doutores:

Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr
(Presidente – UTFPR)

Profª. Drª. Vera Lúcia da Silveira Nantes Button
(UNICAMP)

Profª. Drª. Silvia Regina Valderramas
(UFPR)

Prof. Dr. Bertoldo Schneider Junior
(UTFPR)

Prof. Dr. Sérgio Francisco Pichorim
(UTFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Emilio Carlos Gomes Wille, Dr.
(Coordenador do CPGEI)

Dedico esta tese primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível.

Ao meu esposo, pelo apoio incondicional, compreensão e motivação.

Ao meu filho Lucas, o qual começou a ser formado durante este processo e que deu um significado completamente novo a minha vida.

À minha família pelo incentivo e confiança demonstrada.

Ao meu orientador pela disposição em ensinar e paciência demonstrada no decorrer do trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Pedro Miguel Gewehr, por apoiar e acreditar no meu projeto e principalmente por topar esta empreitada comigo.

Agradeço a fisioterapeuta Adriana Maria Trevisan Domingues pelas inúmeras discussões, pelas sugestões, pelo companheirismo e pelo incentivo.

A todos os pacientes do Hospital Pequeno Príncipe que participaram voluntariamente neste projeto.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de doutorado concedida para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço aos meus familiares, em especial meus pais, pelo apoio, auxílio e incentivo constantes.

E, por fim, as duas maiores paixões da minha vida: o meu filho Lucas, o qual começou a ser formado durante este processo e que me ajudou a manter a calma e a tranquila nesses últimos anos e, ao meu esposo, agradeço o seu apoio, dedicação, compreensão e incentivo durante toda a nossa convivência.

RESUMO

RASERA, Carmen Caroline. Análise quantitativa da pressão de dióxido de carbono expirado por capnografia como índice preditivo de sucesso na retirada da ventilação mecânica invasiva em pediatria. 2015. 156 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Curitiba, 2015.

A ventilação mecânica invasiva (VMI) corresponde a uma das intervenções mais comuns dentro das Unidades de Terapia Intensiva. Durante o período de internação, aproximadamente 30% dos pacientes experimentam dificuldades na remoção do suporte ventilatório, necessitando de VMI por um período prolongado. Atualmente, a decisão de extubar os pacientes é tomada com base na experiência clínica da equipe médica e em critérios pouco objetivos, o que torna a remoção da VMI uma ação de tentativa e erro. A análise da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) através da capnografia é um método contínuo, não invasivo e permite avaliar a ventilação pulmonar durante todo o ciclo respiratório. Mesmo havendo numerosas indicações da necessidade de mensuração da PetCO₂, o capnógrafo não é utilizado durante o processo de desmame da VMI. Assim, o objetivo principal deste estudo foi analisar de forma quantitativa a PetCO₂ e os índices extraídos do capnograma em pacientes recém-nascidos e pediátricos, como índice preditivo de sucesso na extubação da VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca. Inicialmente, o desempenho do capnógrafo, utilizado neste trabalho, foi comparado com outros dois equipamentos de capnografia comercializados e obteve: altos índices de correlação ($r = 0,994$ e $0,975$; $p < 0,001$), e uma média de diferença obtida no teste de Bland-Altman de $-0,56$ e -1 mmHg, comprovando a sua aplicação com segurança e acurácia. Na segunda etapa, a amostra composta de 254 pacientes foi avaliada durante a pré e pós-extubação da VMI. Houve sucesso na extubação em 70,47% (179) e falha em 29,53% (75), sendo necessário retornar o paciente à prótese ventilatória dentro de um período de 48 horas após a extubação. Comparando-se o grupo de pacientes em que houve sucesso com o grupo em que houve falha, foi encontrada diferença estatística significativa ($p < 0,001$) quanto à idade (15,51 *versus* 3,16 meses), peso (8,17 *versus* 4,5 kg) e tempo de ventilação mecânica (2,34 *versus* 6,3 dias). Em relação aos parâmetros ventilatórios, não houve diferença significativa para os valores de PetCO₂ e pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) entre os dois grupos (sucesso e falha). A análise de *Receiver Operating Characteristic* (ROC) mostrou que os valores de PaCO₂ e PetCO₂ apresentaram uma baixa sensibilidade e especificidade para predizer a falha na extubação. No entanto, o índice P(a-et)CO₂ apresentou diferença significativa entre os grupos sucesso e falha da extubação (0,42 *versus* 1,27 mmHg, $p < 0,001$) no período pré-extubação e apresentou uma área sob a curva (*area under curve* – AUC) de 0,707, que indica um desempenho aceitável para discriminar o desfecho na extubação. Além disso, oito índices extraídos do capnograma apresentaram diferença significativa entre ambos os grupos ($p < 0,001$), valores de AUC superiores a 0,8 e uma alta sensibilidade e especificidade para predizer a falha na extubação, indicando uma excelente discriminação entre os grupos com elevada significância clínica, sendo eles: tempo expiratório, tempo total do ciclo respiratório, *slope* 1, *slope* 2, *slope ratio*, ângulo α , ângulo ascendente e de inclinação. O estudo mostrou que a análise dos parâmetros ventilatórios é relevante no processo de retirada do paciente da prótese ventilatória, aumentando a segurança da equipe interprofissional quanto à decisão de extubar ou não um paciente.

Palavras-Chave: Capnografia. Desmame do Respirador. Dióxido de carbono. Ventilação mecânica. Unidade de terapia intensiva.

ABSTRACT

RASERA, Carmen Caroline. Quantitative analysis of the expired carbon dioxide pressure by capnography as a predictive index of success in the extubation of invasive mechanical ventilation in pediatrics. 2015. 156 f. Thesis (Graduate Program in Electrical and Computer Engineering of the Federal University of Technology – Parana). Curitiba, 2015.

Invasive mechanical ventilation (IMV) corresponds to one of the most common intervention in the intensive care unit; approximately 30% of hospitalized patients have difficulty in the removal of ventilatory support requiring IMV for a prolonged period. Currently, the decision to extubate patients is based on clinical experience of the medical staff and in poor criteria, which makes the decision for IMV removal harder. The analysis of end-tidal carbon dioxide pressure (PetCO₂) by capnography is a continuous method, noninvasive and capable to evaluate the ventilation during the entire respiratory period. Although there are numerous indications to measure the PetCO₂, the capnograph is not used during the process of weaning from IMV. Thus, the main objective of this study was to examine quantitatively PetCO₂ and indexes extracted from the capnogram in neonates and pediatric patients, as a predictor of successful extubation of IMV in the postoperative period of cardiac surgery. Initially, the capnograph was compared to other commercialized equipment and it showed high levels of correlation ($r^2 = 0.9872$ and 0.9513 , $p < 0.001$), and a mean difference obtained by Bland-Altman test close to zero (-0.56 and -1 mmHg), demonstrating its reliability and accuracy application. In the second phase, a sample consisted of 254 patients were evaluated during the pre and pos-extubation from IMV. There were weaning success in 70.47% (179) and failure in 29.53% (75), being necessary return the patient to ventilatory prosthesis before 48 hours after extubation. Comparing the successful group with the group of patients who have failed, a significant statistically difference ($p < 0.001$) was found for age (15.51 versus 3.16 months), weight (8.17 versus 4.5 kg) and duration of mechanical ventilation (2.34 versus 6.3 days). Considering ventilatory parameters, no significant difference was observed in the values of PetCO₂ and arterial carbon dioxide pressure (PaCO₂) between the two groups (success and failure). The Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis showed that the mean values of PaCO₂ and PetCO₂ had low sensitivity and specificity to predict extubation failure. However, P(a-et)CO₂ showed a significant difference between the success and failure group of extubation (0.42 versus 1.27 mmHg; $p < 0.001$) in the pre-extubation period; and it presented area under curve (AUC) of 0.707 which indicates acceptable performance to discriminate the extubation outcome. Furthermore, eight indexes extracted from capnogram presented significant difference between groups ($p < 0.001$), AUC values greater than 0.8 and high sensitivity and specificity to predict extubation failure, indicating excellent discrimination between groups with high clinical significance, these were: expiratory time, respiratory cycle total time, slope ₁, slope ₂, slope ratio, α angle, ascending angle and inclination angle. The study has shown that the analysis of ventilatory parameters is relevant in the process of removing the patient from IMV, increasing the safety for the multidisciplinary team on the decision to extubate a patient.

Keywords: Capnography. Ventilator weaning. Carbon dioxide. Mechanical ventilation. Intensive care unit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática de um ventilador conectado ao paciente	29
Figura 2 – Sistema do metabolismo de dióxido de carbono	44
Figura 3 – Transporte do dióxido de carbono	45
Figura 4 – Forma de onda de um capnograma normal: consiste da pressão de dióxido de carbono (PCO_2) <i>versus</i> o tempo	46
Figura 5 – Indicação das fases da forma de onda de um capnograma normal. Composta pela fase 0 (inspiração) e fases I, II e III (expiração), ângulos α e β	47
Figura 6 – Capnograma normal em recém-nascido e criança pequena	48
Figura 7 – Diagrama funcional do sensor de infravermelho do tipo não dispersivo	49
Figura 8 – Esquema do capnógrafo com espectrofotometria por luz infravermelha	50
Figura 9 – Tipos de capnógrafos para a medida da concentração do CO_2 expirado: <i>mainstream</i> e <i>sidestream</i>	51
Figura 10 – Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia deste projeto	55
Figura 11 – Placa do módulo compacto de capnografia acoplado a uma base, com indicação do sistema integrado (bomba, sensor e microcontrolador)	56
Figura 12 – Diagrama em blocos do funcionamento do módulo de capnografia e interfaces	57
Figura 13 – Equipamento de mensuração da pressão de dióxido de carbono expirado. A: Módulo de capnografia, B: Placa conversora de RS232 para USB	59
Figura 14 – Representação esquemática dos acessórios para a utilização do módulo de capnografia	60
Figura 15 – Ilustração do programa Capnostat 5 Host: mensurações da pressão de dióxido de carbono, frequência respiratória e capnograma	61
Figura 16 – Análise da onda de dióxido de carbono nos tempos: 0,25 segundos (T_1); 0,5 segundos (T_2); 0,75 segundos (T_3); 1 segundo (T_4); 1,25 segundos (T_5); 1,5 segundos (T_6); 1,75 segundos (T_7)	64
Figura 17 – Representação esquemática das sucessivas fases de execução do protocolo da segunda etapa da pesquisa	70

Figura 18 – Momento da coleta sanguínea do cateter arterial, localizado na artéria radial, em uma seringa heparinizada	71
Figura 19 – Arranjo do adaptador pediátrico de via aérea, para a coleta da amostra da pressão de dióxido de carbono no equipamento de capnografia, conectado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador mecânico	72
Figura 20 – Mensuração da pressão de dióxido de carbono em pacientes respirando espontaneamente com a utilização de um cateter nasal conectado ao tubo de amostra respiratória	72
Figura 21 – Disposição do equipamento de capnografia para realizar as mensurações na beira do leito	73
Figura 22 – Módulo de capnografia conectado a um <i>notebook</i> para visualização das mensurações de dióxido de carbono expirado através do <i>software</i> Capnostat	73
Figura 23 – Parâmetros analisados a partir dos componentes do ciclo respiratório obtidos pelo Capnograma no domínio do tempo	75
Figura 24 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) mensurada pelo capnógrafo CAP10 com o valor obtido pelo módulo de capnografia (n = 30; r = 0,994; p < 0,001)	82
Figura 25 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) mensurada pelo capnômetro portátil com o valor obtido pelo módulo de capnografia (n = 30; r = 0,975; p < 0,001)	82
Figura 26 – Análise gráfica de Bland-Altman entre a diferença e a média da mensuração da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) obtidas pelo módulo de capnografia (equipamento A) e o capnógrafo CAP10 (equipamento B)	83
Figura 27 – Análise gráfica de Bland-Altman entre a diferença e a média da mensuração da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) obtidas pelo equipamento A (módulo de capnografia) e o equipamento C (capnômetro portátil)	84
Figura 28 – Imagem das mensurações da pressão de dióxido de carbono obtidas através dos equipamentos de capnografia	87
Figura 29 – Correlação entre o período de duração do ciclo respiratório (segundos) entre o capnógrafo <i>sidestream</i> CAP10 (equipamento B) e o módulo de capnografia <i>sidestream</i> (equipamento A)	88

Figura 30 – Mensurações da pressão de dióxido de carbono (PCO ₂) obtidas através do capnograma nos tempos: T ₁ : 0,25 segundos; T ₂ : 0,5 segundos; T ₃ : 0,75 segundos; T ₄ : 1 segundo; T ₅ : 1,25 segundos; T ₆ : 1,5 segundos; T ₇ : 1,75 segundos	89
Figura 31 – Fluxograma de seleção da amostra estudada	90
Figura 32 – Limites das mensurações da PetCO ₂ segundo o desfecho da extubação da VMI nos pacientes que foram colocados em ventilação mecânica não invasiva imediatamente após a extubação	98
Figura 33 – Limites das mensurações da PetCO ₂ segundo o desfecho da extubação da VMI nos pacientes que receberam suplemento de oxigênio imediatamente após a extubação	98
Figura 34 – Comparação entre as mensurações da PetCO ₂ e PaCO ₂ de acordo com os grupos sucesso e falha na extubação da prótese ventilatória	104
Figura 35 – Curva ROC (<i>Receiver Operating Characteristic</i>) para a previsão da falha na extubação. As mensurações foram realizadas nos pacientes em ventilação mecânica invasiva, duas horas antes da extubação: PaCO ₂ (AUC = 0,5343 e $p = 0,3886$), PetCO ₂ (AUC = 0,514 e $p = 0,7241$) e P(a-et)CO ₂ (AUC = 0,7074 e $p < 0,001$)	107
Figura 36 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) e da pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO ₂): A - para o grupo sucesso (n = 179; $r = 0,984$; $p < 0,001$) e B - para o grupo que obteve falha no processo de extubação (n = 75; $r = 0,9754$; $p < 0,001$)	109
Figura 37 – Análise gráfica de Bland-Altman entre a diferença e a média da mensuração da pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO ₂) e da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO ₂) duas horas antes da extubação: A - para o grupo sucesso e B - para o grupo falha (n = 75)	110
Figura 38 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para os pacientes que obtiveram sucesso na extubação da ventilação mecânica invasiva	114
Figura 39 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para os pacientes do grupo falha na extubação da ventilação mecânica invasiva e que foram reintubados dentro de um período de 48 horas	114
Figura 40 – Curva ROC para a previsão da falha na extubação a partir dos parâmetros: tempo inspiratório, tempo expiratório e tempo total do ciclo respiratório	115

Figura 41 – Curva ROC para a previsão da falha na extubação a partir dos parâmetros: S_1 (inclinação inicial - <i>slope</i> ₁), S_2 (inclinação da terceira fase - <i>slope</i> ₂) e SR (razão de inclinação - <i>slope ratio</i>)	116
Figura 42 – Curva ROC para a previsão da falha na extubação a partir dos ângulos: alfa, beta, ascendente e de inclinação	116
Figura 43 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para prever a falha na extubação da ventilação mecânica invasiva em pacientes recém-nascidos e pediátricos após cirurgia cardíaca	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência das cardiopatias congênitas na infância	26
Tabela 2 – Incidência de sucesso ou falha na extubação de pacientes recém-nascidos e crianças	33
Tabela 3 – Parâmetros funcionais e laboratoriais para considerar o desmame da ventilação mecânica	39
Tabela 4 – Parâmetros com significância para predizer o sucesso do desmame em adultos	40
Tabela 5 – Características e especificações técnicas dos equipamentos de capnografia ...	63
Tabela 6 – Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis	76
Tabela 7 – Características dos pacientes em ventilação mecânica para a validação do módulo de capnografia	81
Tabela 8 – Intervalos de confiança das médias das diferenças e dos limites de concordância inferior e superior entre os equipamentos de mensuração da PetCO ₂	85
Tabela 9 – Relação entre os parâmetros ventilatórios obtidos através dos equipamentos de capnografia	86
Tabela 10 – Mensurações da pressão de dióxido de carbono (mmHg) entre os T ₁ e T ₇ de um ciclo respiratório	88
Tabela 11 – Causas para exclusão do protocolo de lactentes e crianças submetidas à ventilação mecânica durante o período de estudo	91
Tabela 12 – Características dos pacientes que participaram do estudo	91
Tabela 13 – Diagnóstico médico para a falha na extubação e retorno do paciente para a prótese ventilatória	93
Tabela 14 – Após a extubação os pacientes receberam suplemento de oxigênio ou foram colocados em ventilação mecânica não invasiva	95
Tabela 15 – Momento da falha na extubação e reintubação conforme o tempo pós-extubação	97
Tabela 16 – Características dos pacientes que evoluíram a óbito	99
Tabela 17 – Variáveis demográficas e clínicas dos pacientes de acordo com os grupos sucesso e falha da extubação	101

Tabela 18 – Comparação dos parâmetros da pressão de dióxido de carbono (mmHg) de acordo com os grupos sucesso e falha na extubação	104
Tabela 19 – Análise de ROC para as mensurações da pressão de dióxido de carbono	106
Tabela 20 – Faixa de mensurações da pressão de dióxido de carbono antes da extubação	108
Tabela 21 – Mensurações da pressão de dióxido carbono (mmHg) obtidas na pré e pós-extubação	112
Tabela 22 – Parâmetros extraídos do capnograma	113
Tabela 23 – Análise de ROC para os parâmetros extraídos do capnograma	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores de risco associados à dificuldade de desmame da VMI e falha na extubação	36
Quadro 2 – Principais causas de falha na extubação	36
Quadro 3 – Critérios clínicos para considerar o desmame da ventilação mecânica	38
Quadro 4 – Parâmetros anotados em uma ficha padronizada	67
Quadro 5 – Regras para interpretação dos resultados da análise de ROC	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_A	Ângulo ascendente
A_i	Ângulo de inclinação
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AUC	<i>Area under curve</i> (Área sob a curva)
CEC	Circulação extracorpórea
CIA	Comunicação interatrial
CIV	Comunicação interventricular
CO_2	Dióxido de carbono
CO_2 CGM	<i>CapnoGraphy Module</i> (Módulo de capnografia)
CPAP	<i>Continuous positive airway pressure</i> (Pressão positiva contínua nas vias aéreas)
CPU	<i>Central processing unit</i> (Unidade de processamento central)
CROP	Índice de complacência, frequência respiratória, oxigenação e pressão
C_{stat}	Complacência estática
CSV	<i>Comma separated values</i> (Valores separados por vírgula)
EMMA	<i>Emergency Mainstream Analyser</i> (Analisador <i>mainstream</i> de emergência)
FiO_2	Fração inspirada de oxigênio
FR/VC	Relação da frequência respiratória pelo volume corrente
I:E	Relação inspiração:expiração
IRRS	Índice de respiração rápida superficial
IWI	<i>Integrative Weaning Index</i> (Índice de desmame integrado)
MODS	<i>Multiple Organ Dysfunction Syndrome</i> (Síndrome de disfunção múltipla de órgãos)
NDIR	<i>Nondispersive Infrared</i> (Infravermelho não dispersivo)
O_2	Oxigênio
P 0,1	Pressão de oclusão das vias aéreas
PaO_2	Pressão parcial arterial de oxigênio
$PaCO_2$	Pressão parcial arterial de dióxido de carbono
$PACO_2$	Pressão alveolar de dióxido de carbono
$P(a-et)CO_2$	Diferença entre a pressão arterial de dióxido de carbono e a pressão de dióxido de carbono expirado

PCO ₂	Pressão de dióxido de carbono
PCR	Parada Cardiorrespiratória
PEEP	Pressão positiva expiratória final
PetCO ₂	<i>End-tidal carbon dioxide pressure</i> (Pressão final de dióxido de carbono expirado)
P _{insp} .CO ₂	Pressão inspirada de dióxido de carbono
PIP	Pico inspiratório de pressão
PI _{MAX}	Pressão inspiratória máxima
PO	Pós-operatório
PVCO ₂	Pressão de dióxido de carbono no sangue venoso
RN	Recém-nascido
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i> (Curvas de características de operação do receptor)
S ₁	<i>Slope</i> ₁ (Inclinação inicial)
S ₂	<i>Slope</i> ₂ (Inclinação da terceira fase)
SaO ₂	Saturação arterial de oxigênio
SIMV	<i>Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation</i> (Ventilação mandatória intermitente sincronizada)
SpO ₂	Saturação periférica de oxigênio
SR	<i>Slope ratio</i> (Razão de inclinação)
T _e	Tempo expiratório
T _i	Tempo inspiratório
T _{tot}	Tempo total do ciclo respiratório
UTI	Unidade de terapia intensiva
Vd/Vt	Relação entre o espaço morto e o volume corrente
VMI	Ventilação mecânica invasiva
VMNI	Ventilação mecânica não invasiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 MOTIVAÇÕES	19
1.2 JUSTIFICATIVA	21
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo Geral	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
2 REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 CARDIOPATIA CONGÊNITA	25
2.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA APÓS CIRURGIA CARDÍACA	27
2.2.1 Complicações Associadas à Ventilação Mecânica Invasiva	30
2.3 DESMAME E EXTUBAÇÃO DA PRÓTESE VENTILATÓRIA	32
2.3.1 Índices Preditivos do Desmame da Prótese Ventilatória	39
2.4 CAPNOGRAFIA	44
2.4.1 Técnicas	48
2.4.2 Classificação	51
2.4.3 Aplicações da Mensuração da Pressão de Dióxido de Carbono Expirado	52
3 METODOLOGIA	55
3.1 DESCRIÇÃO DO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA	56
3.1.1 Monitor da Pressão de Dióxido de Carbono Expirado	56
3.1.2 Acessórios do Capnógrafo	60
3.2 VALIDAÇÃO DAS MENSURAÇÕES OBTIDAS PELO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA	62
3.3 EXTUBAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA	65
3.3.1 Características da Unidade	65
3.3.2 Desenho do Estudo	65
3.3.3 Critérios de Inclusão	66
3.3.4 Critérios de Exclusão	66
3.3.5 Dados de Caracterização da População	67
3.3.6 Descrição da Execução do Protocolo	67

3.3.7 Mensurações	70
3.3.8 Análise Estatística	75
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 VALIDAÇÃO DAS MENSURAÇÕES OBTIDAS PELO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA	81
4.2 EXTUBAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA	90
4.2.1 Descrição da Amostra Estudada	90
4.2.2 Grupos Sucesso e Falha na Extubação	91
4.2.3 Terapia Pós-Extubação	95
4.2.4 Mortalidade após Falha na Extubação	99
4.2.5 Variáveis Demográficas e Clínicas	100
4.2.6 Mensurações de Pressão de Dióxido de Carbono	103
4.2.7 Hipocapnia e Hipercapnia	108
4.2.8 Correlação e Concordância entre PaCO ₂ e PetCO ₂	109
4.2.9 Parâmetros Extraídos do Capnograma	113
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	119
5.1 CONCLUSÕES	119
5.2 TRABALHOS FUTUROS	122
5.3 PUBLICAÇÕES	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICES	145
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	147
APÊNDICE B – Ficha Padronizada de Avaliação	149
ANEXOS	151
ANEXO A – Requerimento de Desempenho e Segurança do Capnógrafo	153
ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos	155

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÕES

A ventilação mecânica invasiva (VMI) é um recurso eficiente de manutenção da vida, frequentemente utilizado no manejo de pacientes criticamente enfermos (BOUSSO, 2004). O equipamento de VMI é utilizado especialmente nas populações neonatais e pediátricas, no período pós-operatório de cirurgia cardíaca congênita (SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005), devido à insuficiência ventilatória, à complexidade das doenças cardíacas, pulmonares ou por outros problemas sistêmicos e analgésicos (PIVA e GARCIA, 1992; CARVALHO, TOUFEN e FRANCA, 2007).

A assistência ventilatória mecânica corresponde a uma das intervenções mais comuns dentro das Unidades de Terapia Intensiva (UTIs), onde aproximadamente 96% dos pacientes internados fazem uso da VMI durante o período de internação (FRAZIER *et al.*, 2006). Um terço desses pacientes apresentam dificuldades no estabelecimento e manutenção adequados ao suporte ventilatório e aproximadamente 30% dos pacientes em assistência ventilatória invasiva experimentam dificuldades na descontinuidade do suporte ventilatório, necessitando de VMI por um período prolongado (AMBROSINO e GABRIELLI, 2010; HEUNKS e VAN DER HOEVEN, 2010; ROSE *et al.*, 2014).

Na tentativa de minimizar os riscos da VMI, recomenda-se que a prótese ventilatória seja removida o mais precocemente possível, tão logo o paciente consiga manter a respiração espontânea e garantir as trocas gasosas adequadas com um mínimo de trabalho respiratório (FARIAS *et al.*, 1998; MHANNA *et al.*, 2014). Segundo Ten Harkel *et al.* (2005) o desmame da ventilação mecânica e o tempo de extubação endotraqueal são componentes cruciais no prognóstico e tratamento de pacientes após cirurgia cardíaca.

No entanto, do ponto de vista clínico, não existem parâmetros definidos que possam prever o sucesso ou a falha da extubação dos pacientes recém-nascidos (RNs) e pediátricos da prótese ventilatória (DAVIDSON *et al.*, 2008; VALENZUELA, ARANEDA e CRUCES, 2014).

A determinação do momento ideal para a interrupção da VMI, apesar das inúmeras publicações sobre o tema nos últimos anos, permanece como um grande desafio para os profissionais de terapia intensiva (RODRIGUES *et al.*, 2005; FÁVERO *et al.*, 2011; SAVI *et al.*, 2012; COSTA, SCHETTINO e FERREIRA, 2014). Além disso, a literatura ainda não apresenta um consenso de quais parâmetros clínicos, ventilatórios, hemodinâmicos ou

fisiológicos devem ser aplicados como preditores de sucesso do desmame da prótese ventilatória nos pacientes pediátricos (ELY *et al.*, 2001; MEADE *et al.*, 2001; TEIXEIRA, 2004; HERMETO *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2010; KACZMAREK *et al.*, 2013; CRUZ, 2014).

A decisão de extubar os pacientes é tomada com base na experiência clínica da equipe médica e em critérios pouco objetivos, o que torna a retirada da VMI, no dia-a-dia das UTIs, uma ação de tentativa e erro (BROCHARD, 2001). Tal prática resulta no prolongamento do tempo de VMI, com consequente aumento de risco de óbito e/ou sequelas em longo prazo, ou na extubação precoce, antes que o paciente apresente condições de manter a respiração sem a ajuda do respirador, resultando em nova intubação e possíveis efeitos deletérios (BAUMEISTER *et al.*, 1997). Desta forma, seria essencial dispor de parâmetros objetivos e de fácil aplicação que pudessem prever o sucesso ou a falha na remoção da cânula endotraqueal da VMI em pacientes no período pós-operatório de cirurgia cardíaca (DAVIDSON *et al.*, 2008; TINGSVIK, JOHANSSON e MARTENSSON, 2014).

Para que os parâmetros de desmame sejam aplicáveis clinicamente e capazes de prever adequadamente o sucesso na extubação traqueal, é imprescindível que o método de avaliação seja simples, reproduzível e utilize instrumentos disponíveis e aplicáveis, principalmente nos pacientes RNs e nas crianças pequenas com cardiopatia congênita (RODRIGUES *et al.*, 2005; RIMENSBERGER, 2015).

A análise da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) através da capnografia é um método não invasivo, rápido, preciso e permite avaliar a ventilação pulmonar durante todo o ciclo respiratório, através do registro contínuo do dióxido de carbono (CO₂) (EMMERICH, 1998; HOWE *et al.*, 2011; BABIK *et al.*, 2012).

Segundo Gambaroto (2006) e Rowan *et al.* (2015), além de traduzir o perfil cardio-circulatório, a capnografia monitora indiretamente a produção, o transporte e a excreção de CO₂, expressando a perfusão pulmonar e a ventilação alveolar do paciente.

O acompanhamento da PetCO₂ tem provado ser eficaz em diversas áreas clínicas. Atualmente, a capnografia é uma obrigação em salas de operação e em unidades de anestesia onde a PetCO₂ assume constante relação com a pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) permitindo ajustes de parâmetros do ventilador (BELPOMME *et al.*, 2005; WHITAKER, 2011; SHANKAR, 2013). Da mesma forma, a monitorização da PetCO₂ tornou-se essencial em unidade de emergência móvel (BOOTH e BLOCH, 2011; LANGHAN, 2011; PERCIVAL, 2012), serviços de emergência (NAGLER e KRAUSS, 2009; DEITCH *et al.*, 2010), e unidades de cuidados críticos (SINGH e SINGHAL, 2006; MC

GRATH, 2014; GOONASEKERA *et al.*, 2014), confirmando o correto posicionamento do tubo endotraqueal (VARGESE, 2007; LANGHAN *et al.*, 2011; LANGHAN *et al.*, 2012) e controlando a integridade dos equipamentos de ventilação mecânica (HILLIER *et al.*, 1990; CHEIFETZ e MYERS, 2007). Este equipamento biomédico é também muito útil na ressuscitação cardíaca; alguns estudos recentes têm mostrado que valores de PetCO₂ são uma boa indicação da adequação da massagem cardíaca, melhorando assim a probabilidade de sobrevivência do paciente (FALCÃO, FERREZ e AMARAL, 2011; SCARTH e COOK, 2012; HERADSTVEIT *et al.*, 2012; SHANKAR e URMAN, 2014).

No passado, alguns autores avaliaram a precisão e correlação da PetCO₂ com a PaCO₂ durante o processo de desmame e extubação da prótese ventilatória (NIEHOFF *et al.*, 1988; THRUSH, MENTIS e DOWNS, 1991; MORLEY *et al.*, 1993; SAURA *et al.*, 1996); no entanto, esses estudos não verificaram o poder preditivo da pressão de CO₂ expirado e o formato da onda de CO₂ com o sucesso na remoção da VMI.

Mesmo existindo numerosas indicações da necessidade de mensuração da PetCO₂, não foram encontrados na literatura estudos relacionando a PetCO₂ e os parâmetros obtidos através do capnograma com o desfecho da extubação do tubo endotraqueal da VMI em pacientes RNs e pediátricos internados em UTI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca.

1.2 JUSTIFICATIVA

Quando há o desmame tardiamente, a criança com cardiopatia congênita permanece um maior tempo na UTI, aumentando o tempo de uso dos sedativos e o risco de complicações graves como a pneumonia e lesões laringotraqueais, além de aumentar os custos do tratamento.

A remoção precoce do tubo endotraqueal de uma criança que ainda não está pronta para sustentar suas próprias demandas respiratórias pode resultar em desequilíbrio clínico, falência respiratória e necessidade de reintubação, os quais podem repercutir adversamente na evolução clínica do paciente e aumentar a taxa de mortalidade.

Desta forma, a identificação precisa de lactentes e crianças em VMI, no período pós-operatório de cirurgia cardíaca, com risco elevado de falha na extubação é um dos principais desafios atuais no campo da terapia intensiva pediátrica.

Isto posto, fica clara a necessidade de desenvolver uma avaliação adicional, objetiva e acurada do sucesso na remoção do suporte respiratório. A inexistência de protocolos

validados de extubação, adequados para crianças em pós-operatório de cardiopatias congênitas, colabora para o aumento nas taxas de insucesso no desmame desses pacientes.

Nota-se ainda, uma necessidade de monitorização contínua e não invasiva de parâmetros respiratórios, entre eles o CO₂, por se tratar do parâmetro que melhor define a ventilação pulmonar, essa monitorização é importante principalmente nos pacientes neonatais e pediátricos sob VMI.

Por fim, existem poucos estudos descrevendo o uso da capnografia para a mensuração da pressão de CO₂ durante o processo de desmame e extubação da prótese ventilatória, tornando as informações raras e não conclusivas em relação ao método na prática clínica das UTIs.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar de forma quantitativa a pressão de CO₂ expirado como índice preditivo de sucesso na retirada da VMI, em pacientes neonatais e pediátricos, no período pós-operatório de cirurgia cardíaca em UTI.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

Selecionar um equipamento de capnografia simples e de baixo custo para mensurar a pressão de CO₂ expirado durante o período da pesquisa;

Definir os componentes periféricos que devem ser adicionados ao módulo de capnografia para obter os dados da pressão de CO₂ dos pacientes neonatais e pediátricos internados em uma UTI cardíaca;

Garantir a confiabilidade dos dados fornecidos pelo módulo de capnografia através da comparação das mensurações obtidas com outros equipamentos de capnografia comercializados;

Identificar a taxa de sucesso e falha na extubação da prótese ventilatória em pacientes RNs e pediátricos com cardiopatia congênita internados em UTI;

Comparar os parâmetros clínicos, funcionais, laboratoriais e ventilatórios de pacientes neonatais e pediátricos com sucesso e insucesso na extubação da VMI, no período pós-operatório de cirurgia cardíaca;

Investigar a relação e comparação dos valores de $PetCO_2$ e $PaCO_2$ obtidos antes da extubação da VMI e 2, 24 e 48 horas após a extubação de acordo com o desfecho do procedimento, se sucesso ou falha;

Analisar características quantitativas do capnograma nos pacientes antes da extubação da prótese ventilatória, sendo eles: tempo expiratório, inspiratório e total do ciclo respiratório, $slope_1$, $slope_2$, $slope\ ratio$, e ângulos: α , β , ascendente e de inclinação;

Verificar se os valores de $PetCO_2$ e as características extraídas do capnograma podem prever o sucesso na extubação em pacientes neonatais e pediátricos submetidos à VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Apresentam-se neste capítulo tópicos importantes para o entendimento e compreensão do estudo em questão. Temas relacionados à cardiopatia congênita, VMI e procedimentos para o desmame e extubação da prótese ventilatória são tratados na estrutura deste trabalho. A capnografia é o método utilizado para a mensuração de CO₂ expirado do paciente durante a assistência ventilatória invasiva e compõe o tópico pertinente à tecnologia do estudo.

2.1 CARDIOPATIA CONGÊNITA

Cardiopatias congênicas são problemas estruturais decorrentes da formação anormal do coração ou dos vasos sanguíneos principais, que apresentam amplo espectro clínico, compreendendo desde defeitos que evoluem de forma assintomática até aqueles que determinam sintomas importantes, com graves alterações no funcionamento da bomba cardíaca e alta taxa de mortalidade (RIVERA *et al.*, 2007; DAMAS, RAMOS e REZENDE, 2009, p. 103; AHA, 2014).

As cardiopatias congênicas são classificadas em função de apresentarem ou não cianose. Os *shunts* direito-esquerdos¹ em geral manifestam-se com cianose, e os esquerdo-direitos² com insuficiência cardíaca, via de regra (tabela 1). Pelo menos 18 diferentes tipos de defeitos cardíacos congênicos são reconhecidos, com muitas outras variações anatômicas (RIVERA *et al.*, 2007; AHA, 2014).

Diferentes incidências das cardiopatias congênicas são descritas na literatura, dependendo da idade da população analisada e dos tipos de malformações incluídas (ARAÚJO *et al.*, 2014). De uma maneira geral, nos Estados Unidos estima-se que as

¹ O shunt direito-esquerdo significa que o sangue é desviado da câmara cardíaca direita para a esquerda (misturando o sangue não oxigenado com o oxigenado) manifestando, em geral, a cianose, um sintoma caracterizado pela coloração azul-arroxeadada da pele e das membranas mucosas, resultado do excesso de concentração de hemoglobina reduzida, ou seja, falta de oxigênio no sangue (SILVA *et al.*, 2003; MANO, 2004).

² O shunt esquerdo-direito significa o desvio do sangue vascular central da esquerda (sistêmica) para a direita (pulmonar), denominado arteriovenoso. Caracterizado pelo hiperfluxo pulmonar. Apresenta-se na criança com característica principal de insuficiência cardíaca (SOUZA, FREITA e LINS, 2005).

cardiopatias congênitas acometem de oito a dez RNs em 1.000 nascidos vivos (MCCOLLOUGH e SHARIEFF, 2002, p. 39; AHA, 2014). No Brasil, de cada grupo de 100 nascidos vivos, um é portador de cardiopatia congênita (BASTOS *et al.*, 2013). De acordo com o Sistema de Informação sobre Mortalidade do Ministério da Saúde (SIM, 2014), desde 2001 as anomalias congênitas são a segunda causa de mortalidade em menores de um ano.

Tabela 1 – Frequência das cardiopatias congênitas na infância.

Acianogênicas		Cianogênicas	
Cardiopatia	%	Cardiopatia	%
Comunicação Interventricular (CIV)	15 a 20 *	Tetralogia de Fallot	10
Persistência do Canal Arterial	5 a 10	Transposição de Grandes Artérias	5
Comunicação Interatrial (CIA)	5 a 10 *	Atresia Tricúspide	< 2
Coarctação de Aorta	8 a 10	Atresia Pulmonar	< 2
Estenose Pulmonar	8 a 12	Anomalia de <i>Ebstein</i>	< 1
Estenose Aórtica	8 a 12		
Defeito do Septo Atrioventricular	< 1 **		

Fonte: Kobinger (2003, p. 88).

Notas:

* CIV e CIA ocorrem em associação com outras cardiopatias congênitas em 30% a 50% dos casos.

** Ocorre em 30% dos pacientes com Síndrome de Down.

Segundo Hoffman e Kaplan (2002) a incidência de doença cardíaca congênita grave, que requer atendimento cardiológico especialista, é estável em cerca de 2,5 a 3 para cada 1.000 nascidos vivos. As formas moderadamente graves da doença cardíaca congênita ficam em torno de 5 para cada 1.000 nascidos vivos e, a maioria das formas menos graves da doença cardíaca congênita não necessitam de cuidados cardiológicos especializados, podendo tanto fechar espontaneamente como não causar intercorrências médicas (SILVA *et al.*, 2008).

Pode-se encontrar na literatura dois tipos de cirurgias para o tratamento das cardiopatias congênitas: as cirurgias corretivas, quando a cardiopatia congênita é reparada de forma definitiva durante o procedimento cirúrgico e as cirurgias paliativas, que compõem um procedimento cirúrgico com intenção de proporcionar alívio ao paciente, para facilitar outras formas de tratamento ou para aliviar sintomas ou complicações da evolução da doença de base e não para atingir a cura definitiva (ALCANTARA, 2008, p. 309).

De um modo simplificado, considera-se que o tratamento cirúrgico (corretivo ou paliativo) das cardiopatias congênitas possui os seguintes objetivos: assegurar as melhores chances de sobrevivência para a criança, tornar a função cardíaca normal ou a mais próxima

possível e criar condições para a reversão de alterações secundárias pulmonares ou cardíacas (SOUZA e ELIAS, 2006, p. 552).

Segundo Irwin e Tecklin (1996) e Schwan, Darwin e Duarte (2006) as principais alterações ocorridas no sistema respiratório após a cirurgia cardíaca incluem:

- 1) redução dos volumes e capacidades pulmonares;
- 2) modificação do padrão ventilatório;
- 3) alteração da relação ventilação-perfusão, causando uma redução da captação de oxigênio (O₂) e da eliminação de CO₂ do pulmão.

Desta forma, o pulmão se torna menos eficiente para troca de gases, e este desequilíbrio respiratório causa, ao mesmo tempo, hipoxemia e hipercapnia (PAZZIANOTTO-FORTI, NALETO e GIGLIOLI, 2002).

Durante as primeiras horas após a cirurgia cardíaca os pacientes neonatais e pediátricos apresentam insuficiência ventilatória secundária à persistência da ação de drogas anestésicas e analgésicas, necessitando do suporte ventilatório mecânico invasivo (PIVA e GARCIA, 1992). Assim, na maioria dos casos, as crianças submetidas a cirurgias cardíacas são transportadas para a UTI intubadas, na sequência o desmame deve ser, prioritariamente, rápido e a extubação realizada assim que possível (SILVA *et al.*, 2011).

Segundo Székely *et al.* (2006) vários são os fatores relacionados ao tempo de VMI no período pós-operatório de cardiopatia congênita em pediatria, dentre eles citam-se:

- 1) Pré-operatório – principalmente o tipo de cardiopatia;
- 2) Intra-operatório – tempo de circulação extracorpórea (CEC) e tempo de anóxia (falta de oxigenação no cérebro);
- 3) Pós-operatório – hipertensão pulmonar, cardiopatia residual e débito cardíaco baixo.

O tempo habitual de VMI para a maioria dos pacientes no período pós-operatório de cirurgia cardíaca é de 8 a 12 horas, entretanto alguns pacientes permanecem intubados sob ventilação mecânica por um período prolongado, até a completa estabilização do quadro cardiorrespiratório (SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005, p. 55).

2.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA APÓS CIRURGIA CARDÍACA

Os pacientes pediátricos e adultos em pós-operatório de cirurgia cardíaca são, geralmente, extubados tão logo cesse o efeito anestésico, tendo a modalidade ventilatória pouco impacto na decisão da extubação. Entretanto, aproximadamente 10% dos pacientes podem necessitar de VMI prolongada devido à complexidade das doenças cardíacas,

pulmonares ou por outros problemas sistêmicos (CARSON *et al.*, 1999; SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005).

Segundo Barbero-Marcial (1979) e Abuchaim *et al.* (2010) é importante manter as crianças menores de três meses de idade em assistência ventilatória, após a cirurgia cardíaca, durante período mínimo de 18 horas, independente da afecção. Entre três e seis meses é conveniente reduzir esse tempo para um mínimo de 12 horas. Crianças maiores de seis meses portadoras de cardiopatias com hipofluxo pulmonar, dependendo da avaliação geral e respiratória podem ser extubadas dentro das primeiras seis horas.

O ventilador mecânico pode ajudar o paciente a realizar as suas funções de ventilação e respiração, sendo considerado convencionalmente como um importante sistema de suporte à vida (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002).

Segundo Carvalho, Toufen e Franca (2007) e Carmona (2012) os principais objetivos clínicos a serem alcançados com o emprego da VMI são descritos como:

- 1) conservar a função respiratória do paciente;
- 2) corrigir a hipoxemia e melhorar o transporte de O₂;
- 3) normalizar a ventilação alveolar;
- 4) reduzir o trabalho muscular respiratório.

Conectando-se o ventilador ao paciente, este passa a ser controlado pelos painéis de controle e monitorado pelos transdutores de pressão e fluxo. As válvulas de fluxo e exalação são controladas pela CPU (unidade de processamento central) do ventilador, e, conectadas aos ramos inspiratório e expiratório, responsáveis pela inalação e exalação. Assim, na fase inspiratória do paciente, a válvula de fluxo se abre, ocorrendo o enchimento dos pulmões com o ventilador exercendo a pressão necessária para vencer o atrito nas vias aéreas e expandir os pulmões. Sequencialmente, o ventilador fecha a válvula de fluxo e abre a de exalação, nessa fase ocorre o esvaziamento dos pulmões, sendo que a força motriz é a própria pressão no interior dos pulmões, ou seja, via de regra, a exalação é passiva (BONASSA, 2000).

A representação esquemática do funcionamento de um ventilador conectado ao paciente está mostrada na figura 1.

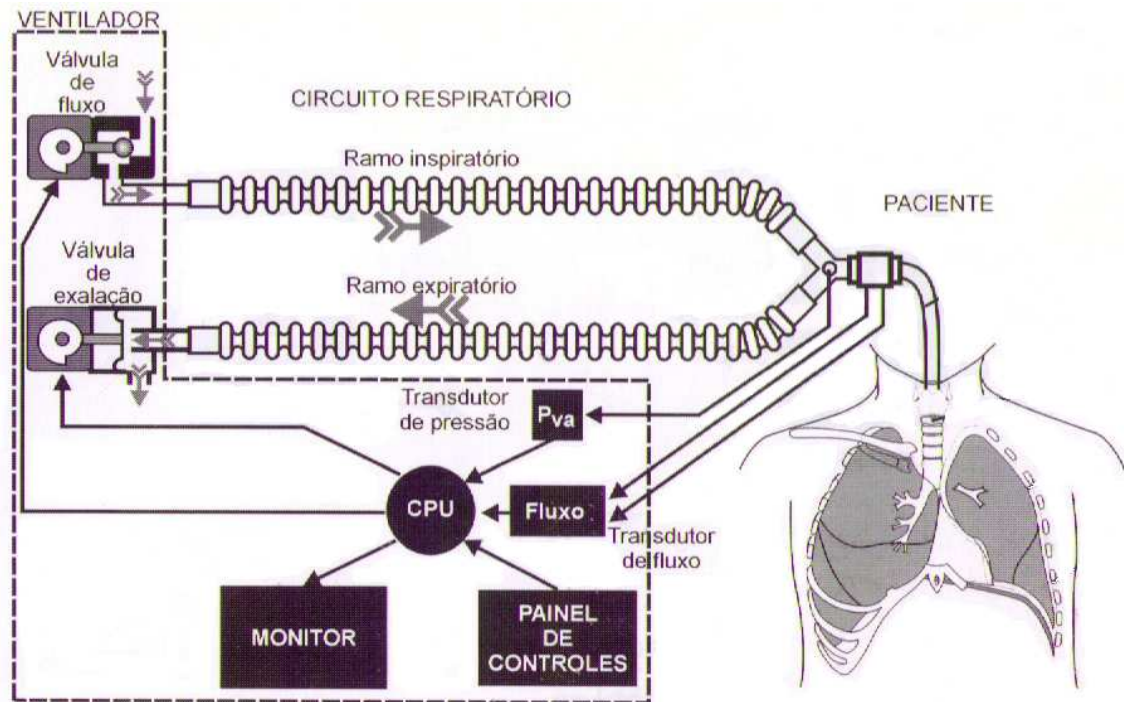


Figura 1 – Representação esquemática de um ventilador conectado ao paciente. A partir dos controles efetuados através do painel de controles e da monitorização realizada pelos transdutores de pressão e fluxo, é realizado o controle das válvulas de fluxo e exalação através do circuito de controle do ventilador. O ventilador inicia a fase inspiratória abrindo a válvula de fluxo e fechando a válvula de exalação. O paciente é representado através das vias aéreas, dos pulmões e da caixa torácica.

Fonte: Bonassa (2000, p. 71).

A grande maioria dos ventiladores usados no período neonatal e em pediatria (preconizada para crianças com peso < 15 kg e < 3 anos) é de aparelhos de fluxo contínuo, ciclados a tempo e limitados à pressão (FARIA *et al.*, 1998, p. 114; RUSSI, 2006).

Na ventilação limitada à pressão e ciclada a tempo, o pico inspiratório de pressão (PIP) e o tempo inspiratório são pré-determinados pelo operador. Alcançando o valor limite, a pressão na via aérea é mantida nesse nível durante todo o ciclo inspiratório. A vantagem deste tipo de ventilação é que pequenos escapes de gás, que geralmente ocorrem ao redor de cânulas sem balonetes, usadas em crianças com idade inferior a oito anos, são compensados; além disso, a possibilidade de limitar o PIP, evitando excessivas pressões de insuflação, diminui os riscos de barotrauma e de lesão pulmonar induzida pela VMI (BANNER e LAMPOTANG, 1994; PROENÇA, 1996, p. 207).

Apesar de garantir a sobrevivência do paciente após cirurgia cardíaca, a ventilação mecânica encontra-se associada a riscos inerentes ao método e ao tempo de internação em UTI. Dessa forma, a sua indicação deve ser prudente e criteriosa e sua aplicação cercada por cuidados específicos (BARRETO e FILGUEIRAS, 2000; ARCÊNCIO *et al.*, 2008; CARVALHO e MATSUMOTO, 2013).

2.2.1 Complicações Associadas à Ventilação Mecânica Invasiva

A VMI é um procedimento terapêutico que ajuda a diminuir a taxa de mortalidade, porém, com características de grande invasibilidade para o paciente, podendo ocorrer durante o seu manuseio algumas complicações ao nível da sua operação funcional, com consequente repercussão na clínica do paciente, como por exemplo: erro no ajuste ou falha na ciclagem do respirador, mau posicionamento do tubo endotraqueal, obstruções, vazamentos e trauma (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 4; MHANNA *et al.*, 2014). Além disso, alterações pulmonares, cardiovasculares e no transporte mucociliar podem ocorrer em decorrência de uma VMI prolongada e mal conduzida (SULDOSKI, 2003).

Segundo Guilherme e Jesus (2011) a pneumonia associada à VMI é a infecção com maior incidência na UTI e é a principal complicação causada pelo uso dos ventiladores mecânicos. Conforme Johnston *et al.* (2010), a presença de tubo endotraqueal, por mais de três dias, aumenta o risco de pneumonia, com maior tempo de permanência hospitalar e aumento da mortalidade.

Existem outras complicações clínicas frequentes que são inerentes a qualquer tipo de assistência ventilatória, seja ela do tipo convencional ou não. As principais e mais comuns complicações clínicas descritas na literatura são: hipocapnia, hiperoxemia, hipercapnia não intencional, atelectasias pulmonares³, hiperinsuflação e hiperdistensão pulmonar (CARVALHO e MATSUMOTO, 2013). Estas complicações clínicas estão relacionadas quase sempre com a inadequada regulagem de alguns parâmetros do ventilador mecânico, a saber: volume corrente, frequência respiratória, volume minuto, fração inspirada de oxigênio, nível da pressão positiva expiratória final (PEEP) e pressão de pico (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 5; GOLDWASSER *et al.*, 2007).

A hipocapnia (PaCO_2 entre 30 e 35 mmHg), por exemplo, é aceitável após cirurgia cardíaca, tendo inclusive efeitos benéficos. Já a hipocapnia intensa, isto é, PaCO_2 menor que 30 mmHg é uma complicação perigosa e bastante frequente durante a ventilação mecânica mandatória controlada, podendo ser evitada pela diminuição do volume minuto do paciente, bastando para tal, que sejam feitos ajustes nos controles do volume corrente ou da frequência

³ Atelectasia pulmonar significa o colapso das unidades pulmonares periféricas, produzindo uma diminuição do volume pulmonar. O colapso pulmonar é uma consequência de um obstáculo à penetração de ar nos espaços alveolares. Pode-se tratar de microatelectasias, que dizem respeito às unidades periféricas ou de atelectasia acinar, lobular, segmentar, lobar e até pulmonar total, segundo a geração brônquica implicada (POSTIAUX, 2004, p. 191; JOHNSTON e CARVALHO, 2008).

respiratória (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 6; SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005, p. 58).

A hipercapnia (PaCO_2 acima de 45 mmHg) se não for produzida intencionalmente, ocorre geralmente pela ventilação mecânica inadequada associada ou não a alguma alteração pulmonar ou devido ao aumento da atividade metabólica por reaquecimento ou tremores, mau funcionamento do tubo endotraqueal, secreção no tubo ou pneumotórax. Normalmente, a correção dessas alterações melhora os níveis de PaCO_2 (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 6; SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005, p. 58; CARMONA, 2012).

Aproximadamente 8% das crianças em VMI desenvolvem atelectasia pulmonar com aumento concomitante da morbidade e tempo de permanência hospitalar (JOHNSTON e CARVALHO, 2008). Segundo Monte *et al.* (2005) a presença de diferentes tipos de atelectasias é a complicação mais frequente observada no período pós-operatório das cirurgias cardíacas, frequentemente causada pela instabilidade alveolar induzida pela VMI, nestes casos os pacientes necessitam de oxigenoterapia para a manutenção da saturação arterial de oxigênio (SaO_2) em níveis normais (AULER *et al.*, 2000, p. 14). A ventilação mecânica, com adição de PEEP, previne ou diminui a incidência de atelectasias (ALVARES *et al.*, 2012).

Os dois principais fatores relacionados com a lesão pulmonar induzida pela VMI são a hiperinsuflação e hiperdistensão pulmonar, responsáveis pelo baro e volutrauma⁴, respectivamente. Para reduzir a possibilidade dessas complicações, devem-se usar volumes correntes suficientes baixos e ajustados para que a pressão de platô seja inferior a 30 cmH₂O (MONTE *et al.*, 2005). A incidência de baro e volutrauma é dependente também do estado clínico do paciente e do tempo de duração do suporte ventilatório (EMMERICH, 1996, p. 4).

A VMI promove uma grande alteração na fisiologia cardiopulmonar do paciente, afetando não apenas a excreção pulmonar de CO_2 , mas também a oxigenação do sangue capilar pulmonar, a hemodinâmica central e o fluxo periférico do sangue. Para auxiliar na avaliação dos efeitos cardiopulmonares favoráveis e adversos, deve-se fazer monitorização adequada da ventilação, da oxigenação e da circulação sempre que se emprega ventilação mecânica para suporte ventilatório (RASANEN, 1994, p. 37). É reconhecido que o correto

⁴ Barotrauma é uma lesão pulmonar provocada pelo uso de altas pressões durante a ventilação mecânica e decorre da ruptura alveolar, devido à hiperinsuflação pulmonar, mais comum na ventilação assistido-controlada (SILVA *et al.*, 2005; MONTE *et al.*, 2005).

Volutrauma é a lesão associada à hiperdistensão das estruturas pulmonares provocada pelo uso de grandes volumes correntes durante a ventilação mecânica. Tal fato causa dano pulmonar por estiramento dos alvéolos, vias aéreas, membrana basal e até do endotélio capilar pulmonar (MONTE *et al.*, 2005).

manejo clínico e operacional da assistência ventilatória associado a uma monitorização respiratória adequada, podem minimizar os riscos do aparecimento das complicações pulmonares (AZEREDO, MOURA e GURGEL, 2002, p. 7; ARCÊNCIO *et al.*, 2008).

Além das alterações no sistema respiratório, comuns no período pós-operatório em pacientes sob VMI, o quadro clínico pode ser agravado pelas características próprias da função pulmonar em neonatos e crianças pequenas (POSTIAUX, 2004), tais como:

- 1) vias aéreas estreitas;
- 2) espaço morto aumentado;
- 3) menor tolerância à fadiga muscular;
- 4) baixa complacência pulmonar;
- 5) maior facilidade no acúmulo e drenagem de secreções traqueobrônquicas, o que gera uma maior instabilidade nos pacientes com cardiopatias congênitas.

De acordo com Hermeto *et al.* (2009), essas particularidades do sistema respiratório de pacientes RNs e crianças dificulta a realização do desmame e o processo de extubação bem sucedido no período pós-operatório. Devido a todos estes fatores de risco relacionados ao suporte ventilatório, o atraso no processo de desmame e extubação da VMI pode determinar um aumento da mortalidade dos pacientes (CRUZ, 2014).

2.3 DESMAME E EXTUBAÇÃO DA PRÓTESE VENTILATÓRIA

O processo de transição da VMI para a ventilação espontânea com a redução rápida ou gradativa dos parâmetros do ventilador é denominado desmame. Dando continuidade ao processo de desmame, a extubação é considerada a interrupção da VMI através da suspensão do suporte ventilatório e retirada do tubo endotraqueal (FARIAS e MONTEVERDE, 2006; GOLDWASSER *et al.*, 2007).

O desmame da VMI e a extubação endotraqueal são um dos principais objetivos terapêuticos para a evolução clínica e tratamento de pacientes no período pós-operatório de cirurgia cardíaca (TEN HARKEL *et al.*, 2005). Cerca de 40% do tempo total de ventilação mecânica corresponde à fase de desmame do modo ventilatório previamente utilizado pelo paciente e interrupção da VMI, esse percentual pode ainda variar dependendo do quadro respiratório que o paciente apresentar (GOLDWASSER *et al.*, 2007; ESKANDAR e APOSTOLAKOS, 2007).

A tabela 2 apresenta alguns estudos relevantes nos últimos anos em relação ao sucesso ou falha na extubação de pacientes RNs e crianças.

Tabela 2 – Incidência de sucesso ou falha na extubação de pacientes recém-nascidos e crianças.

								(continua)
Autor	Ano	População	Amostr n	Tipo de Estudo	Diagnóstico do Paciente	Parâmetros avaliados	Sucesso na extubação n (%)	Falha na extubação n (%)
Manczur <i>et al.</i>	2000	Crianças	42	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	PI _{MAX} e P (0,1)	36 (85,7)	6 (14,3)
Harrisson <i>et al.</i>	2002	Crianças	202	Retrospectivo	PO de Cirurgia Cardíaca	Características demográficas, dados pré, intra e pós-operatório	180 (89)	22 (11)
Kurachek <i>et al.</i>	2003	RN e Crianças	2794	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	Diagnóstico, condições respiratórias pré-existentes e duração da VMI	2620 (93,8)	174 (6,2)
Baisch <i>et al.</i>	2005	Crianças	3193	Retrospectivo	Cardiopatia Congênita	Tempo de permanência hospitalar, dias em UTI, duração da VMI, necessidade de traqueostomia e mortalidade hospitalar	3063 (96)	130 (4)
Ten Harkel <i>et al.</i>	2005	Crianças	184	Retrospectivo	PO de Cirurgia Cardíaca	Características demográficas, dados pré e pós-operatório	158 (85,8)	26 (14,2)
Szymankiewicz <i>et al.</i>	2005	RN	51	Prospectivo	Síndrome do desconforto respiratório	Dados da mecânica pulmonar	35 (60,8)	16 (32,9)
Noizet <i>et al.</i>	2005	Crianças	57	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	PI _{MAX} , IRRS, CROP e P (0,1)	45 (78,95)	12 (21,05)
Bouso <i>et al.</i>	2006	Crianças	86	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	Relação VD/VT	65 (75,6)	21 (24,4)
Silva <i>et al.</i>	2008	Crianças	29	Prospectivo	PO de Cirurgia Cardíaca	PEEP, FiO ₂ , volume de ar corrente, volume minuto, frequência cardíaca, frequência respiratória, SpO ₂ e gasometria arterial	25 (86)	4 (14)
Johnston <i>et al.</i>	2008	Crianças	59	Prospectivo	PO de Cirurgia Cardíaca	Parâmetros da VMI, IRRS, PI _{MAX} , relação carga/força e gasometria arterial	48 (81)	11 (19)
Davidson <i>et al.</i>	2008	RN	35	Prospectivo	RN de muito baixo peso	Frequência respiratória, volume corrente e relação FR/VC	20 (57)	15 (43)
Hermeto <i>et al.</i>	2009	RN	39	Retrospectivo	RN prematuro de baixo peso	Características perinatais e ventilatórias	30 (76,9)	9 (23,1)

Tabela 2 – Incidência de sucesso ou falha na extubação de pacientes recém-nascidos e crianças.

Autor	Ano	População	Amostr n	Tipo de Estudo	Diagnóstico do Paciente	Parâmetros avaliados	(conclusão)	
							Sucesso na extubação n (%)	Falha na extubação n (%)
Johnston <i>et al.</i>	2010	RN	40	Prospectivo	Bronquiolite aguda severa	Características demográficas, parâmetros da VMI, gasometria arterial e índices ventilatórios	34 (85)	6 (15)
Gatiboni <i>et al.</i>	2011	Crianças	100	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	Volume corrente, PI_{MAX} , IRRS e outros índices ventilatórios	87 (87)	13 (13)
Fávero <i>et al.</i>	2011	RN	73	Retrospectivo	RN prematuros	Características perinatais e ventilatórias	61 (83,5)	12 (16,5)
Riou <i>et al.</i>	2012	Crianças	42	Prospectivo	Pacientes em VMI por motivos variados	Relação VD/VT	38 (90,4)	4 (9,6)
Kaczmarek <i>et al.</i>	2013	RN	44	Retrospectivo	RN prematuro de baixo peso	Tempo inspiratório, tempo expiratório, tempo total da respiração, volume corrente e fluxo inspiratório	36 (81,8)	8 (18,2)

Fontes: Manczur *et al.* (2000), Harrison *et al.* (2002), Kurachek *et al.* (2003), Baisch *et al.* (2005), Ten Harkel *et al.* (2005), Szymankiewicz *et al.* (2005), Noizet *et al.* (2005), Bouso *et al.* (2006), Silva *et al.* (2008), Johnston *et al.* (2008), Davidson *et al.* (2008), Hermeto *et al.* (2009), Johnston *et al.* (2010), Gatiboni *et al.* (2011), Fávero *et al.* (2011), Riou *et al.* (2012), Kaczmarek *et al.* (2013).

Notas: Os dados estão expressos em número de pacientes (%).

CROP - Índice de complacência, frequência respiratória, oxigenação e pressão; FR/VC - relação da frequência respiratória pelo volume corrente; FiO_2 - Fração inspirada de oxigênio; IRRS - Índice de respiração rápida e superficial; P (0,1) - Pressão de oclusão das vias aéreas; PEEP - pressão expiratória positiva final; PI_{MAX} - Pressão inspiratória máxima; PO - Pós-operatório; SpO_2 - Saturação periférica de oxigênio; VD/VT - Relação entre espaço morto e volume corrente.

De acordo com a tabela 2, o desmame e a extubação da ventilação mecânica, geralmente, são bem sucedidos para a maioria dos pacientes, embora, para 4 a 43% desses, haja falhas na primeira tentativa (FRAZIER *et al.*, 2006; ESKANDAR e APOSTOLAKOS, 2007; SILVA *et al.*, 2008; AMBROSINO e GABRIELLI, 2010).

Em todos os casos de pacientes sob VMI, seja durante um curto ou longo período, a oportunidade da extubação deve ser avaliada frente aos riscos envolvidos tanto na retirada precoce como na permanência supérflua da cânula (BOUSSO *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2006; ESKANDAR e APOSTOLAKOS, 2007).

Quando a extubação é precoce, a retirada abrupta ou até mesmo inadequada da prótese ventilatória de pacientes que não apresentam condições de extubação pode resultar em desequilíbrio clínico, falência respiratória e necessidade de reintubação, os quais podem repercutir adversamente na evolução clínica do paciente (ELY *et al.*, 2001; ROTHAAAR e EPSTEIN, 2003; SILVA *et al.*, 2008).

Quando a extubação é tardia, a criança permanece um maior tempo sob VMI e conseqüentemente internada na UTI, aumentando assim o tempo de uso dos sedativos e o risco de complicações graves como a pneumonia e lesões laringotraqueais, além de aumentar os custos do tratamento (MEADE *et al.*, 2001; FERRER *et al.*, 2002; NEMER e BARBAS, 2011; CONTI *et al.*, 2014).

A infecção também é considerada um fator importante relacionado ao atraso no desmame e extubação da VMI. A presença do tubo endotraqueal por um período superior a três dias aumenta de forma significativa o risco de pneumonia intra-hospitalar, determinando maior tempo de permanência hospitalar, bem como o aumento da mortalidade (CARVALHO, HIRSCHHEIMER e MATSUMOTO, 2006; JOHNSTON *et al.*, 2008).

De acordo com Epstein (2002) a falha da retirada definitiva do respirador pode ser devida a:

- 1) Comprometimento do centro respiratório;
- 2) Alterações do sistema neuromuscular;
- 3) Inflamação da árvore traqueobrônquica e acúmulo de secreções respiratórias;
- 4) Lesões do trato respiratório superior;
- 5) Alterações alvéolo-intersticiais.

O quadro 1 apresenta os principais fatores associados à dificuldade na retirada do paciente RN e pediátrico da VMI, bem como um aumento no risco de falha na extubação. Uma compilação das principais causas de falha na extubação, segundo Rothaar e Epstein (2003), está descrita no quadro 2.

Quadro 1 – Fatores de risco associados à dificuldade de desmame da VMI e falha na extubação.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Baixa idade (menos de 24 meses de idade) 2. Baixo peso e história de prematuridade 3. Maior duração de ventilação mecânica invasiva 4. Anemia 5. Intensidade da doença primária no momento da extubação 6. Uso de sedativos em infusão intravenosa contínua 7. Sepses 8. Extubação acidental |
|--|

Fontes: Rothaar e Epstein (2003), Bousso (2004).

Quadro 2 – Principais causas de falha na extubação.

Aumento da demanda ventilatória	Aumento do espaço morto Aumento da produção de CO ₂ Acidose metabólica e dor
Aumento da resistência das vias aéreas	Excesso de secreções respiratórias Broncoespasmo Estreitamento do tubo endotraqueal
Aumento da complacência pulmonar	Edema pulmonar Pneumonia, Atelectasia, Derrame Pleural, Pneumotórax e Distensão abdominal
Fraqueza neuromuscular	Alteração eletrolítica Desnutrição, Sepses e Bloqueio neuromuscular
Redução do <i>drive</i> respiratório ⁵	Hipersedação Alcalose metabólica Doença do sistema nervoso central

Fonte: Rothaar e Epstein (2003).

Além de todos os fatores citados acima, Nozawa *et al.* (2003) relatam que o tempo de circulação extracorpórea⁶ (CEC) é um dos principais fatores que retarda o desmame da VMI em cirurgia cardíaca, devido ao importante distúrbio fisiológico causado pela resposta inflamatória ao circuito extracorpóreo. Este distúrbio provoca prejuízo na membrana dos

⁵ *Drive* respiratório pode ser definido como o estímulo neuro muscular inspiratório capaz de produzir movimentos respiratórios, ou seja, o comando respiratório (LOPES, BRITO e PARREIRA, 2005).

⁶ Circulação extracorpórea é um método onde o sangue proveniente das veias sistêmicas, geralmente das cavas, é drenado para um oxigenador que fornece O₂, retira gás carbônico e reduz a temperatura sanguínea. Na sequência, o sangue arterializado retorna até a raiz da aorta, através de um sistema de roletes que gera um fluxo contínuo da CEC até o paciente (ABELLAN e AULER, 1996, p. 294; SOUZA e ELIAS, 2006).

capilares pulmonares, levando a um aumento do *shunt* fisiológico e alterando as trocas gasosas, além disso, fica evidente que o tempo prolongado da CEC aumenta os efeitos deletérios e impõe uma sobrecarga ao sistema cardiocirculatório, muitas vezes já comprometido pela cardiopatia ou pela própria cirurgia (WESTABY *et al.*, 1993; ABELLAN e AULER, 1996, p. 294).

É imperativo, portanto, que o suporte ventilatório seja descontinuado o mais rapidamente possível, bem como removida a cânula endotraqueal. Isto deve ser procedido assim que o paciente possa sustentar a respiração de forma independente (HUGHES *et al.*, 2001). Desta forma, a decisão acerca do adequado momento de realizar a extubação, deve ser baseada em critérios acurados, objetivos e reproduzíveis. Isto ainda não é completamente possível, segundo diversos autores e colegiados médicos (MEADE *et al.*, 2001; EPSTEIN, 2002; ESKANDAR e APOSTOLAKOS, 2007; SELLARÉS, FERRER e TORRES, 2012; AHRQ, 2014, TALLO *et al.*, 2014).

O empirismo aplicado ao desmame da VMI leva à piora na qualidade do seu processo e conseqüentemente ao aumento na taxa de falha, morbidade e mortalidade. Com o aumento nos últimos anos dos estudos relacionados ao desmame, nota-se uma melhora na condução deste processo, tornando-o cada vez mais uma ciência e menos uma arte (NOZAWA *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2006; JOHNSTON *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2010; KIN *et al.*, 2011; KACZMAREK *et al.*, 2013; CRUZ, 2014).

Os protocolos de desmame estudados até o momento têm apresentado um grau de eficiência, porém faltam artigos com metodologia científica adequada, ampla amostra e evidências confiáveis, apresentando um protocolo que possa ser facilmente reproduzível à beira do leito, em pacientes RNs e crianças pequenas (DAVIS *et al.*, 2004; NEMER *et al.*, 2009; ROSE *et al.*, 2014). De acordo com Oliveira *et al.* (2006), a aplicação de um protocolo de desmame com rigor científico e um método padronizado pode trazer várias vantagens em relação ao desmame empírico. Dentre essas vantagens destacam-se:

- 1) Redução significativa no tempo de desmame;
- 2) Redução na relação entre tempo de desmame e tempo total de VMI;
- 3) Diminuição dos índices de insucessos e reintubações;
- 4) Diminuição da mortalidade;
- 5) Menor tempo de internação na UTI e de internação hospitalar;
- 6) Conseqüentemente redução dos custos hospitalares.

Segundo Goldwasser *et al.* (2007) as diversas formas de desmame empregadas refletem distintos julgamentos clínicos e estilos individualizados. Estudos atuais comprovam

que este empirismo aplicado para o desmame prolonga o tempo de VMI, as suas consequências fisiopatológicas e o custo hospitalar (PAGOWSKA-KLIMEK *et al.*, 2011; SELLARÉS *et al.*, 2011; TEIXEIRA *et al.*, 2012). A identificação de estratégias para reduzir o tempo de VMI e restabelecer a autonomia ventilatória torna-se prioritário, apesar de ainda não ter se estabelecido o melhor método (COSTA, SCHETTINO e FERREIRA, 2014; VALENZUELA, ARANEDA e CRUCES, 2014).

A sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia e a Associação de Medicina Intensiva Brasileira divulgaram, em 2000, o II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica, em que é sugerido para pacientes adultos um protocolo para o desmame da VMI envolvendo as seguintes fases:

- 1) Pré-desmame, que envolve os critérios clínicos e indicadores fisiológicos;
- 2) Processo de desmame, que engloba o método de interrupção da VMI e a monitoração;
- 3) A evolução do desmame, que avalia o sucesso e as causas de insucesso, a mortalidade e avaliação de escore prognóstico. A utilização de protocolos seria indicada e efetiva.

Os critérios clínicos que correspondem ao consenso geral para considerar o início do desmame da VMI estão descritos no quadro 3, estes critérios são utilizados para pacientes adultos, assim como para pacientes pediátricos (GOLDWASSER *et al.*, 2007; SANTOS, LEMOS e CARVALHO, 2010; CRUZ, 2014; VALENZUELA, ARANEDA e CRUCES, 2014).

Quadro 3 – Critérios clínicos para considerar o desmame da ventilação mecânica.

Parâmetros	Níveis Requeridos
1. Evento que motivou a VMI	Reversibilidade ou controle do processo
2. Aumento do suporte ventilatório nas últimas 24 h	Não
3. Presença de <i>drive</i> respiratório	Sim
4. Drogas vasoativas ou agentes sedativos	Com doses mínimas
5. Paciente sem hipersecreção	A necessidade de aspiração > 2 horas
6. Balanço hídrico	Correção de sobrecarga hídrica
7. Temperatura corporal	< 38,5°C
8. Utilização de musculatura acessória	Ausente
9. Batimento de asa de nariz	Ausente
10. Estabilidade hemodinâmica	Sim

Fontes: Borges, Andrade e Lopes (1999), Goldwasser *et al.* (2007), Eskandar e Apostolakos (2007), Nemer e Barbas (2011), Santos, Lemos e Carvalho (2010), Cruz (2014), Valenzuela, Araneda e Cruces (2014).

Os parâmetros funcionais e laboratoriais para elegibilidade dos pacientes pediátricos para o início do processo de desmame ventilatório estão listados na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros funcionais e laboratoriais para considerar o desmame da ventilação mecânica.

Parâmetros	Níveis Aceitáveis
Eletrólitos séricos (sódio, potássio, cálcio, fósforo)	Valores normais
Frequência Respiratória	< 45 rpm
Oxigenação	PaO ₂ > 60 mmHg, FiO ₂ < 0,40 e SaO ₂ > 90%
Equilíbrio ácido-básico	7,32 < pH < 7,47
Volume Corrente	> 5 ml/kg
Pressão inspiratória máxima	< -20 cmH ₂ O
PEEP	< 8 cmH ₂ O

Fontes: Goldwasser *et al.* (2007), Eskandar e Apostolakos (2007), Santos, Lemos e Carvalho (2010), Cruz (2014).

Notas: PaO₂: pressão arterial de oxigênio, FiO₂: fração inspirada de oxigênio, SaO₂: saturação arterial de oxigênio, PEEP: pressão positiva no final da expiração.

Sabe-se que o momento ideal para iniciar o desmame deve basear-se em critérios clínicos e laboratoriais que indiquem a habilidade da criança para manter a respiração espontânea com adequada troca gasosa (JOHNSTON e CARVALHO, 2010). No entanto, Cruz (2014) ressalta que não existe consenso quanto aos critérios preditivos da extubação, com escores e protocolos de conduta, para a faixa etária pediátrica.

Segundo Bousso (2003) a decisão de extubar um paciente, baseada apenas no preenchimento das condições clínico-laboratoriais, está associada a um risco de reintubação de até 30% em crianças submetidas à VMI. Normas e/ou consensos, entretanto, ainda não foram estabelecidos pelas sociedades médicas para a extubação de pacientes pediátricos (BOUSSO, 2004; FAVERO *et al.*, 2011; VALENZUELA, ARANEDA e CRUCES, 2014).

2.3.1 Índices Preditivos do Desmame da Prótese Ventilatória

Andrade *et al.* (2010) relataram que a busca por índices fisiológicos capazes de prever, acurada e reprodutivelmente, o sucesso da extubação ainda não chegou a resultados satisfatórios e nenhum índice já reportado foi consistente e capaz de prever o sucesso em RNs e crianças pequenas. Do ponto de vista clínico, não existem parâmetros definidos que possam garantir a falha ou o sucesso da extubação (FAVERO *et al.*, 2011; CRUZ, 2014).

De acordo com as Diretrizes Brasileira de Ventilação Mecânica (2013) os índices preditivos de desmame com melhor acurácia na literatura são: o índice de respiração rápida e

superficial (IRRS) e o índice de desmame integrado (*Integrative Weaning Index – IWI*). Nemer e Barbas (2011) realizaram uma revisão de literatura e avaliaram todos os parâmetros de predição do desmame em adultos, selecionando 49 estudos com maior relevância científica. A tabela 4 resume os achados destas revisões.

Tabela 4 – Parâmetros com significância para predizer o sucesso do desmame em adultos.

Parâmetro	Número de estudos	Níveis Aceitáveis para o sucesso no desmame
Medido no Ventilador		
Volume por Minuto	20	Inferior a 13 l/min.
Pressão inspiratória máxima (PI _{MAX})	16	Inferior a -30 cmH ₂ O
Pressão de oclusão da via aérea	4	Inferior a 4 cmH ₂ O
CROP	2	Inferior a 13
Medido na Ventilação Espontânea (1 – 2 min.)		
Frequência Respiratória	24	Inferior a 34 ciclos/min.
Volume Corrente	18	Inferior a 5 ml/kg
IRRS	20	Inferior a 105 respirações/min./l
IWI	2	Superior a 25 ml/cmH ₂ O/respirações/min./l

Fonte: Nemer e Barbas (2011), *Diretrizes Brasileira de Ventilação Mecânica* (2013).

Notas: IRRS - Índice de respiração rápida e superficial, CROP - Índice de complacência, frequência respiratória, oxigenação e pressão, IWI - *Integrative Weaning Index*.

A Pressão inspiratória máxima pode ser expressa em valor absoluto (sinal positivo), mas por convenção esse valor é precedido do sinal negativo.

O índice IRRS é calculado dividindo-se a frequência respiratória pelo volume corrente. A lógica desse índice está no fato de que quanto melhor a complacência e maior a força inspiratória, associadas a uma adequada troca gasosa e a uma menor frequência respiratória, maior a probabilidade de sustentar a ventilação espontânea sem a prótese ventilatória (LESSA *et al.*, 2010). O cálculo do IRRS pode ser realizado ao se utilizarem os valores fornecidos pelo monitor do ventilador mecânico ou através de um ventilômetro, mas ainda não é uma rotina estabelecida nas UTIs pelo fato de que a pressão de suporte ventilatório, por menor que seja, ainda oferece auxílio à inspiração do paciente, poupando-lhe, em certo grau, o trabalho, não sendo assim a medida uma expressão fiel da realidade, podendo até ser superestimada (SANTOS *et al.*, 2007).

Em 2008, Davidson *et al.* avaliaram 35 RNs em VMI e concluíram que o índice IRRS não contribuiu para identificar os pacientes que apresentaram falha na extubação. Em seu estudo, a semelhança entre o índice IRRS medida nos dois grupos de pacientes (sucesso e

falha na extubação) poderia ser explicada pela própria fisiologia respiratória neonatal, com irregularidade no ritmo respiratório, havendo oscilações no IRRS.

No estudo realizado por Johnston *et al.* (2008) com 59 crianças no período pós-operatório de cirurgia cardíaca, o índice IRRS e os gases sanguíneos também não estiveram relacionados com a falha da extubação. De acordo com Walsh, Czervinske e Diblasi (2010), o valor de IRRS é um dos parâmetros mais utilizados na prática clínica em adultos, porém quando analisado de maneira isolada não pode prever o sucesso da extubação na população pediátrica.

Em 2009, Nemer *et al.* idealizaram um novo índice para predição do desmame em adultos, denominado *Integrative Weaning Index*, calculado pela equação 1:

$$IWI = \frac{(C_{stat} \times SaO_2)}{\frac{FR}{VC}} \quad (1)$$

Onde: C_{stat} – complacência estática, SaO_2 – saturação arterial de oxigênio, FR/VC – relação da frequência respiratória pelo volume corrente. Como a C_{stat} e a SaO_2 são diretamente proporcionais entre si e indiretamente proporcionais à relação FR/VC , quanto maior o resultado do IWI, melhor será o prognóstico.

O índice IWI avalia, de forma integrativa a mecânica respiratória, a oxigenação e o padrão respiratório (NEMER e BARBAS, 2011). Embora os resultados desse índice sejam bastante promissores, ainda se torna necessário que ele seja avaliado em outros estudos para que sua acurácia possa ser comprovada em RNs e crianças (MADANI *et al.*, 2013).

De acordo com as Diretrizes Brasileira de Ventilação Mecânica (2013) os índices IRRS e IWI só devem ser calculados em situações de difícil decisão e não como um instrumento isolado na tomada de decisão para se realizar o desmame e a extubação da VMI.

A pressão de oclusão das vias aéreas ($P_{0,1}$) avalia a atividade do centro respiratório, estando diretamente relacionada ao estímulo neural. A $P_{0,1}$ mensura a pressão de oclusão das vias aéreas em 100 ms (0,1 s) no início da inspiração e é mensurada através de um balão esofágico ou indiretamente através de alguns ventiladores específicos. Levando-se em consideração que a passagem de um balão esofágico em momentos que precedem o desmame não é um procedimento tão simples e viável, a $P_{0,1}$ medida através dos ventiladores artificiais torna-se mais acessível na prática em UTI (CARDOSO, ALMEIDA e SILVA, 1995; NEMER, 2007).

Manczur *et al.* (2000) avaliaram uma amostra de 42 pacientes pediátricos intubados que foram considerados clinicamente prontos para a extubação e concluíram que a avaliação

da P 0,1 pode ser útil para prever as crianças prováveis de insucesso na extubação. No entanto, outros autores, Fernandez *et al.* (2004) e Mhanna *et al.* (2014), consideram a P 0,1 um índice fraco como preditor da falha de extubação em pacientes sob VMI.

O índice de CROP incorpora para o seu cálculo medidas de trocas gasosas, demandas do sistema respiratório e capacidade da musculatura respiratória (TEIXEIRA, 2004). É representado pela equação 2:

$$\text{CROP} = C_{\text{din}} \times \text{PI}_{\text{MAX}} \times \frac{\left(\frac{\text{PaO}_2}{\text{PAO}_2}\right)}{\text{FR}} \quad (2)$$

Onde: C_{din} refere-se à complacência dinâmica, PI_{MAX} corresponde à pressão inspiratória máxima, PaO_2 significa pressão arterial de oxigênio, PAO_2 refere-se a pressão alveolar de oxigênio ($\text{PaO}_2/\text{PAO}_2$ corresponde ao coeficiente de oxigenação) e FR, a frequência respiratória.

A lógica deste índice está no fato de que quanto melhor a complacência e maior a força, associadas a adequada troca gasosa e menor frequência respiratória, maior a probabilidade de sustentar a ventilação espontânea indefinidamente. O inconveniente é que, para seu cálculo, devem-se medir cinco variáveis (MARTINS *et al.*, 2005).

Venkataraman, Khan e Brown (2000) analisaram preditores de sucesso e fracasso de extubação em RNs e crianças em VMI por meio de mensurações da função respiratória e, segundo eles o índice de CROP não pode ser utilizado como preditor de sucesso na extubação da VMI. Em 2009, Newth *et al.* realizaram uma revisão de literatura sobre extubação em pacientes pediátricos em VMI, e destacaram que o índice CROP não é um método acurado para prever o sucesso na extubação da prótese ventilatória.

De acordo com Soo Hoo e Park (2002) para que os parâmetros de desmame sejam aplicáveis clinicamente e capazes de prever adequadamente o sucesso na extubação traqueal é imprescindível que o método de avaliação seja simples e reprodutível, porém, os estudos que descrevem os parâmetros, muitas vezes não expõem de forma adequada o método utilizado para sua obtenção ou utilizam instrumentos pouco disponíveis e aplicáveis. Sendo assim, é possível prever a existência de uma grande variabilidade nos métodos e critérios utilizados para a obtenção dos parâmetros de desmame na prática clínica (RODRIGUES *et al.*, 2005).

Existe uma variedade de protocolos desenvolvidos para o processo de desmame em adultos, entretanto, ainda há carência de estudos que avalie o desempenho em pacientes neonatais e pediátricos durante o período de internação em UTI (CUMMINGS e NOVISKI,

2014; MHANNA *et al.*, 2014), considerando que a extubação de crianças em UTI é ato com importante implicação na morbimortalidade de um grande contingente de pacientes criticamente enfermos ou em pós-operatório (BOUSSO, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Selecionar o tempo mais apropriado para a extubação é uma das decisões mais difíceis, pois existem várias publicações que identificam os fatores de risco para falha do desmame, contudo os critérios variam de estudo para estudo e não há na literatura protocolos exatos com dados específicos e validados para o grupo de pacientes neonatais e pediátricos (SCHULTZ *et al.*, 2001; FARIAS *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2008). A decisão de extubação, nestes casos, tem sido baseada na estabilidade clínica e na análise dos gases sanguíneos (gasometria) (HARRISSON *et al.*, 2002; JOHNSTON *et al.*, 2008).

Alguns autores relatam que os protocolos e processo de desmame e extubação da VMI seja o mesmo para adultos e crianças (NOIZET *et al.*, 2004; LECLERC *et al.*, 2010). No entanto, devido às particularidades do sistema respiratório de RNs e crianças pequenas, a maioria dos pesquisadores tem estudado índices preditivos e parâmetros de desmame que possa ser aplicado especificamente para esta população (KACZMAREK *et al.*, 2013; CRUZ, 2014; VALENZUELA, ARANEDA e CRUCES, 2014; MHANNA *et al.*, 2014).

Na tentativa de se evitar estas falhas no desmame da VMI e as suas possíveis complicações, diversos indicadores tem sido pesquisados e utilizados na prática e na rotina da UTI, como já foi mencionado nesse estudo. No entanto, existe uma escassez de pesquisas voltadas para a análise da pressão de CO₂ durante esse processo de retorno dos pacientes à ventilação espontânea, visto que, esse é um parâmetro de extrema importância durante a monitorização dos pacientes submetidos à VMI (THRUSH, MENTIS e DOWNS, 1991; MORLEY *et al.*, 1993; SAURA *et al.*, 1996).

Em todos os protocolos e pesquisas pediátricas já desenvolvidas foram encontrados apenas alguns poucos estudos, utilizando a capnografia como um índice preditivo no sucesso da retirada do paciente da prótese ventilatória, através da medida da relação entre o espaço morto e o volume corrente (Vd/Vt). Hubble *et al.* (2000) estudaram a utilidade do Vd/Vt como índice preditivo de sucesso na extubação de 45 crianças em desmame do suporte respiratório invasivo e concluíram que o índice foi adequado como preditivo de sucesso quando o Vd/Vt foi $\leq 0,65$ e, particularmente, se $\leq 0,5$. Bousso *et al.* (2006) avaliaram 86 crianças submetidas a ventilação mecânica, por etiologias variadas e observaram que o índice Vd/Vt médio não discriminou os grupos de falha e sucesso na extubação. Recentemente, Riou *et al.* (2012) avaliaram o índice Vd/Vt em 42 crianças ventiladas e concluíram que um índice inferior a 0,55 possui uma alta probabilidade de sucesso na extubação.

2.4 CAPNOGRAFIA

O metabolismo aeróbico final dos diversos tecidos orgânicos gera CO_2 que é carreado na corrente sanguínea em direção aos pulmões; no pulmão o CO_2 se difunde pelos alvéolos, e é eliminado durante a expiração (figura 2). Este gás, para ser exalado, depende da qualidade da ventilação, o que torna importante sua análise em pacientes sob VMI (EMMERICH, 1996; POSTIAUX, 2004). Os pulmões, mesmo com sobrecarga metabólica, são capazes de eliminar grandes quantidades de CO_2 , mantendo o equilíbrio dinâmico entre sua produção e excreção (GAMBAROTO, 2006).

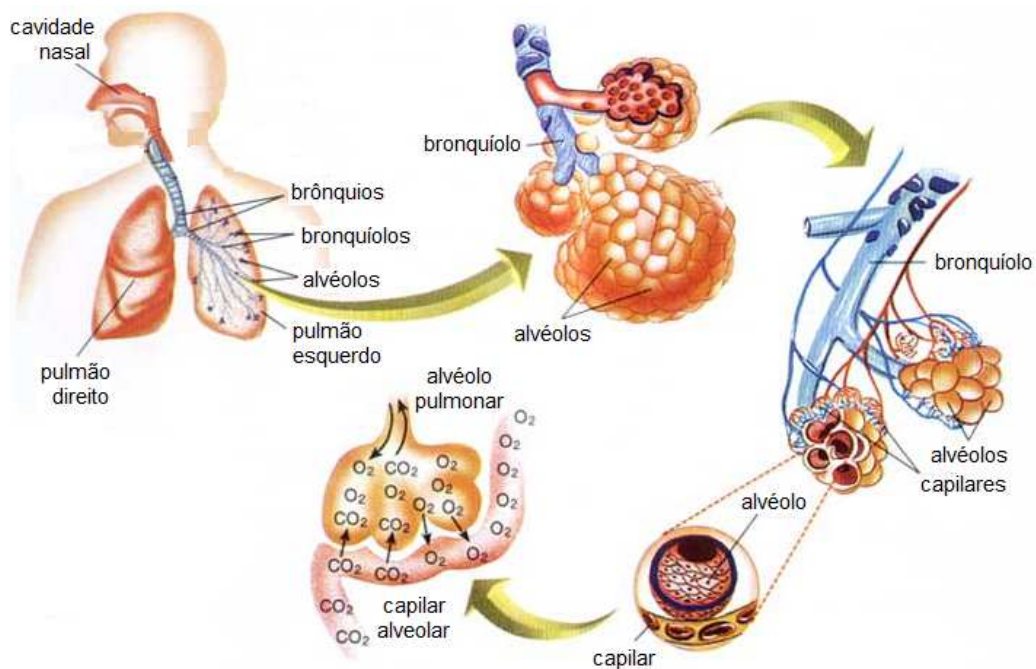


Figura 2 – Sistema do metabolismo de dióxido de carbono. Na hematose o oxigênio passa dos alvéolos para o sangue, e o gás carbônico, do sangue para os alvéolos. Os gases se difundem no sentido da maior para a menor concentração. A partir dos alvéolos o dióxido de carbono faz o caminho contrário do oxigênio: bronquíolos, brônquios, via aérea até ser expelido pelo nariz e/ou boca.

Fonte: Pereira (2014).

Capnometria é a técnica da medida de pressão parcial de CO_2 (mmHg, kPa) na via aérea do paciente durante todo o ciclo respiratório, fornecendo uma medida numérica da concentração de CO_2 no ar expirado ao final da expiração (PetCO_2) (CARVALHO, 1996, p. 163; BRAZ, 1996). Este valor representa, com boa aproximação, a pressão alveolar de CO_2 (PACO_2); tendo em vista que a PACO_2 reflete a PaCO_2 , normalmente a diferença entre a PACO_2 e a PetCO_2 é mínima, aproximadamente 2 mmHg (figura 3); porém, esse valor pode variar de acordo com o estado clínico do paciente (CARVALHO, 1996).

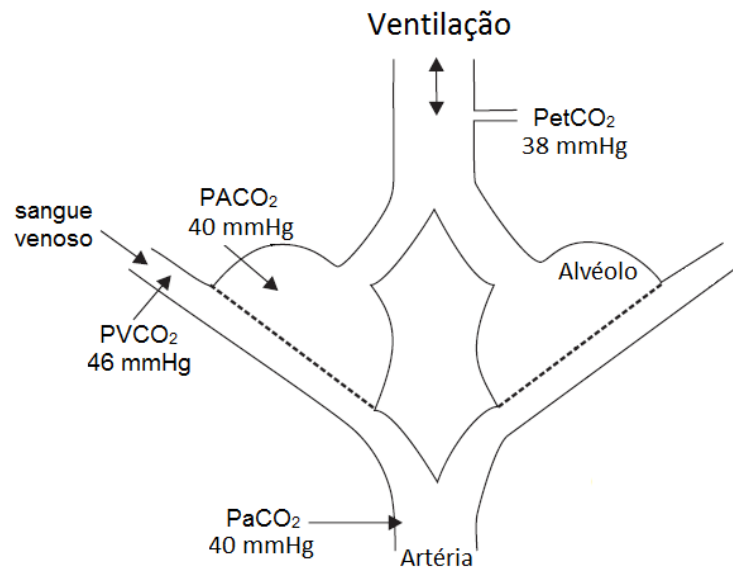


Figura 3 – Transporte do dióxido de carbono. Os diversos tecidos orgânicos geram dióxido de carbono que é carregado através do sangue venoso em direção aos pulmões, no pulmão o dióxido de carbono se difunde pelos alvéolos e é eliminado durante a expiração.

Fonte: Anderson e Breen (2000).

Notas: $PVCO_2$ – pressão de dióxido de carbono no sangue venoso, $PaCO_2$ – pressão arterial de dióxido de carbono, $PACO_2$ – pressão alveolar de dióxido de carbono, $PetCO_2$ – pressão final de dióxido de carbono expirado.

A análise do CO_2 expirado através da capnometria é um método não invasivo, rápido e preciso, que permite avaliar o gás expirado durante todo o ciclo respiratório, possibilitando o seu registro de forma contínua e facilitando a avaliação da ventilação aplicada (GAMBAROTO, 2006; BABIK *et al.*, 2012; ROWAN *et al.*, 2015).

Além do valor numérico da $PetCO_2$, é possível ainda obter o registro gráfico da curva da pressão de CO_2 na mistura gasosa expirada, em função do tempo (durante todo o ciclo respiratório), chamado capnograma (figura 4). Através da análise da onda de capnografia é possível avaliar a ventilação pulmonar do paciente e definir graficamente as fases do ciclo respiratório (THOMPSON e JAFFE, 2005; KRAUSS *et al.*, 2005).

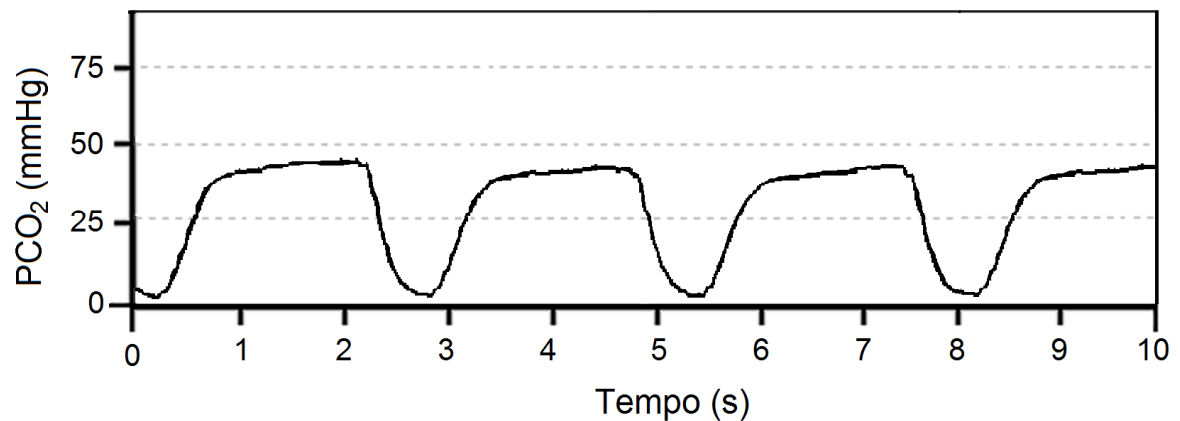


Figura 4 – Forma de onda de um capnograma normal: consiste da pressão de dióxido de carbono (PCO_2) versus o tempo.

Fonte: Própria.

Segundo Gilboy e Hawkins (2006) e Kazemi e Malarvili (2012) o capnograma (figura 5) é dividido em dois segmentos (expiração e inspiração) e em 4 fases (0, I, II e III), conforme abaixo:

Fase 0: na inspiração, a concentração de CO_2 no ar tende a zero;

Fase I: quando o paciente começa a expirar, inicialmente a taxa de CO_2 não se eleva, pois é a parte do gás expirado das vias aéreas e livre de CO_2 , representando o gás das vias aéreas de condução (representa o espaço morto anatômico).

Fase II: representa a mistura dos gases no espaço morto das vias aéreas com o gás alveolar e se caracteriza pela elevação progressiva na concentração do CO_2 , representada graficamente por uma elevação do traçado em forma de S.

Fase III: representa o volume alveolar. Caracterizado por uma fase de equilíbrio (platô) que deve-se ao esvaziamento tardio dos alvéolos que permaneceram por maior tempo em contato com os capilares pulmonares e, portanto, têm uma pressão de CO_2 mais alta. O valor de pico atingido, ao final da fase III, é chamado de $PetCO_2$ (valor indicado no capnômetro).

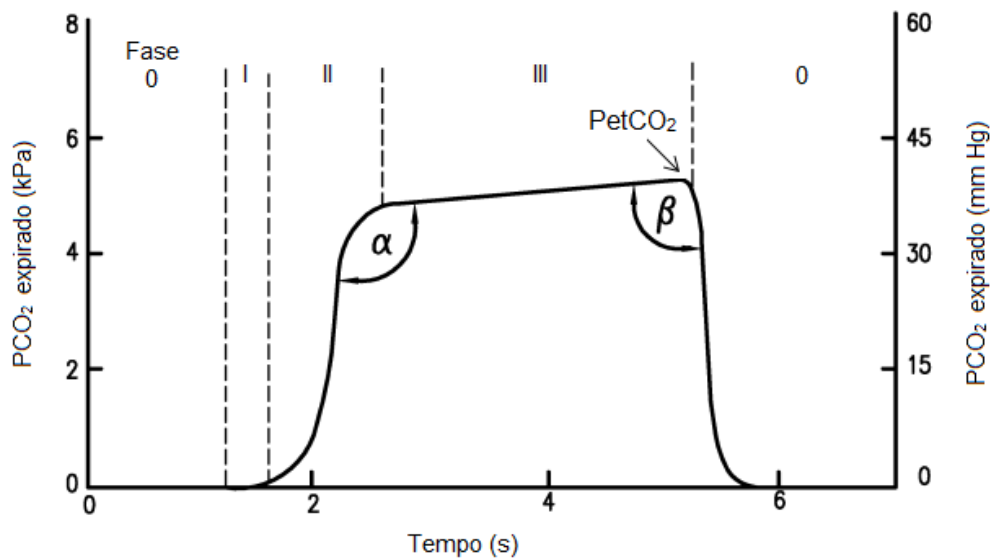


Figura 5 – Indicação das fases da forma de onda de um capnograma normal. Composta pela fase 0 (inspiração) e fases I, II e III (expiração), ângulos α e β . Unidade de medida: mmHg e kPa. Fonte: Gilboy e Hawkins (2006).

O ângulo alfa (entre as fases II e III) representa o estado de ventilação/perfusão do pulmão e o ângulo beta (entre a fase III e 0) representa o início da inspiração, em circunstâncias normais seus valores são aproximadamente 100° e 90° , respectivamente (SHANKAR e PHILIP, 2000; SHANKAR, 2013).

De acordo com Kai-Sheng *et al.* (2001), a curva capnográfica em adultos (figura 4 e 5) geralmente mostra um movimento ascendente rápido, seguido por um longo platô expiratório, e normalmente uma inclinação rápida para baixo em direção à base zero.

No entanto, provavelmente por causa das particularidades da função pulmonar, entre elas a taxa de respiração mais rápida e o menor espaço morto fisiológico (POSTIAUX, 2004), a curva capnográfica encontrada em RNs e crianças pequenas (figura 6) possui as seguintes características:

- 1) Menor tempo de linha basal;
- 2) Menor tempo de expiração;
- 3) Fase de inclinação ascendente e descendente da curva possui duração aproximadamente igual;
- 4) Pouco ou nenhum platô expiratório (KAI-SHENG *et al.*, 2001; THOMPSON e JAFFE, 2005).

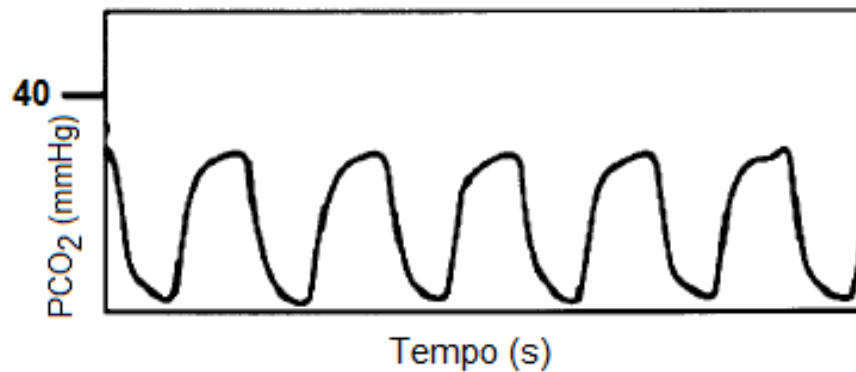


Figura 6 – Capnograma normal em recém-nascido e criança pequena.
Fonte: Thompson e Jaffe (2005).

2.4.1 Técnicas

Os sistemas atuais de medição para análise de gases de CO_2 empregados na capnografia são: espectrometria de massa e espectrofotometria por luz infravermelha (CARVALHO, 1996; SIVARAMAKRISHNAN, RAJAMANI e JOHNSON, 2009).

Na espectrometria de massa, há aspiração constante de uma pequena amostra do gás para uma câmara a vácuo, no interior da qual o gás é bombardeado por um feixe ionizante. Os íons resultantes são então expostos a um campo eletrostático e separados de acordo com a relação massa/carga. Devido a seu elevado custo, o espectrômetro de massa é colocado em local central do centro cirúrgico, de modo a permitir a análise de amostras de várias salas (BRAZ, 1996; MCDONALD *et al.*, 2002).

O espectrômetro de massa possui algumas vantagens, incluindo a rápida capacidade de tempo de resposta, sua precisão e estabilidade de medidas e, adicionalmente, tem a vantagem da medição de múltiplos gases simultaneamente, por isso o uso para a análise dos gases anestésicos (AULT e STOCK, 2004). Este sistema, no entanto, não tem sido utilizado devido principalmente ao alto custo e tamanho, dificuldade de operação e devido à interferência do óxido nítrico na leitura do CO_2 , pois ambos compostos apresentam a mesma massa atômica (JOHNSON, WHIPP e ZEBALLOS, 2003; SIVARAMAKRISHNAN, RAJAMANI e JOHNSON, 2009).

De acordo com Shankar (2013), atualmente a maioria dos capnógrafos utiliza a espectrofotometria por luz infravermelha, por se tratar do método mais comum e eficaz em termos de custos de medição e monitoramento de CO_2 (FOLKE e HÖK, 2008).

Basicamente os sensores baseados na absorção por infravermelho são compostos por um ou mais emissores de radiação infravermelha, um meio de transmissão onde deve ocorrer

a absorção, podendo ser composto de um ou mais caminhos para a radiação e um ou mais detectores (SCHAEFFER, 2004; MELO e MARTINS, 2011).

Os sensores baseados na absorção de energia na faixa do infravermelho utilizados nos equipamentos de capnografia são geralmente do tipo não dispersivos, chamados de *Nondispersive Infrared* (NDIR) (SCHAEFFER, 2004). Neste método, a intensidade de luz transmitida pela amostra em um comprimento de onda em que a mesma absorve energia é comparada com a intensidade de luz transmitida em outro comprimento de onda, onde não há absorção. A partir da razão entre as intensidades de radiação infravermelha transmitidas nestes dois comprimentos de onda é possível obter-se a densidade de moléculas do CO₂ (NORKUS, 2000).

O sensor de gás baseado em NDIR é um sistema eletro-óptico que pode ser representado pelo diagrama funcional da figura 7. A fonte gera o sinal infravermelho, que passa por um meio e por filtros óticos até atingir o detector, cujo sinal é condicionado eletronicamente para gerar uma saída proporcional à concentração do gás (SCHAEFFER, 2004).

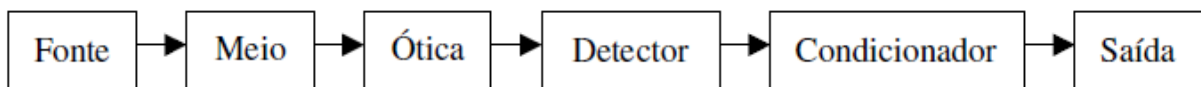


Figura 7 – Diagrama funcional do sensor de infravermelho do tipo não dispersivo.
Fonte: Schaeffer (2004).

A medição de CO₂ na mistura de gases respiratórios se baseia no fato de que diferentes componentes absorvem luz infravermelha em comprimentos de onda específicos. Assim, a cada comprimento de onda existe uma absorção maior ou menor, dependendo da molécula (NORKUS, 2000; LEVINE, 2000).

A quantidade de energia absorvida em um determinado comprimento de onda depende do número de moléculas presentes na trajetória do feixe e do coeficiente de absorção da molécula, conforme a lei de Beer-Lambert (LEE e LEE, 2001), expressa na equação 3:

$$A(\lambda) = E(\lambda)bc \quad (3)$$

Onde: $A(\lambda)$ refere-se a absorção, $E(\lambda)$ o coeficiente de absorção no comprimento de onda λ , b corresponde ao comprimento ótico entre emissor e detector e c a concentração do gás neste caminho.

Assim, a absorção num dado comprimento de onda é diretamente proporcional ao comprimento ótico e à concentração do gás. Desta forma, usando um feixe monocromático é possível obter a concentração de um gás sem a interferência de outros gases que podem estar misturados ao gás em análise (LEE e LEE, 2001).

De uma forma simples, a figura 8 ilustra um esquema de capnógrafo com espectrofotometria por luz infravermelha. Um feixe de luz infravermelha é direcionado através do fluxo de gás respiratório. Quando o feixe passa, parte da luz é absorvida pela mistura de gases. Nesse método é feita uma comparação entre a quantidade de energia infravermelha absorvida e o referencial zero (amostra sem CO₂). A absorção é feita por todos os gases com átomos diferentes na molécula, o CO₂ absorve praticamente toda a radiação no comprimento de onda de 4,27 µm. A quantidade de luz absorvida é então mensurada por um detector óptico com dois filtros posicionados para receber o feixe de luz infravermelha (AULER e CARVALHO, 1992; LEVINE, 2000, p. 1595; EMMA, 2006).

O espectrofotômetro incorpora um detector infravermelho que converte o feixe de luz em um sinal elétrico. O sinal elétrico é convertido para um valor digital, que é processado por um microprocessador. A relação da luz, medida através dos dois filtros é usada pelo microprocessador para calcular a concentração de CO₂ na mistura de gases respiratórios, mostrando instantaneamente a concentração do gás como pressão parcial em um *display* digital ou na forma de escala analógica (EMMERICH, 1998, p. 8; EMMA, 2006) (figura 8).

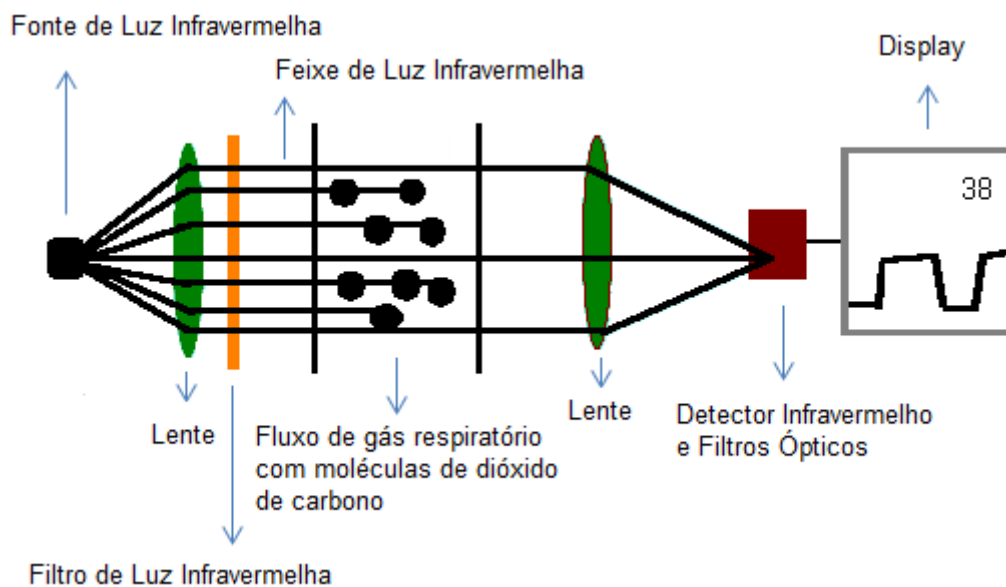


Figura 8 – Esquema do capnógrafo com espectrofotometria por luz infravermelha.
Fonte: Shankar (2014).

2.4.2 Classificação

Os capnógrafos são classificados conforme a localização do sensor no circuito respiratório em: aspirativos (*sidestream*) e não-aspirativos (*mainstream*) (figura 9).

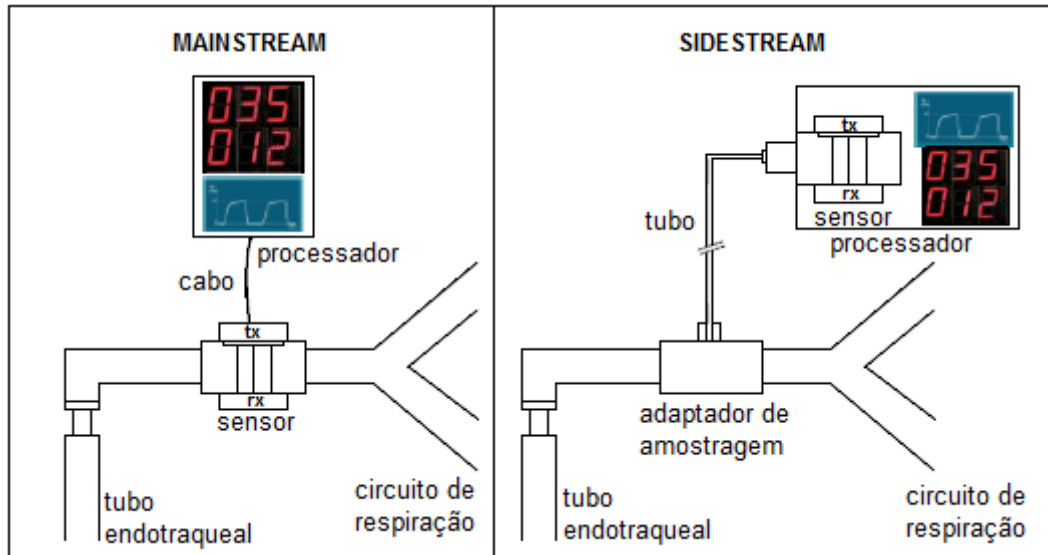


Figura 9 – Tipos de capnógrafos para a medida da concentração do CO₂ expirado: *mainstream* e *sidestream*. O sensor *mainstream* está intercalado entre o tubo endotraqueal e o circuito do respirador. A amostra do capnógrafo *sidestream* é aspirada da via aérea conduzida por um tubo capilar para uma câmara de absorção de luz infravermelha colocada à distância.

Fonte: Santoso e Setiaji (2013).

No sistema *mainstream*, o sensor de CO₂ que contém a fonte de luz infravermelha e o fotodetector é posicionado junto às vias aéreas, geralmente entre o tubo traqueal e o circuito do ventilador; por isso, não há necessidade de se remover gás das vias aéreas, pois a pressão de CO₂ é medida durante a passagem do gás pelo sensor. A principal vantagem do analisador *mainstream* é a sua resposta rápida, pois a câmara de medição faz parte do circuito de respiração. Em alguns monitores, entretanto, o tamanho e o peso do sensor podem provocar deslocamentos ou dobras na cânula endotraqueal, principalmente em pacientes RNs (ANDERSON e BREEN, 2000; SINGH *et al.*, 2001).

No capnógrafo *sidestream*, uma amostra de gás é continuamente aspirada das vias aéreas através de um tubo coletor e transportada para o corpo do aparelho, onde é analisada. O tubo coletor deve ter no máximo 2 metros de comprimento, 2 milímetros de diâmetro interno e ser impermeável ao CO₂ (teflon ou nafion). Um dos maiores problemas deste sistema é a condensação de água e muco que podem ocluir o tubo e ocasionar medidas incorretas, o nafion tem a vantagem de permitir a passagem seletiva de vapor d'água do interior para o

exterior do tubo, evitando alterações na leitura do aparelho (AHRENS e SONA, 2003; AULT e STOCK, 2004; YANG *et al.*, 2010).

O sistema *sidestream* pode ser aplicado tanto na presença de intubação traqueal como em pacientes sem prótese respiratória com o tubo coletor conectado às cânulas nasais, além disso, o sistema pode ser adaptado em anestesia sob circuito fechado, com a reinjeção do gás aspirado (BRAZ, 1996; AULT e STOCK, 2004).

Ainda, o sistema *sidestream* pode ser dividido em duas categorias: convencional e *microstream*. A tecnologia *microstream* possui uma taxa de fluxo da amostragem de 50 ml/min e a célula de amostra do equipamento utiliza um volume de 15 μ l, que permite uma baixa taxa de fluxo sem comprometer a taxa de resposta ou de precisão. Estas características preservam a acurácia, impedindo a mistura dos pequenos volumes inspiratório e expiratório observados em RNs, enquanto o tempo de resposta rápida é mantido pelo fluxo de gás laminar em todo o circuito respiratório (COLMAN e KRAUSS, 1999; SINGH *et al.*, 2013).

2.4.3 Aplicações da Mensuração da Pressão de Dióxido de Carbono Expirado

A PetCO₂ é um parâmetro de grande importância clínica, visto que pode ser empregada de maneira indireta para determinar a PaCO₂ e inferir na ventilação alveolar. Estudos mostram que a capnografia quando utilizada em conjunto com a oximetria de pulso pode reduzir a frequência de punções arteriais (SINGH e SINGHAL, 2006; RAZI *et al.*, 2012; SINGH *et al.*, 2013; ROWAN *et al.*, 2015). Entre outras aplicações, o registro e a medida contínua da PetCO₂ podem ser úteis na detecção e prevenção de eventos como desconexões do paciente do ventilador, vazamento dos circuitos, hipo ou hiperventilação, localização e posicionamento do tubo traqueal, etc. (EMMERICH, 1998, p. 8; MELLO e BUTANI, 2002, p. 269).

De acordo com Cheifetz e Myers (2007) a capnografia é uma importante ferramenta para o monitoramento das vias aéreas, para a gestão do ventilador e avaliação cardiorrespiratória em geral.

A mensuração da PetCO₂ tem provado ser eficaz em diversas áreas clínicas. Atualmente, a capnografia é uma obrigação em salas de operação, onde a PetCO₂ assume constante relação com a PaCO₂ permitindo ajustes de parâmetros do ventilador (BELPOMME *et al.*, 2005; WHITAKER, 2011; SHANKAR, 2013). Da mesma forma, a monitorização de PetCO₂ tornou-se essencial em unidade de emergência móvel (BOOTH e BLOCH, 2011; LANGHAN, 2011; PERCIVAL, 2012), serviços de emergência (NAGLER e KRAUSS,

2009; DEITCH *et al.*, 2010) e unidades de cuidados críticos (SINGH e SINGHAL, 2006; MC GRATH, 2014; GOONASEKERA *et al.*, 2014), confirmando o correto posicionamento do tubo endotraqueal (VARGESE, 2007; LANGHAN *et al.*, 2011; LANGHAN *et al.*, 2012) e controlando a integridade dos equipamentos de ventilação mecânica (HILLIER *et al.*, 1990; CHEIFETZ e MYERS, 2007). Além disso, este equipamento biomédico é também muito útil na ressuscitação cardíaca (FALCÃO, FERREZ e AMARAL, 2011; SCARTH e COOK, 2012; HERADSTVEIT *et al.*, 2012; SHANKAR e URMAN, 2014).

Quando a concentração do CO₂ expirado é medida com o propósito de avaliar a ventilação alveolar, o que se pretende é que ela reflita a PaCO₂. Uma vez que o CO₂ difunde rapidamente através da membrana alveolocapilar, a sua pressão parcial no alvéolo e no capilar terminal é aproximadamente igual na unidade pulmonar bem ventilada e bem perfundida. Quando os pulmões esvaziam-se, a composição do gás expirado inicialmente é igual à do espaço morto e, no final do volume corrente, equipara-se à composição do ar alveolar. A concentração de PetCO₂ reflete melhor a concentração no alvéolo e no final do capilar pulmonar. Entretanto, mesmo o gás expirado no final do volume corrente é contaminado pelo ar dos alvéolos mal perfundidos, que constituem o espaço morto alveolar. Portanto, existe um gradiente médio de 2-5 mmHg entre a PaCO₂ e a PetCO₂; assim, normalmente a PetCO₂ subestima a PaCO₂ (RASANEN, 1994, p. 42; RAZI *et al.*, 2012; ROWAN *et al.*, 2015).

Segundo Emmerich (1998) a monitorização da PetCO₂, quando disponível, deveria ser parte integrante da rotina de cuidados oferecidos à maioria dos pacientes sob VMI em UTI e deveria ser executada em conjunto com a obtenção de outros sinais vitais, especialmente quando se alteram parâmetros ventilatórios que possam afetar a condição de estabilidade cardiopulmonar dos pacientes críticos.

Não foram encontrados na literatura estudos relacionando as mensurações de PetCO₂ e os parâmetros extraídos do capnograma com o processo de desmame e extubação do ventilador mecânico. Ainda, em todos os protocolos já desenvolvidos não se encontrou estudos direcionando a pressão de CO₂ expirado como um índice preditivo do sucesso da retirada do paciente neonatal e pediátrico da VMI.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se a sequência do desenvolvimento deste trabalho. Com o intuito de facilitar a compreensão da metodologia, uma representação esquemática foi criada para descrever as etapas percorridas durante o estudo (figura 10).

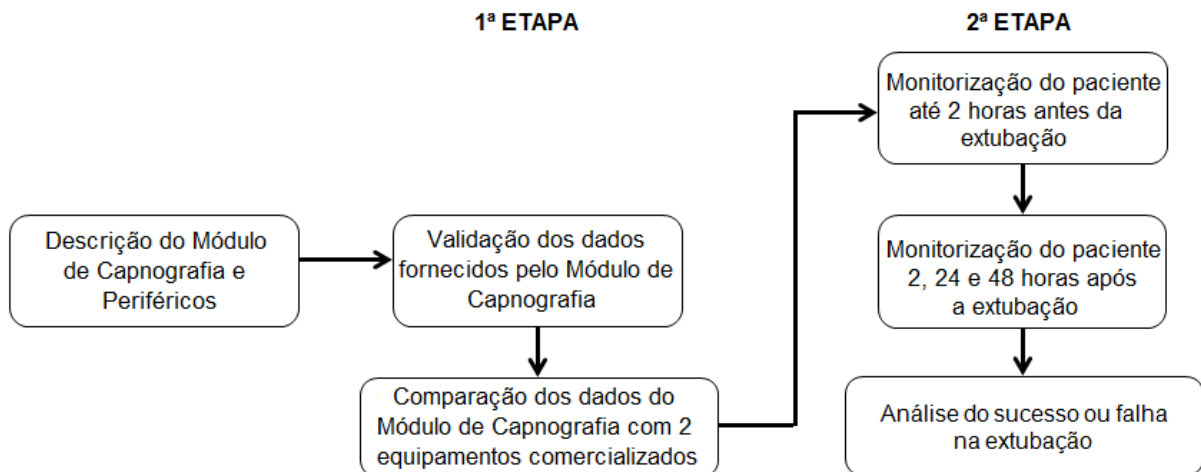


Figura 10 – Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia deste projeto. Inicialmente foi descrito o módulo de capnografia e os periféricos utilizados neste estudo. A 1ª etapa refere-se a validação dos dados obtidos pelo módulo de capnografia; a 2ª etapa corresponde a monitorização da pressão de dióxido de carbono nos pacientes, no máximo 2 horas antes até 48 horas após a extubação da ventilação mecânica invasiva.

Fonte: Própria.

Inicialmente apresenta-se a descrição do módulo de capnografia e dos periféricos utilizados para a obtenção das mensurações da pressão de CO₂ nos pacientes durante todo o estudo. Em seguida para atingir os objetivos propostos, o estudo foi desenvolvido em duas etapas:

- A primeira etapa consistiu na validação dos dados fornecidos pelo módulo de capnografia através da comparação das mensurações obtidas por este dispositivo com outros dois equipamentos de capnografia comercializados no Brasil e regulamentados pela Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) em pacientes neonatais e pediátricos no período pós-operatório de cirurgia cardíaca e internados na UTI cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe em Curitiba. Esta etapa foi denominada de “Validação das mensurações obtidas pelo módulo de capnografia”.
- Na segunda etapa, após a avaliação favorável quanto à acurácia do módulo de capnografia, um estudo observacional prospectivo foi realizado com pacientes neonatais e pediátricos internados na UTI cardíaca após cirurgia cardíaca. Os pacientes em VMI foram monitorados

assim que o processo de desmame e extubação da VMI foram iniciados pela equipe médica até 48 horas após a extubação, para analisar o desfecho (sucesso ou falha) do processo de extubação da VMI. Esta etapa foi denominada de “Extubação da ventilação mecânica invasiva”.

3.1 DESCRIÇÃO DO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA

3.1.1 Monitor da Pressão de Dióxido de Carbono Expirado

O equipamento utilizado para monitorar as mensurações da pressão de CO₂ foi um Módulo Compacto de Capnografia *Sidestream* (CO₂CGM – *CapnoGraphy Module* OA1000, Ronseda, Shenzhen, China), OEM (*Original Equipment Manufacturer*). O aparelho foi projetado para atender os requisitos de desempenho e segurança para capnógrafos de acordo com a norma ISO21647 – Requerimento de desempenho do equipamento eletro-médico para a segurança básica e desempenho essencial para monitor de gás respiratório (Anexo A).

O Módulo de Capnografia (figura 11) é um sistema integrado que incorpora um microcontrolador, uma mini bomba e um sensor baseado na absorção por infravermelho.

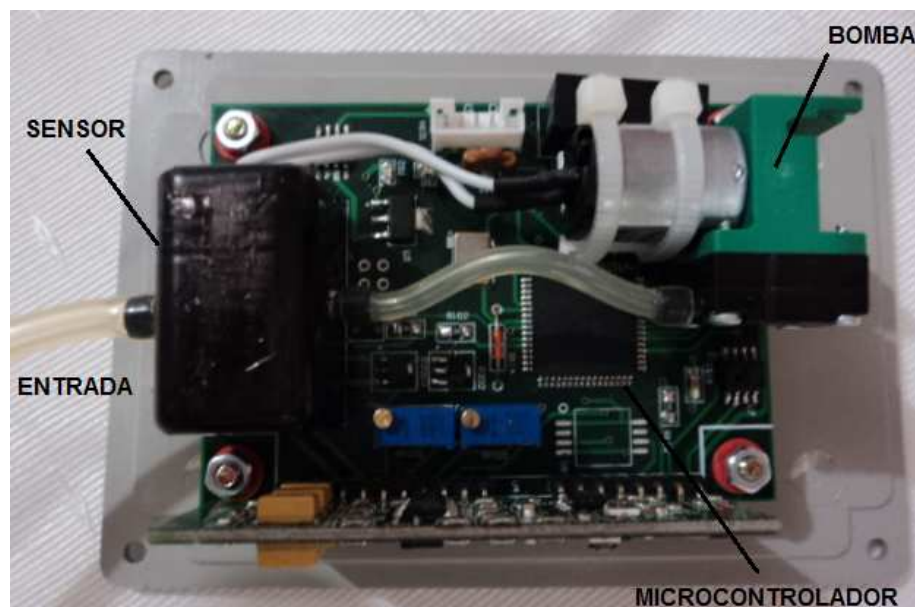


Figura 11 – Placa do módulo compacto de capnografia (CO₂CGM - *CapnoGraphy Module*), acoplado a uma base, com indicação do sistema integrado (bomba, sensor de infravermelho e microcontrolador).
Fonte: Própria.

Na figura 12 está representado o diagrama em blocos do funcionamento do módulo de capnografia e interfaces.

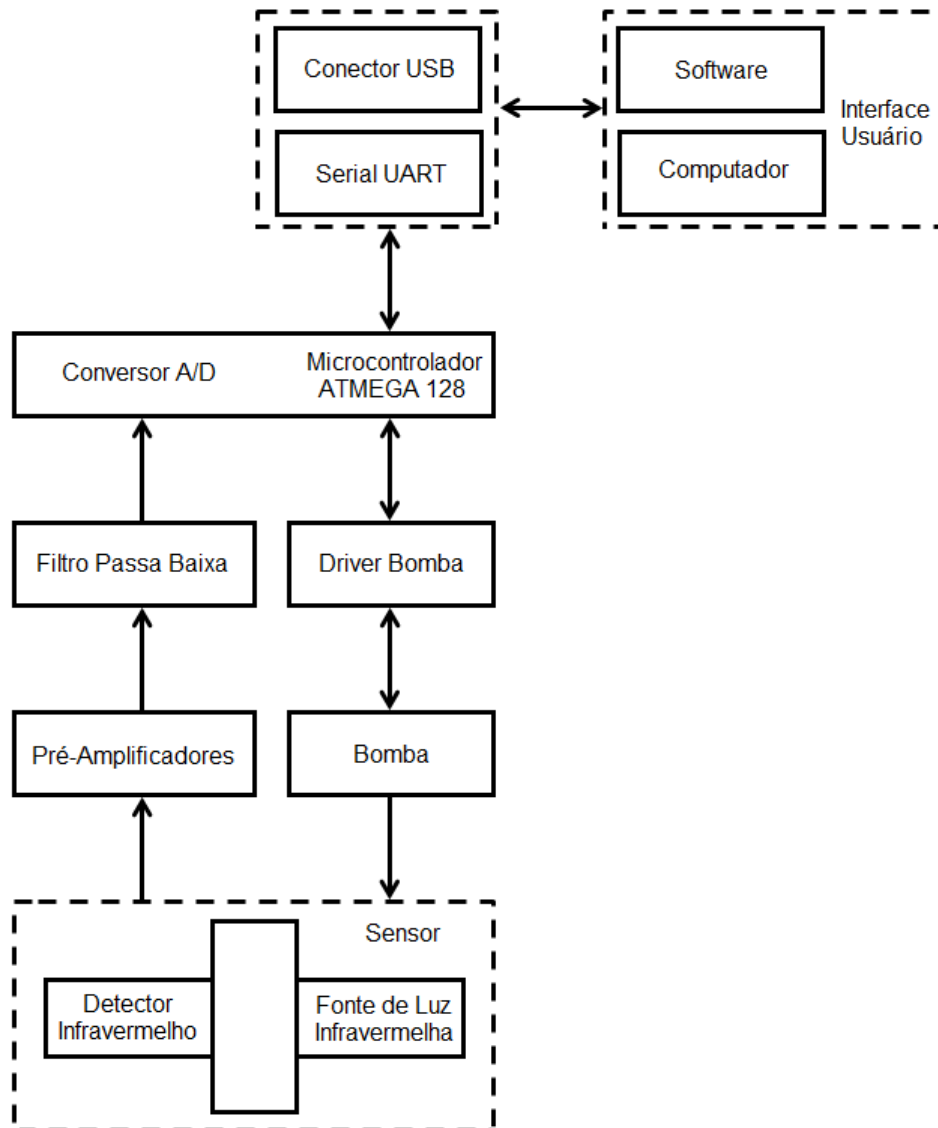


Figura 12 – Diagrama em blocos do funcionamento do módulo de capnografia e interfaces. A bomba aspira o gás respiratório que passa pelo sensor. A fonte de luz do sensor gera um sinal infravermelho, que passa por um meio e por filtros ópticos até atingir o detector, em seguida o sinal é amplificado e filtrado. Depois de condicionado, o sinal é recebido pelo conversor A/D e processado pelo microcontrolador. Os dados são então enviados para o computador via UART. A interface do usuário com o módulo de capnografia é realizada através de um *software*. Ver o texto para mais detalhes.

Fonte: Própria.

Os gases respiratórios são amostrados usando uma mini bomba com uma taxa de 50 - 150 ml/min e, em seguida entregue à câmara de infravermelho. Dentro da câmara, o transmissor óptico emite continuamente um feixe infravermelho não dispersivo para dois receptores na outra extremidade. Um receptor contém um filtro passa-faixa que permite a detecção do comprimento de onda no espectro de absorção de CO₂. Este canal de dados é proporcional à intensidade da energia modulada pela concentração de CO₂. O segundo

receptor tem um filtro que permite a detecção de toda a energia infravermelha. Este é o canal de referência, proporcional à intensidade da energia da fonte de infravermelho emitida. Quanto maior for a concentração de CO₂ mais energia infravermelha é absorvida; assim, menos energia atinge o detector e um valor inferior é lido pelo conversor A/D. O sinal dos canais de dados e de referência são amplificados e filtrados antes de serem processados pelo microcontrolador (JAFFE, 2003; SANTOSO e SETIAJI, 2013).

Depois de condicionadas, as intensidades do sinal transmitido e absorvido são determinadas pelo microcontrolador de acordo com a equação de Beer-Lambert (LEE e LEE, 2001). Para calcular a frequência respiratória um algoritmo é incorporado no *firmware* do microcontrolador.

Os resultados dos cálculos são então organizados em pacotes de dados e enviados para o computador via comunicação assíncrona serial, pelo padrão UART em nível TTL, com velocidade de 19.200 bps e 8 bits de dados (RONSEDA, 2011; SANTOSO e SETIAJI, 2013).

Essencialmente, a porta serial I/O é utilizada para transmitir os valores dos parâmetros e as cadeias de mensagens de erro, estas são compostas de uma mistura de caracteres ASCII e dígitos binários. A interface do usuário com o módulo de capnografia é realizada através de um *software* (RONSEDA, 2011).

Tendo em vista que foi utilizado um *notebook* (modelo PHN10303 Philco, Filadélfia, Pensilvânia, EUA) conectado ao módulo de capnografia, foi necessário acrescentar ao módulo uma placa conversora de padrão RS232 para USB (figura 13). Além da função de comunicação, a porta USB é também a fonte de alimentação do módulo de capnografia, que opera em 5 volts.

Durante a operação normal, o módulo de capnografia consome aproximadamente 600 mW (120 mA) com 5 V, isso inclui a bomba e a fonte de infravermelho. No entanto, durante o processo de sucção utilizado para a calibração de referência zero, a bomba funciona em alta velocidade e o módulo consome aproximadamente 1.750 mW (350 mA) a 5 V por cerca de cinco segundos.



Figura 13 – Equipamento de mensuração da pressão de dióxido de carbono expirado. A: Módulo de capnografia, B: Placa conversora de RS232 para USB.
Fonte: Própria.

Optou-se por um dispositivo *sidestream*, em que a capnografia é realizada por amostragem contínua do gás expirado a partir de uma derivação lateral do tubo proximal endotraqueal. O volume de gás extraído a partir do circuito de respiração é determinado pelas características do capnógrafo. A vantagem deste dispositivo é que permite a monitorização de pacientes após a extubação da VMI, uma vez que a amostragem dos gases expiratórios pode ser obtida através de adaptadores nasais nos pacientes respirando espontaneamente. Esta característica permite a monitorização de CO₂ expirado mesmo nos pacientes que recebem a administração simultânea de oxigênio (HAGERTY *et al.*, 2002; SHANKAR, 2014).

A maioria dos analisadores de CO₂ do tipo *sidestream* requerem uma alta taxa de fluxo de amostragem (150 ml/min), o que reduz o volume corrente emitido, especialmente em lactentes e crianças pequenas (SINGH *et al.*, 2001, LOPEZ *et al.*, 2009). É importante uma faixa de amostragem de fluxo suficientemente baixa de 50 ml/min, tendo em vista o uso do equipamento em RNs que apresentam um baixo fluxo e pressão respiratória, comparado aos adultos (HAGERTY *et al.*, 2002).

Geralmente, os capnógrafos *sidestream* aspiram uma parcela significativa da ventilação total do paciente. Por exemplo, um RN com uma ventilação de 250 ml/min (volume corrente de 5 ml/kg e frequência respiratória de 50 rpm) e uma taxa de amostragem *sidestream* de 50 ml/min, conduz a uma perda de 20% da ventilação para o sistema de amostragem *sidestream*. Com um equipamento *sidestream* com alta taxa de amostragem, entre 150 e 250 ml/min, as consequências poderiam ser graves (JAFFE, 2002).

3.1.2 Acessórios do Capnógrafo

Para a utilização do módulo de capnografia de forma segura e com bom desempenho em pacientes neonatais e pediátricos foram utilizados alguns acessórios, mostrados na figura 14 e descritos abaixo:

- 1) Conexões de tubo;
- 2) Conectores do circuito de gás (OA1001, Ronseda, Shenzhen, China) – Dispositivo intercalado entre o módulo de CO₂ e o tubo de amostra. Seu uso é opcional, porém é recomendado quando existe muita umidade no sistema ou quando o período de monitorização é longo, pois tem a função de remover o vapor no gás respiratório, evitando assim alterações na leitura do aparelho;
- 3) Tubo de amostra respiratória (OA1002, Ronseda, Shenzhen, China) – Cânula de plástico para a passagem do gás;
- 4) Adaptador de via aérea neonatal e pediátrico (Oridion, Needham, MA, USA e Smiths Medical, Ashford, Kent, UK) – Dispositivo conectado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador, que permite a monitorização da pressão de CO₂ expirado sem que haja perda do gás respiratório;
- 5) Cânula nasal (ref. 4000, Salter Labs, Califórnia, USA) – Tubo de plástico utilizado nos pacientes em respiração espontânea, esse tubo conduz o gás expirado das narinas do paciente até o equipamento de capnografia.

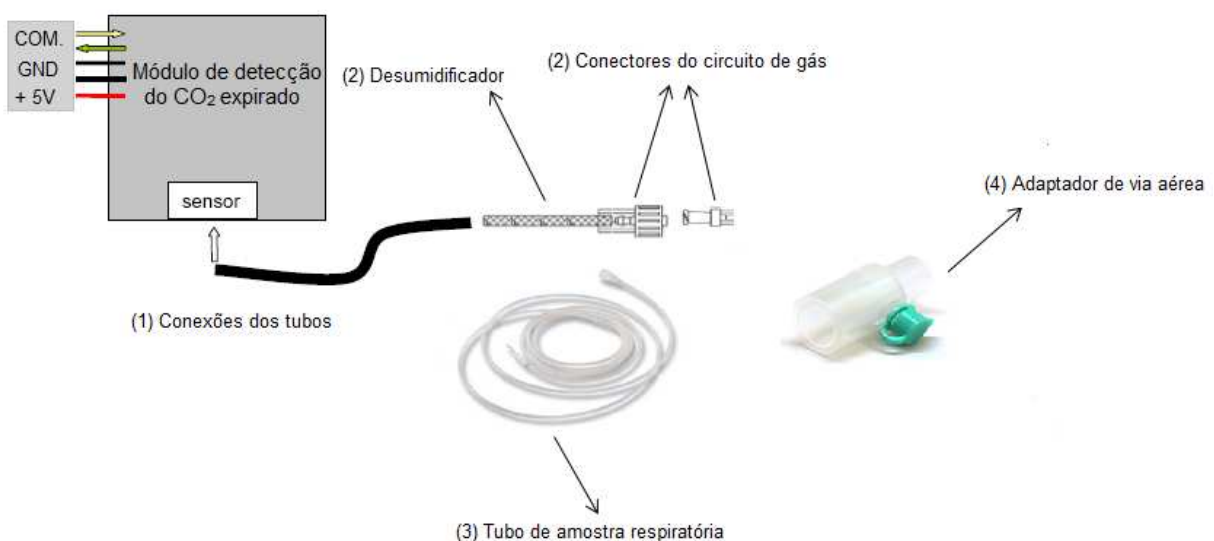


Figura 14 – Representação esquemática dos acessórios para a utilização do módulo de capnografia.
Fonte: Própria.

Para acoplar o tubo de amostra respiratória ao paciente intubado em VMI, foi necessário um adaptador de via aérea compatível com o módulo de capnografia, desta forma foram utilizados dois modelos:

- 1) Adaptador de via aérea infantil e neonatal (Oridion, Needham, MA, USA);
- 2) Adaptador pediátrico (Smiths Medical, Ashford, Kent, UK).

O *software* utilizado para fornecer uma interface entre o usuário e o módulo de capnografia foi o Capnostat 5 Host (Respironics Novamatrix, LLC, Wallingford, CT, USA), através dele foi possível exibir e armazenar os dados recebidos do módulo de capnografia em um computador (figura 15). Três funções são permitidas pelo programa Capnostat:

- 1) Ajustar os parâmetros: concentração de O₂ e presença de agentes anestésicos;
- 2) Armazenar as informações dos pacientes, como: idade, peso, sexo, diagnóstico, histórico e medicações;
- 3) Armazenar as mensurações da pressão de CO₂ expirado e a frequência respiratória em um intervalo de tempo pré-determinado pelo pesquisador.

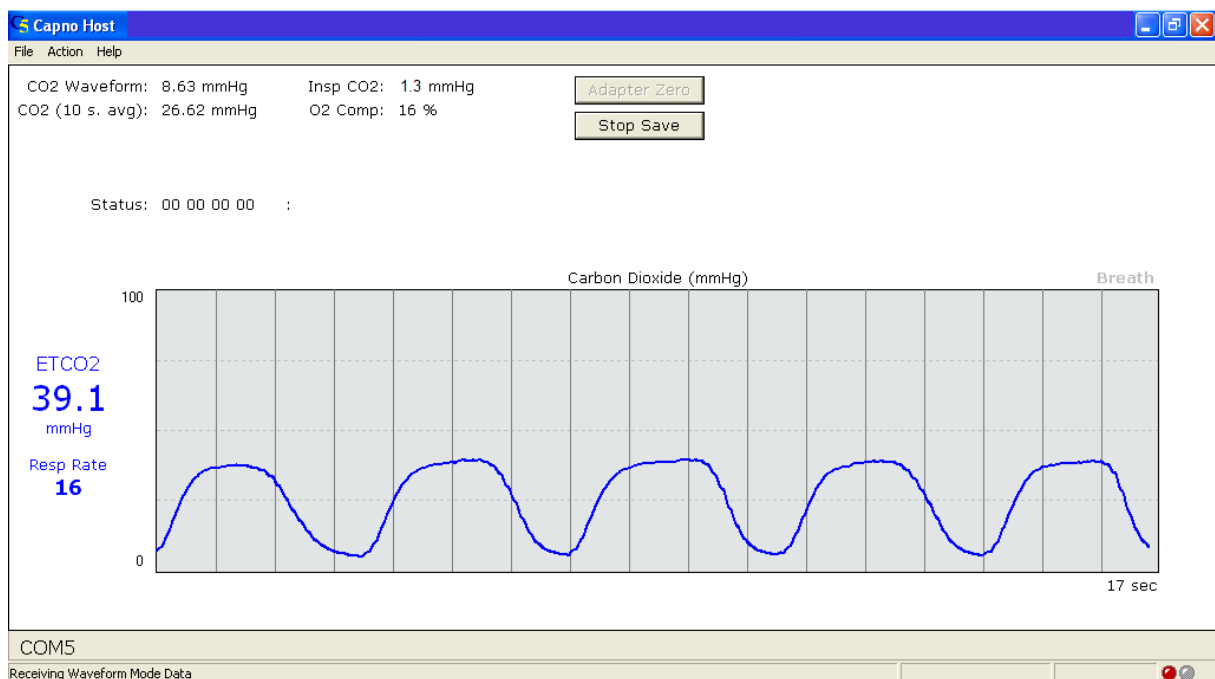


Figura 15 – Ilustração do programa Capnostat 5 Host: mensurações da pressão de dióxido de carbono, frequência respiratória e o capnograma.
Fonte: Própria.

Através do programa Capnostat 5 Host foi possível armazenar as informações do paciente e os parâmetros de CO₂ no formato CSV (*comma separated values*) no MS Excel®.

Os seguintes parâmetros foram salvos em um intervalo de 0,25 segundos:

- 1) CO₂ médio;
- 2) CO₂ inspirado;
- 3) PetCO₂;
- 4) Frequência respiratória.

O arquivo CSV foi convertido no formato .xls (planilha do MS Excel®). Esses dados foram utilizados para traçar o formato da onda de CO₂ e para posterior análise da ventilação do paciente através dos valores de PetCO₂ e dos parâmetros do capnograma.

3.2 VALIDAÇÃO DAS MENSURAÇÕES OBTIDAS PELO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA

Ainda que o módulo de capnografia tenha sido projetado para atender os requisitos de desempenho e segurança de acordo com a ISO21647, e estava devidamente calibrado, de acordo com as normas do fabricante durante todo o período do estudo, optou-se em avaliar o desempenho deste equipamento, tendo em vista que o módulo de capnografia não é comercializado no Brasil e, portanto, não passou pelo processo de registro e regulamentação da Anvisa.

A validação dos dados obtidos pelo módulo de capnografia (considerado equipamento A) se deu através da comparação com outros dois dispositivos de mensuração da pressão de CO₂ comercializados no Brasil, sendo eles:

- Equipamento B: Capnógrafo *sidestream* (CAP10, Medlab, Karlsruhe, Alemanha);
- Equipamento C: Capnômetro portátil *mainstream* (EMMATM - *Emergency Mainstream Analyzer*, Phasein AB, Suécia).

A seleção do módulo de capnografia, para este estudo, foi baseada nas especificações e características que este dispositivo apresenta quando comparado com outros equipamentos de capnografia, em destaque: faixa de amostragem a partir de 50 ml/min, rápido tempo de resposta do detector (10 ms), baixo tempo de inicialização, alta faixa de mensuração da pressão de CO₂ (0 a 114 mmHg), acurácia do CO₂ e valor do módulo de capnografia. Na tabela 5 seguem as principais características e especificações técnicas dos três equipamentos utilizados na primeira fase do estudo.

Tabela 5 – Características e especificações técnicas dos equipamentos de capnografia.

Característica	Módulo Compacto de Capnografia CO ₂ CGM Ronseda	Capnógrafo CAP10 Medlab	Capnômetro de Emergência EMMA™
Transdutor	<i>Sidestream</i>	<i>Sidestream</i>	<i>Mainstream</i>
Faixa de amostragem	50 – 150 ml/min	60 – 150 ml/min	Não se aplica
Princípio de operação	Absorção Infravermelho não dispersivo com feixe óptico simples	Absorção Infravermelho não dispersivo	Absorção Infravermelho não dispersivo
Tempo de resposta do detector	10 ms	400 ms	60 ms
Tempo de inicialização	O capnograma é exibido no <i>display</i> em menos de 5 s	Não informado	O capnograma é exibido no <i>display</i> em 5 s
Faixa de mensuração do CO ₂	0 a 114 mmHg	0 a 80 mmHg	0 a 99 mmHg
Acurácia do CO ₂	0 – 40 mmHg: ± 2 mmHg 41 – 114 mmHg: ± 3% da leitura	0 – 40 mmHg: ± 2 mmHg 41 – 80 mmHg: ± 5% da leitura	0 – 40 mmHg: ± 2 mmHg 41 – 99 mmHg: ± 6% da leitura
Valor	R\$ 850,00	R\$ 8.628,00	R\$ 12.420,00

Fonte: Medlab (2005), EMMA (2006), Ronseda (2011).

A amostra de 30 pacientes neonatais e pediátricos foi definida pela disponibilidade de pacientes entre 5 dias e 1 ano de idade, de ambos os sexos, internados na UTI e submetidos à cirurgia cardíaca no período de outubro a novembro de 2011. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos do Hospital Pequeno Príncipe.

Os pacientes estavam intubados por um período mínimo de 8 horas e máximo de 5 dias no Ventilador Inter 5 (Intermed, SP, Brasil) usando pressão limitada, tempo ciclado no modo assisto-controlado e posicionados em decúbito dorsal com a inclinação da cabeça entre 0 e 15°. Com o intuito de obter um grupo o mais homogêneo possível, foram considerados como critérios para exclusão, nesta etapa do estudo, os pacientes com: sepse, tórax aberto, febre e instabilidade hemodinâmica grave.

As mensurações de CO₂ foram realizadas em uma única vez, no período da manhã, pelos três equipamentos em sequência pré-determinada por um sorteio. Nos capnógrafos *sidestream* (equipamento A e B) a coleta de dados foi realizada através de um adaptador de via aérea colocado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador e conectado a um tubo de amostra respiratória acoplado ao aparelho de capnografia. Diferente, o capnômetro *mainstream* (equipamento C) foi encaixado diretamente entre o tubo endotraqueal e o circuito

do ventilador através do adaptador de via aérea infantil EMMATM (*Emergency Mainstream Analyser*).

Para a análise quantitativa do capnograma dividiu-se um período do ciclo respiratório em sete tempos de 0,25 segundos cada. A figura 16 apresenta um exemplo, do momento em que os valores mensurados da pressão de CO₂ expirado foram obtidos em relação ao tempo.

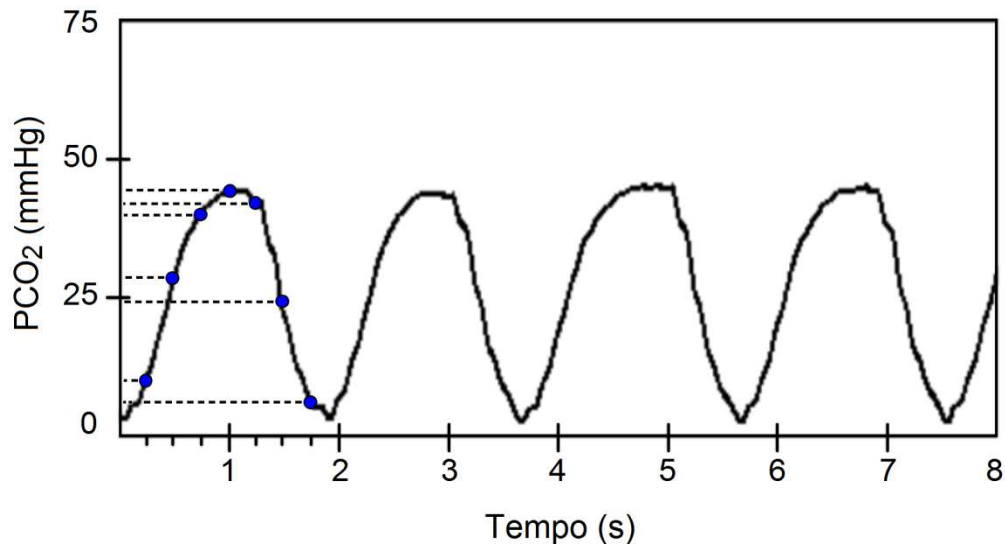


Figura 16 – Análise da onda de dióxido de carbono nos tempos: 0,25 segundos (T₁); 0,5 segundos (T₂); 0,75 segundos (T₃); 1 segundo (T₄); 1,25 segundos (T₅); 1,5 segundos (T₆); 1,75 segundos (T₇).
Fonte: Própria.

Os sete tempos de 0,25 segundos foram selecionados tendo em vista a proporção de um ciclo respiratório de 2 segundos. Em geral, o tempo inspiratório ajustado na prótese ventilatória para RNs (até 1 mês) é de 0,4 a 0,6 segundos e para lactentes (até 2 anos de idade) é entre 0,5 e 0,7 segundos (TILELLI, 2008). Considerando uma relação inspiração:expiração (I:E) indicada de 1:2 e o valor mais alto de tempo inspiratório de 0,7 segundos, o ciclo respiratório médio dos pacientes em VMI é de 2,1 segundos (CARMONA, 2012). Desta forma, foi estipulada uma proporção de 0,25 segundos do ciclo respiratório, totalizando os sete tempos.

Para a comparação das ondas de CO₂ dos dois equipamentos de capnografia, fez-se necessário a seleção de ciclos de boa qualidade (YOU *et al.*, 1994). Nesta fase do estudo, foram sistematicamente eliminados os ciclos que não atenderam aos seguintes critérios: cinco formas de onda de morfologia semelhante e as três fases expiratórias claramente definidas.

Os dados registrados foram analisados estatisticamente. As principais medidas empregadas foram: média, desvio padrão, mínimo e máximo. A relação entre os valores da

PetCO₂, dos três equipamentos, foram analisadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson e a regressão linear simples.

Tendo em vista que uma alta correlação não garante uma boa concordância, além da correlação de Pearson, para a análise da reprodutibilidade, foi utilizada a plotagem em diagrama de dispersão de Bland e Altman (1986). Esse procedimento é um método estatístico de referência utilizado para a representação gráfica de concordância entre dois ou mais métodos e foi realizada para determinar o nível de combinação entre os valores da pressão de CO₂ dos três equipamentos.

A análise estatística foi realizada utilizando o *software* comercial MedCalc Statistical versão 14.10.2 (MEDCALC, 2014).

3.3 EXTUBAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA

3.3.1 Características da Unidade

O estudo foi realizado na UTI Cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe. Foi escolhida esta unidade por se tratar de um hospital referência em cirurgias cardíacas no estado do Paraná e por reunir uma população homogênea de pacientes em sua UTI que dispõe de 18 leitos para internação de RNs, crianças e adolescentes.

O Hospital Pequeno Príncipe é uma instituição sem fins lucrativos, mantido pela ONG Associação Hospitalar de Proteção à Infância Dr. Raul Carneiro. Destina cerca de 70% da sua capacidade de atendimento aos pacientes do Sistema Único de Saúde, de forma integral e humanizada. A UTI cardíaca recebe aproximadamente 600 pacientes por ano com idade que varia entre 1 dia e 18 anos, todos pacientes submetidos a diferentes tipos de cirurgia cardíaca (HPP, 2014).

3.3.2 Desenho do Estudo

Foi realizado um estudo observacional prospectivo, com todos os casos que foram submetidos à VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca na UTI, e que preencheram os critérios de inclusão e de exclusão, no período de janeiro de 2012 a dezembro de 2013.

O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos do Hospital Pequeno Príncipe (Anexo B). Os casos foram incluídos após a obtenção do Termo de

Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) assinado pelos pais ou responsáveis legais pela criança, autorizando expressamente a participação do paciente na pesquisa.

3.3.3 Critérios de Inclusão

Foram incluídos os pacientes intubados em VMI, internados na UTI Cardiológica do Hospital Pequeno Príncipe, após um diagnóstico de cardiopatia congênita cianótica ou acianótica no período pós-operatório. Os pacientes neonatais e pediátricos estavam dentro de uma faixa etária de 0 a 60 meses de idade de ambos os sexos. Foram avaliados os pacientes que permaneceram por no mínimo 24 horas sob VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca com CEC, além da concordância e assinatura do termo de consentimento livre esclarecido assinado pelos pais ou responsáveis para a participação dos pacientes neonatais e pediátricos no referido trabalho.

O período de 24 horas em VMI foi determinado tendo em vista a definição do termo desmame conforme o III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica: “O termo desmame refere-se ao processo de transição da ventilação artificial para a espontânea nos pacientes que permanecem em ventilação mecânica invasiva por tempo superior a 24 horas” (GOLDWASSER, 2007).

3.3.4 Critérios de Exclusão

Foram excluídos os pacientes neonatais e pediátricos com:

- a) doenças neuromusculares;
- b) sepse;
- c) extubação acidental;
- d) transferência da unidade;
- e) óbito antes da extubação;
- f) crianças que atingiram os parâmetros de extubação nos plantões noturnos, nos domingos e feriados.

3.3.5 Dados de Caracterização da População

Para todos os pacientes incluídos no estudo, foram obtidas fichas padronizadas de avaliação (Apêndice B) desenvolvidas pelo pesquisador, contendo o registro das informações de acordo com o quadro 4:

Quadro 4 – Parâmetros anotados em uma ficha padronizada.

Parâmetros	Equipamento	Dados
Pessoais	-	Nome, data de nascimento, idade, peso, sexo, cor, número de prontuário e convênio.
Diagnóstico e cirurgia	-	Diagnóstico inicial, tipo de cirurgia e informações sobre a anestesia.
Cardiorrespiratórios	Monitor multiparamétrico	Frequência cardíaca, frequência respiratória, saturação de oxigênio e pressão arterial.
Ventilatórios	Módulo de capnografia	Pressão de CO ₂ expirado, CO ₂ inspirado, CO ₂ médio e capnograma.
Mecânica respiratória	Monitor GMX	Complacência pulmonar (estática e dinâmica), resistência inspiratória e expiratória, pressão de <i>plateau</i> e trabalho respiratório.
Gasométricos	Gasometria arterial	pH, PaO ₂ , PaCO ₂ , bicarbonato e excesso de base.
Ventilação mecânica	Prótese ventilatória	Pressão, frequência respiratória, PEEP, FiO ₂ , fluxo, tempo inspiratório e razão I:E.
Registro diário	-	Temperatura, utilização de drogas para sedação e analgesia, complicações pulmonares e hemodinâmicas, tempo em VMI, período de desmame e extubação da ventilação mecânica.

Fonte: Própria.

Nota: As informações referentes os dados pessoais, diagnóstico e cirurgia e registros diários foram retiradas do prontuário médico.

Os participantes foram identificados pelas iniciais dos nomes e todos os dados obtidos foram tornados absolutamente anônimos, garantindo assim a proteção à confidencialidade.

3.3.6 Descrição da Execução do Protocolo

Dentre as várias dificuldades de realizar-se uma pesquisa clínica, está o cálculo do tamanho de uma amostra e como fazer a amostragem de maneira correta a fim de que os

resultados informem de maneira clara e precisa os objetivos da pesquisa (MAROTTI *et al.*, 2008). Assim, é necessário realizar o cálculo do tamanho da amostra, para se estudar a amostra adequada para se obter uma conclusão confiável da pesquisa (NIKOLAKOPOULOS *et al.*, 2014).

Para a definição do tamanho da amostra foi considerado o cálculo amostral (CORREA, 2006; SURESH e CHANRASHEKARA, 2012), conforme a equação 4 e os fatores descritos abaixo:

$$n = \frac{\sigma^2 \times p \times q}{e^2} \quad (4)$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

σ = nível de confiança, expresso em número de desvios-padrão: 95% equivalem a 1,96 desvios;

p = porcentagem com a qual o fenômeno se identifica: 88% (índice fornecido pelo banco de dados da UTI cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe);

q = porcentagem complementar (100 - p);

e = erro máximo permitido (entre 3 e 5%): adotado 4% para o cálculo.

Através da equação acima foi possível determinar uma amostra de 254 pacientes. A amostra foi composta pela disponibilidade de pacientes em tratamento com a equipe multidisciplinar da UTI cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe, de ambos os sexos, com até cinco anos de idade cronológica, após serem submetidos à cirurgia cardíaca com CEC e necessidade de VMI no período pós-operatório.

Os responsáveis pelos sujeitos pesquisados foram informados a respeito das atividades a serem desenvolvidas, assim como seus objetivos. Inicialmente foi apresentado o termo de consentimento livre e esclarecido aos responsáveis e solicitada a assinatura do termo.

Após a seleção dos pacientes de acordo com os requisitos pré-determinados e com os fatores de exclusão, o paciente foi avaliado nos seguintes momentos:

- No máximo 2 horas antes da extubação da prótese ventilatória;
- 2 horas após a extubação com o paciente em ventilação mecânica não invasiva (VMNI) ou em ventilação espontânea;
- 24 e 48 horas após a extubação com o paciente em VMNI ou em ventilação espontânea. Nos pacientes que retornaram a VMI (grupo falha na extubação) a última mensuração foi feita até o período anterior à reintubação.

O processo de desmame e o momento preciso da extubação traqueal ficaram a critério da equipe médica, sem a interferência do pesquisador principal. A UTI onde o estudo foi realizado não segue um protocolo formal para o desmame da VMI, a equipe médica determina o momento da extubação utilizando práticas clínicas convencionais (por exemplo: a avaliação do exame físico, gasometria arterial, radiografias de tórax e configurações do ventilador).

Apesar de não utilizar um protocolo específico, os médicos da unidade hospitalar consideram a extubação do paciente após observar alguns aspectos:

- 1) Estar alerta e desperto sem (ou com mínima) infusão de sedativos e analgésicos;
- 2) Trocas gasosas adequadas, conforme indicado pela PaO_2 acima de 60 mmHg respirando com uma FiO_2 de 0,40 ou menos;
- 3) Necessidade da PEEP abaixo de 7 cmH_2O .

Após a extubação, os pacientes foram tratados clinicamente de acordo com as necessidades individuais, a escolha entre VMNI através da pressão positiva contínua nas vias aéreas (*continuous positive airway pressure*, CPAP) ou ventilação espontânea, com suplemento de O_2 através de um cateter nasal ou máscara, foi determinada pelo médico e/ou fisioterapeuta responsável pelo paciente.

A falha na extubação retornando o paciente à VMI foi definida do ponto de vista clínico ou gasométrico pelo médico ou fisioterapeuta. A decisão de reintubação foi feita pela equipe médica da UTI (que estava cega a todas as medições respiratórias obtidas durante a pré e pós-extubação) na presença de um ou mais dos seguintes critérios: pressão arterial sistólica ≥ 110 mmHg ou ≤ 60 mmHg, frequência cardíaca ≥ 170 batimentos/min, arritmia com risco a vida, agitação intensa que necessite de sedação, frequência respiratória ≥ 50 ciclos/min, $\text{PaO}_2 \leq 60$ mmHg, $\text{SaO}_2 \leq 80\%$ ou a incapacidade de eliminar secreções respiratórias.

No final de 48 horas, todos os pacientes foram agrupados de acordo com o desfecho da extubação da prótese ventilatória, como extubação bem sucedida ou falha no processo da extubação (dois grupos). Foi considerado como falha na extubação os pacientes que precisaram de algum tipo de VMI, dentro das 48 horas após a extubação. Em contrapartida, o sucesso da extubação da prótese ventilatória foi definido pela evolução em 48 horas sem a necessidade de reintubação (HUBBLE *et al.*, 2000; SAUGEL *et al.*, 2012). A figura 17 apresenta um fluxograma das etapas da execução do protocolo.

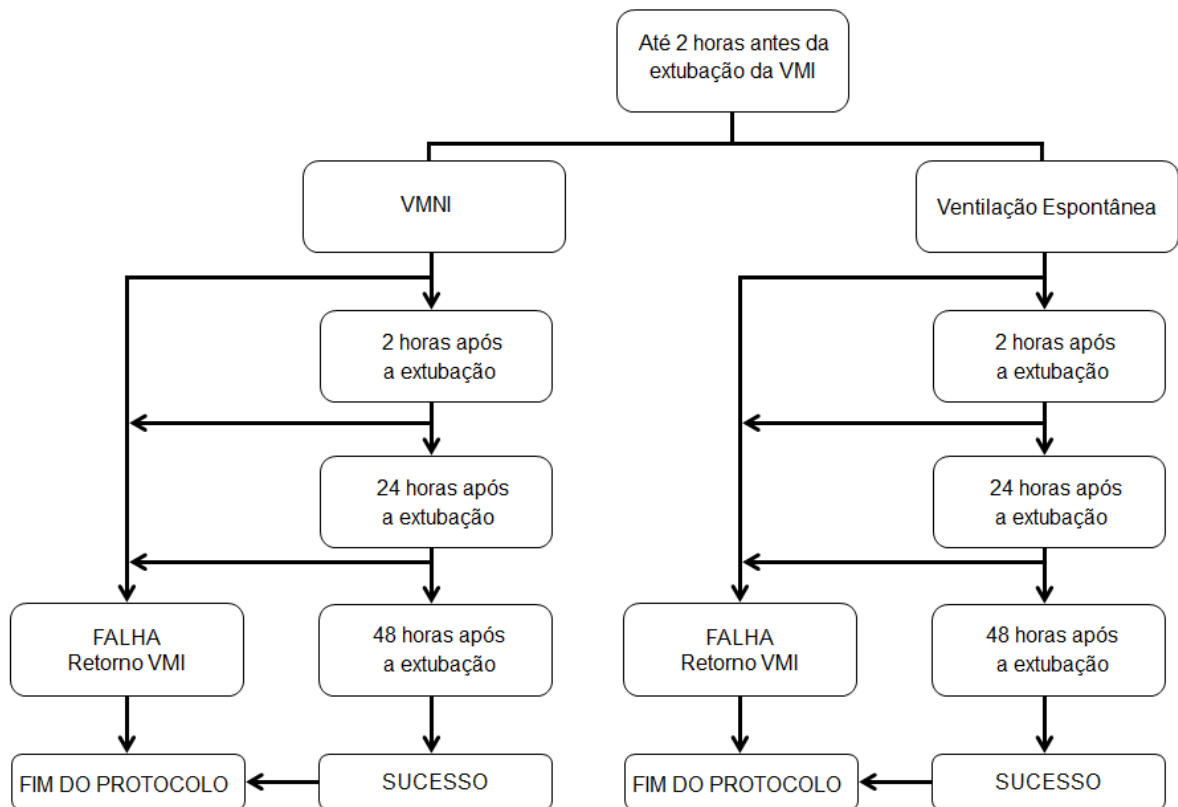


Figura 17 – Representação esquemática das sucessivas fases de execução do protocolo da segunda etapa da pesquisa. Momentos em que as mensurações dos pacientes foram avaliadas durante a realização do projeto.

Fonte: Própria.

3.3.7 Mensurações

Os pacientes foram ventilados pelo Ventilador Inter 5 (Intermed, SP, Brasil) usando pressão limitada, tempo ciclado no modo ventilação mandatória intermitente sincronizada (modo SIMV).

A coleta de sangue para a realização da gasometria arterial foi realizada por técnicos de enfermagem. A amostragem foi derivada do cateter arterial localizado na artéria radial em uma seringa heparinizada (Monovette® LH; Sarstedt, Nümbrecht, Alemanha - 0,1 a 2 ml de sangue total), no período da manhã e à tarde, em conformidade com a prescrição do médico e a rotina da UTI (figura 18). Os pacientes foram mantidos em decúbito dorsal com a inclinação da cabeça entre 0 a 15°. Todas as amostras de sangue foram mantidas em local adequado e avaliadas entre no máximo 10 a 15 minutos após a coleta. As pressões parciais dos gases sanguíneos foram medidas com o equipamento Cobas sistema B121 (Roche Diagnostics, Mannheim, Alemanha), calibrado pela equipe terceirizada do laboratório (Frischmann Aisengart), localizado dentro do hospital.



Figura 18 – Momento da coleta sanguínea do cateter arterial, localizado na artéria radial, em uma seringa heparinizada.

Fonte: Própria.

Os parâmetros da pressão de CO₂ expirado foram monitorados no período da manhã e à tarde com os pacientes posicionados em decúbito dorsal com a inclinação da cabeça entre 0 a 15°. A mensuração foi realizada através de um adaptador de via aérea infantil e neonatal (Oridion, Needham, MA, USA) ou pediátrico (Smiths Medical, Ashford, Kent, UK) adaptado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador e conectado a um tubo de amostra respiratória acoplado ao módulo de capnografia *sidestream* (CO₂CGM – *CapnoGraphy Module OA1000*, Ronseda, Shenzhen, China) (figura 19). As medidas de capnografia foram obtidas em tempo real e arquivadas no computador.



Figura 19 – Arranjo do adaptador pediátrico de via aérea, para a coleta da amostra da pressão de dióxido de carbono no equipamento de capnografia, conectado entre o tubo endotraqueal e o circuito do ventilador mecânico.

Fonte: Própria.

Após a extubação do paciente da prótese ventilatória, as mensurações de CO_2 expirado no paciente respirando espontaneamente, foram obtidas através de um cateter nasal neonatal ou pediátrico (ref. 4000, Salter Labs, Califórnia, USA) conectado ao tubo de amostra respiratória e acoplado ao módulo de capnografia *sidestream* (figura 20).



Figura 20 – Mensuração da pressão de dióxido de carbono em pacientes respirando espontaneamente com a utilização de um cateter nasal conectado ao tubo de amostra respiratória.

Fonte: Própria.

As mensurações de CO₂, obtidas na beira do leito do paciente (figura 21), foram realizadas pelo módulo de Capnografia conectado a um *notebook* (modelo PHN10303 Philco, Filadélfia, Pensilvânia, EUA) equipado com o *software* Capnostat 5 Host que permitiu a visualização e o armazenamento dos registros das variáveis ventilatórias e das curvas de CO₂ em tempo real (figura 22).



Figura 21 – Disposição do equipamento de capnografia para realizar as mensurações na beira do leito.
Fonte: Própria.



Figura 22 – Módulo de capnografia conectado a um *notebook* para visualização das mensurações de dióxido de carbono expirado através do *software* Capnostat.
Fonte: Própria.

Para diferenciar os sinais do capnograma obtidos de acordo com o resultado da extubação do paciente (sucesso ou falha), dez parâmetros quantitativos foram analisados usando componentes do ciclo respiratório. Estes parâmetros foram extraídos a partir do estudo e combinação de pesquisas anteriores (YOU *et al.*, 1994; HAGERTY *et al.*, 2002; KRAUSS *et al.*, 2005; KEAN, TEO e MALARVILI, 2010; HOWE *et al.*, 2011; LOPEZ *et al.*, 2011).

Inicialmente, foram detectados os pontos de inflexão na concentração de CO₂ correspondentes ao início da inspiração e ao final da expiração de cada respiração. Dentro de um ciclo respiratório, foram identificadas as fases expiratórias do capnograma, incluindo o aumento da inclinação inicial e o platô alveolar. Em seguida, foram avaliados dez parâmetros quantitativos (figura 23), sendo eles:

- Três índices definidos a partir do tempo respiratório: tempo expiratório (T_e), tempo inspiratório (T_i) e tempo total do ciclo respiratório ($T_{tot} = T_e + T_i$);
- Dois índices mediram a inclinação do capnograma: S_1 (*slope* ₁) corresponde à inclinação inicial medida em 0,25 segundos a partir do primeiro ponto, quando a pressão de CO₂ alcança 4 mmHg (fase II); S_2 (*slope* ₂) refere-se à inclinação da terceira fase medida em 0,25 segundos a partir da PetCO₂ retrocedendo para 0,75 segundos (tempo total de 0,5 segundos) para garantir a consistência dos pontos de medição do platô alveolar;
- Cinco índices foram medidos indiretamente: a razão de inclinação (*slope ratio* - SR) foi calculada a partir de $(S_2/S_1) \times 100$; ângulo ascendente (A_A) foi o ângulo da curva referente a elevação expiratória inicial (fase I); ângulo α foi o ângulo de intersecção entre os índices S_1 e S_2 ; ângulo de inclinação (A_i) foi o ângulo da curva para a inclinação do platô alveolar; e ângulo β ou descendente foi mensurado a partir da extensão da linha entre a fase III e da inclinação descendente (fase 0).

Os parâmetros quantitativos do capnograma foram obtidos através do *software* Geogebra (versão 5.0.24.0, Linz, Austria).

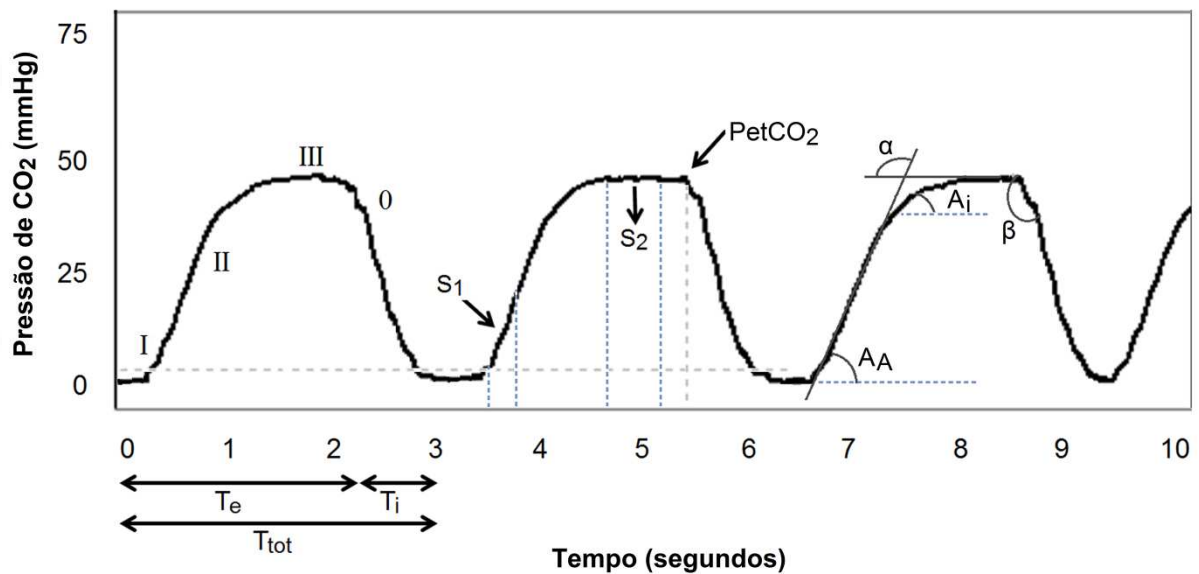


Figura 23 – Parâmetros analisados a partir dos componentes do ciclo respiratório obtidos pelo capnograma no domínio do tempo: fase inspiratória (0) e fases expiratórias (I, II e III), valor de PetCO₂, inclinação inicial ($S_1 - slope_1$), inclinação da terceira fase ($S_2 - slope_2$), tempo expiratório (T_e), tempo inspiratório (T_i), tempo total do ciclo respiratório (T_{tot}), e ângulos: α , β , ângulo ascendente (A_A) e ângulo de inclinação (A_i). Ver o texto para mais detalhes.

Fonte: Própria.

Todos os dados obtidos a partir dos registros dos parâmetros clínicos, gasométricos e da ventilação pulmonar, foram posteriormente compilados em uma planilha do MS Excel® para análise e comparação dos mesmos.

3.3.8 Análise Estatística

Os dados obtidos foram armazenados e tabulados em uma planilha do MS Excel® (Windows 7) e, após a realização dos procedimentos de categorização das variáveis, as informações foram registradas em um banco de dados para a efetivação das análises estatísticas.

Para caracterizar a amostra selecionada para o estudo, recorreu-se aos procedimentos de estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo e máximo) e, posteriormente, foram feitas as devidas inferências.

A relação entre os valores de PetCO₂ e PaCO₂, para os grupos sucesso e falha no processo de extubação, foram analisadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson e a regressão linear simples. Segundo Figueiredo e Silva (2009) a correlação de Pearson pode ser avaliada qualitativamente quanto à intensidade, usando-se o critério apresentado na tabela 6.

Tabela 6 – Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

$ r $	A correlação é dita
0	Nula
0 – 0,3	Fraca
0,3 – 0,6	Regular
0,6 – 0,9	Forte
0,9 – 1	Muito Forte
1	Plena ou Perfeita

Fonte: Figueiredo e Silva (2009).

A análise de Bland e Altman (1983) foi utilizada para a representação gráfica de concordância entre os dois métodos e foi realizada para determinar o nível de combinação entre os valores da PaCO₂ e PetCO₂ de acordo com o desfecho na extubação.

O método de Bland-Altman é um teste estatístico que avalia a variabilidade das diferenças entre os valores obtidos pelos dois métodos (erro⁷) e a própria diferença entre os valores (viés⁸) ao mesmo tempo. Os dois métodos devem apresentar um viés aproximadamente igual a zero e um erro que não tenha um impacto clínico significativo para que sejam substituíveis (BLAND e ALTMAN, 1986; HIRAKATA e CAMEY, 2009).

O gráfico de Bland-Altman é um diagrama de dispersão xy , onde no eixo y plota-se a diferença entre as duas medidas ($A - B$) e no eixo x a média delas ($(A+B)/2$), representando o ponto de concordância entre os métodos, podendo a análise ser complementada por uma avaliação da correlação entre estas duas novas grandezas. A partir deste gráfico é fácil avaliar a magnitude da discordância, identificar *outliers* e verificar se existe alguma tendência. Limites estatísticos de concordância podem ser obtidos a partir da média e do desvio-padrão das diferenças. Quanto mais próximos do eixo de concordância estiverem os pontos, maior a concordância entre os métodos (BLAND e ALTMAN, 1983; BLAND e ALTMAN, 1986).

Na plotagem Bland-Altman, uma linha horizontal é desenhada na diferença média, e outras duas, nos limites de concordância (que são definidos como a diferença média de mais ou menos 1,96 vezes o desvio padrão das diferenças, ou seja, o intervalo de confiança é de 95%).

⁷ Erro representa a dispersão dos pontos das diferenças ao redor da média.

⁸ Viés representa o quanto as diferenças se afastam do valor zero.

Para comparar os parâmetros clínicos e demográficos dos grupos sucesso e falha, utilizou-se o teste *t* de *Student* (amostras independentes) para as variáveis com distribuição normal e o teste não paramétrico de Mann-Whitney para as variáveis que apresentaram rejeição à hipótese de normalidade, efetuada através do teste de Kolmogorov-Smirnov (LILLIEFORS, 1967; MAROCO, 2003, p. 169; FERREIRA, 2013). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$.

Ainda, as mensurações da $PetCO_2$ e $PaCO_2$ obtidas 2 horas antes da extubação da VMI nos dois grupos (sucesso e falha) foram analisadas através do teste de variância, utilizando a estatística F. O teste F é utilizado para comparar os desvios-padrão conhecidos de duas amostras independentes, quando o valor de *p* calculado for inferior a 0,05 conclui-se que as duas variações diferem significativamente (CORREA, 2006).

A eficácia da $PetCO_2$, $PaCO_2$ e dos parâmetros extraídos do capnograma para prever o sucesso na extubação, foi avaliada através da análise de curvas de Características de Operação do Receptor (*Receiver Operating Characteristic* - ROC). As curvas ROC são utilizadas para analisar a capacidade discriminativa de testes de diagnóstico (SILVA-FORTES, 2011). Consideram-se os resultados de um teste em particular em duas categorias; neste estudo as condições foram sucesso e fracasso na extubação da VMI.

Segundo Aguiar (2012) a análise de ROC proporciona o melhor critério para discriminar grupos, e tem larga aplicação ao nível de investigação clínica. Através da análise de ROC é possível descrever quantitativamente o desempenho de dois ou mais testes de diagnóstico (MARTINEZ, LOUZADA-NETO e PEREIRA, 2003). Em relação à área sob a curva (*area under curve* - AUC) da análise de ROC, pode-se dizer que quanto maior a área, maior o valor diagnóstico do teste. De acordo com Hosmer e Lemeshow (1989, p. 162) e Lasko *et al.* (2005), as regras gerais para interpretar os resultados da análise de ROC estão expressas no quadro 5.

Quadro 5 – Regras para interpretação dos resultados da análise de ROC.

$ROC \leq 0,5$	Não houve discriminação
$0,5 < ROC \leq 0,7$	Discriminação baixa
$0,7 < ROC \leq 0,8$	Discriminação aceitável
$0,8 < ROC \leq 0,9$	Discriminação elevada
$ROC > 0,9$	Discriminação excelente
$ROC = 1$	Índice de discriminação perfeito

Fonte: Hosmer e Lemeshow (1989, p. 162), Lasko *et al.* (2005).

Além disso, foram analisadas a sensibilidade e especificidade, dois índices que são frequentemente utilizados em aplicações médicas para avaliar a probabilidade de que o teste classifique corretamente as duas condições, neste caso o sucesso e fracasso da extubação da VMI, respectivamente (CASTANHO *et al.*, 2004).

A sensibilidade (taxa de verdadeiros positivos) é definida como a probabilidade do teste de fornecer um resultado positivo quando os pacientes obtiverem sucesso na extubação, enquanto a especificidade (taxa de verdadeiros negativos) é definida como a probabilidade do teste de fornecer um resultado negativo quando os pacientes evoluírem para a falha na extubação da VMI, mostrado nas equações 5 e 6, respectivamente (MARGOTTO, 2002). Assim, a curva ROC é um gráfico de sensibilidade (taxa de verdadeiros positivos) *versus* 1-especificidade (taxa de falsos positivos) (BRAGA, 2000).

$$\text{Sensibilidade} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (5)$$

$$\text{Especificidade} = \frac{VN}{VN + FP} \quad (6)$$

Onde: VP – verdadeiro positivo, FN – falso negativo, VN – verdadeiro negativo e FP – falso positivo.

Segundo Margotto (2002) a representação da curva ROC permite evidenciar os valores para os quais existe otimização da sensibilidade em função da especificidade, correspondente ao ponto que se encontra mais próximo do canto superior esquerdo do diagrama, uma vez que o índice de verdadeiro positivo é 1 e o de falso positivo é 0 (CABRAL *et al.*, 2005).

Além da análise de ROC indicar se a variável teste (numérica) apresenta boa validade para discriminar o sucesso e a falha na extubação da VMI, também permite identificar qual o melhor ponto de corte (*cut off*) que discrimina esses dois grupos. Este ponto de corte será o que maximiza simultaneamente a sensibilidade com a especificidade do teste (AGUIAR, 2012).

O valor do ponto de corte é definido como um valor que pode ser selecionado arbitrariamente pelo investigador entre os valores possíveis para a variável de decisão, acima da qual o paciente é classificado positivo e abaixo do qual é classificado como negativo

(BRAGA, 2000). Os pontos de corte para todos os parâmetros extraídos do capnograma foram calculados a partir de suas respectivas curvas ROC.

A análise estatística foi realizada utilizando o *software* comercial MedCalc Statistical versão 14.10.2 (MEDCALC, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados do estudo comparativo do módulo de capnografia com outros dois equipamentos de mensuração da pressão de CO₂ expirado comercializados, em lactentes e crianças sob VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca. Apresentam-se também os resultados obtidos através das mensurações de CO₂, com o módulo de capnografia, em pacientes durante o processo de desmame e extubação do tubo endotraqueal com consequente análise do sucesso ou falha do procedimento.

Ainda, no decorrer deste capítulo apresentam-se as discussões referentes aos resultados obtidos para cada etapa deste trabalho.

4.1 VALIDAÇÃO DAS MENSURAÇÕES OBTIDAS PELO MÓDULO DE CAPNOGRAFIA

Foram avaliados um total de 30 lactentes e crianças com idade a partir de 5 dias a 1 ano de idade, ambos os sexos, sob VMI e no período pós-operatório de cirurgia cardíaca. As características dos pacientes são apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Características dos pacientes em ventilação mecânica para a validação do módulo de capnografia.

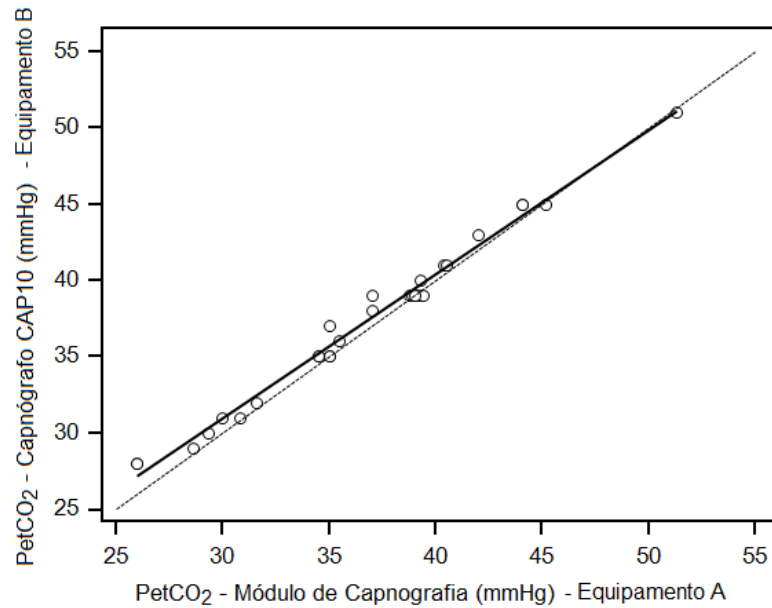
Pacientes (n = 30)	Valores
Idade (meses)	4,75 ± 3,41 (6 dias – 10 meses)
Peso (kg)	5,55 ± 2,04 (2,1 – 9)
Sexo (masculino / feminino)	13 (43%) / 17 (57%)
Período em VMI	
Entre 8 e 24 horas	16 (54%)
Entre 1 e 3 dias	10 (33%)
Entre 3 e 5 dias	4 (13%)

Fonte: Própria.

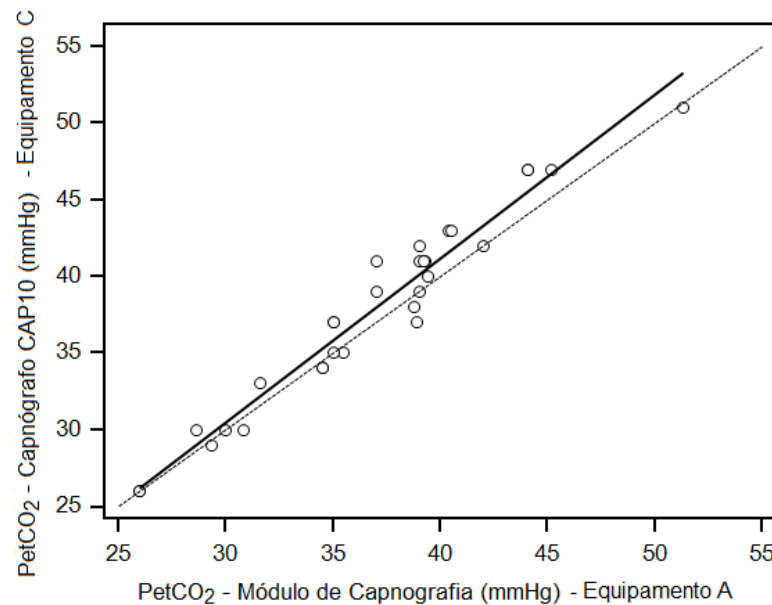
Nota: Os valores estão expressos em média ± desvio padrão (limites inferior e superior) ou número de pacientes (porcentagem).

De um total de 30 mensurações, a média e o desvio padrão para a PetCO₂ no módulo de capnografia (equipamento A) foi de 36,86 ± 5,78 mmHg, para o capnógrafo CAP10 (equipamento B) foi de 37,43 ± 5,51 mmHg e as mensurações de PetCO₂ no capnômetro portátil (equipamento C) apresentou uma média de 37,83 ± 6,36 mmHg. Nas figuras abaixo,

apresentam-se a PetCO_2 mensurada pelo capnógrafo CAP10 correlacionada com o módulo de capnografia (figura 24) e a PetCO_2 mensurada através do capnômetro portátil correlacionada com o módulo de capnografia (figura 25). Para toda a amostra, a correlação foi significativa em ambos os equipamentos: A e B ($r = 0,994$, $p < 0,001$) e A e C ($r = 0,975$, $p < 0,001$), durante todo o período do estudo.



**Figura 24 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO_2) mensurada pelo capnógrafo CAP10 com o valor obtido pelo módulo de capnografia ($n = 30$; $r = 0,994$; $p < 0,001$).
Fonte: Própria.**



**Figura 25 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO_2) mensurada pelo capnômetro portátil com o valor obtido pelo módulo de capnografia ($n = 30$; $r = 0,975$; $p < 0,001$).
Fonte: Própria.**

A figura 26 apresenta a análise gráfica de Bland-Altman entre os valores de PetCO₂ mensurados pelos equipamentos A e B. É possível verificar uma concordância média de diferença entre os resultados correspondente a -0,56 mmHg com desvio padrão de $\pm 0,69$ mmHg. Os limites de 95% inferior e superior⁶ (linhas tracejadas) correspondem a -1,93 e 0,79 mmHg, respectivamente.

Em relação a PetCO₂ obtida através dos equipamentos A e C, adotando-se o procedimento descrito por Bland-Altman, observa-se na figura 27, que a diferença de médias entre os valores de PetCO₂ é -1,00 mmHg, o desvio padrão é $\pm 1,46$ mmHg e os limites de 95% de concordância (linhas tracejadas) entre os dispositivos A e C variam de -3,83 a 1,90 mmHg.

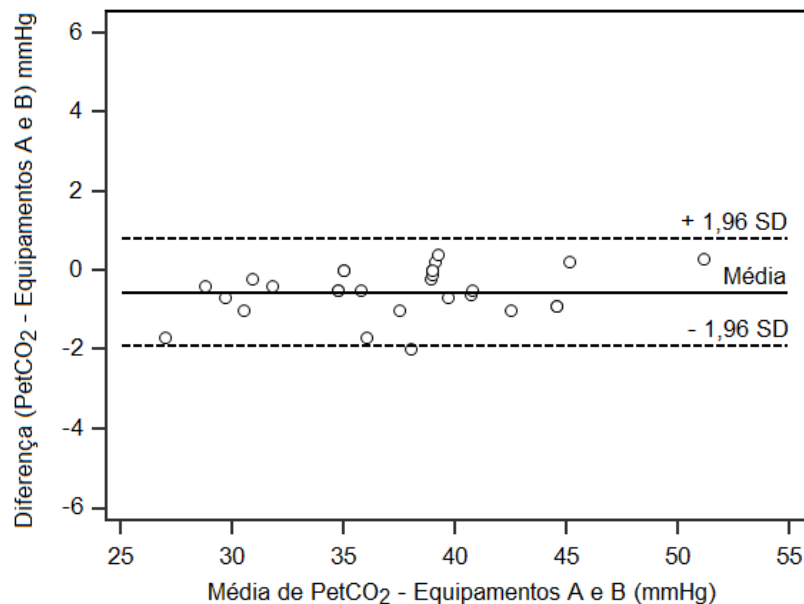


Figura 26 – Análise gráfica de Bland-Altman entre a diferença e a média da mensuração da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) obtidas pelo módulo de capnografia (equipamento A) e o capnógrafo CAP10 (equipamento B) (n = 30).

Fonte: Própria.

⁶ De acordo com Rees (1987), 95% da área sob uma curva normal situa-se dentro de cerca de 1,96 desvios padrão da média, e devido ao teorema do limite central, este número é, por conseguinte, utilizado na construção de intervalos de confiança aproximados de 95%.

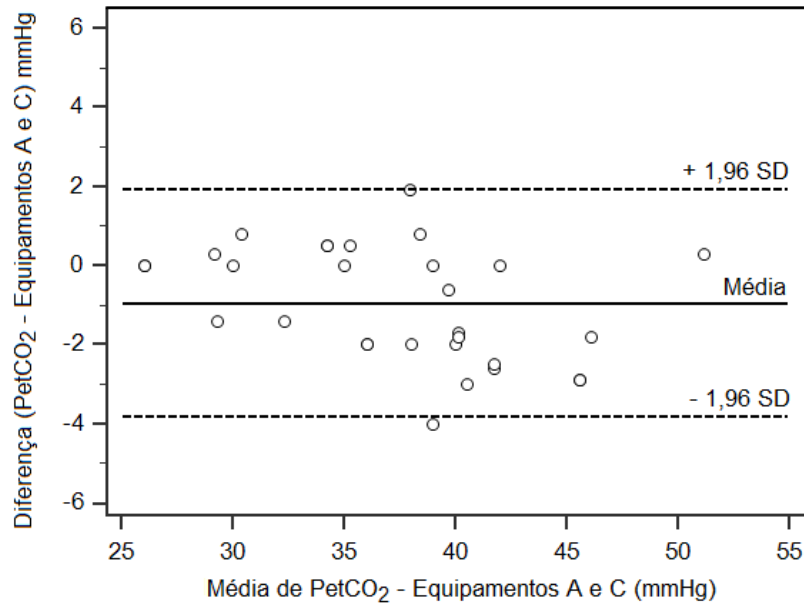


Figura 27 – Análise gráfica de Bland-Altman entre a diferença e a média da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) mensuradas pelo equipamento A (módulo de capnografia) e o equipamento C (capnômetro portátil) (n = 30).

Fonte: Própria.

A plotagem de Bland-Altman mostrou excelente concordância entre os valores de PetCO₂ obtidos nos dois primeiros equipamentos, uma vez que as diferenças médias entre PetCO₂ tenderam a ser menores para os equipamentos A e B do que para os equipamentos A e C, indicando que as médias obtidas estavam concordando em 95% dos casos.

Além disso, a disposição dos pontos, que indica um distanciamento menor entre os pontos e a linha horizontal, e os limites de concordância foram claramente mais estreitos para os equipamentos A e B em comparação com os dados obtidos pelos equipamentos A e C.

A maior concordância entre os valores dos dois primeiros equipamentos pode ter ocorrido devido a similaridade da classificação, pois os dois dispositivos são do tipo *sidestream*, enquanto o equipamento C é do tipo *mainstream*. Segundo Jaffe (2002) e Rimensberger (2015) a incorporação do sensor, do capnógrafo *mainstream*, ao circuito representa um espaço morto adicional nos pacientes em VMI, causando uma diluição do gás alveolar resultando em uma PetCO₂ em média 3-5 mmHg inferior a PaCO₂.

Comparando os intervalos de confiança dos três equipamentos de mensuração de PetCO₂ (tabela 8) a média da diferença obtida no teste de Bland-Altman para todos os dispositivos foi próxima a zero e apresentaram apenas um ponto fora dos limites de aceitação (*outliers*) no diagrama de dispersão, considerando-se a presença de valores entre os limites extremos dos intervalos de concordância.

Tabela 8 – Intervalos de confiança das médias das diferenças e dos limites de concordância inferior e superior entre os equipamentos de mensuração da PetCO₂.

	Equipamento A e B	Equipamento A e C
Proximidade de Zero	Próximo	Próximo
Média ± desvio padrão (mmHg)	-0,56 ± 0,69	-1,0 ± 1,46
Intervalo de Confiança (95%)	-0,8267 – -0,3066	-1,5138 – -0,4195
Limites de Concordância		
Superior (mmHg)	0,79	1,90
Intervalo de Confiança (95%)	0,3489 – 1,2479	0,9597 – 2,8510
Inferior (mmHg)	-1,93	-3,83
Intervalo de Confiança (95%)	-2,3812 – -1,4823	-4,7843 – -2,8930
Variação dos Limites	1,35%	2,90%
Pontos fora do limite de aceitação	1	1

Fonte: Própria.

Guedes *et al.* (2006), em uma pesquisa que analisou a reprodutibilidade e a validade de um instrumento de avaliação em saúde, afirmaram que os limites de concordância devem ficar o mais próximo possível dos valores equivalentes às diferenças médias.

A partir dos valores negativos apresentados na tabela 8 para as médias da diferença, pode-se inferir que, o módulo de capnografia (equipamento A) tendeu a subestimar os valores de PetCO₂ em relação as referências (equipamentos B e C), ainda que em uma proporção muito pequena.

Os valores de variações dos limites de aceitação foram considerados baixos para os equipamentos A e B, assim como para os equipamentos A e C, 1,35% e 2,9% respectivamente. De acordo com Bland e Altman (1983) valores de variações dos limites de aceitação inferiores a 5% indicam um significativo índice de concordância entre métodos e reproduzem um resultado considerado aceitável para a tomada de decisões clínicas.

Além da PetCO₂, existem outros parâmetros respiratórios que são fornecidos pelo equipamento de capnografia como: pressão inspirada de CO₂, frequência respiratória e CO₂ médio. A correlação entre as médias destes parâmetros encontrados nos três equipamentos foi significativa e estão mostradas na tabela 9.

Tabela 9 – Relação entre os parâmetros ventilatórios obtidos através dos equipamentos de capnografia.

	Equip. A	Equip. B	Equip. C	Equip. A e B Valor de <i>r</i>	Equip. A e C Valor de <i>r</i>
PetCO ₂ (mmHg)	36,86 ± 5,78	37,43 ± 5,51	37,83 ± 6,36	0,994	0,975
FR (rpm)	22,8 ± 4,2	23,03 ± 4,3	22,7 ± 4,23	0,989	0,986
P _{insp.} CO ₂ (mmHg)	1,03 ± 0,7	1,1 ± 0,79	-	0,979	-
CO ₂ médio (mmHg)	24,8 ± 4,8	24,96 ± 4,93	-	0,997	-

Fonte: Própria.

Notas: Equipamento A: Módulo de capnografia *sidestream*; Equipamento B: Capnógrafo CAP10 *sidestream*; Equipamento C: Capnômetro portátil *mainstream*; PetCO₂: pressão final de dióxido de carbono expirado; FR: frequência respiratória; P_{insp.}CO₂: pressão inspirada de dióxido de carbono.

De acordo com Jaffe (2002) e Shankar (2014), nos equipamentos *sidestream* (A e B) a condensação de vapor d'água e as secreções poderiam dificultar as medidas. Porém, este problema é atenuado utilizando um tubo coletor impermeável ao CO₂ de nafion, que tem a vantagem de permitir a passagem seletiva de vapor d'água do interior para o exterior do tubo, evitando alterações na leitura do aparelho. Além disso, o equipamento *sidestream* utiliza um filtro higroscópico⁹, a fim de evitar contaminação do sistema e aspiração de gotículas.

Em um estudo comparando medições de CO₂ através de um capnógrafo miniatura *mainstream* com um equipamento do tipo *sidestream*, Berggren *et al.* (2009) concluíram que o comprimento da linha de amostra e a passagem no tubo desumidificador, influenciam os gradientes de concentração do gás de CO₂ mensurado antes da amostra respiratória alcançar a câmara de medição, resultando em um maior tempo de resposta e um valor irreal de PetCO₂.

Contrariando os resultados encontrados por Berggren *et al.* (2009), o tempo de resposta do módulo de capnografia *sidestream*, utilizado neste estudo, é inferior ao capnômetro *mainstream* de 10 ms e 60 ms, respectivamente, segundo dados do fabricante. Além disso, este estudo não encontrou diferença entre os valores mensurados de CO₂ durante as coletas, em ambos os equipamentos, seja do tipo *mainstream* ou *sidestream*.

Uma hipótese para esses valores similares pode ser o fato de que os dois equipamentos *mainstream* para mensuração de CO₂ possuem uma faixa de amostragem de fluxo suficientemente baixa, a partir de 50 ml/min para mensurações em RNs e crianças pequenas. Em 2002, Hagerty *et al.* explicaram que o alto fluxo convencional (150 a 200 ml/min) subestima o CO₂ alveolar, devido aos volumes correntes relativamente baixos e

⁹ Filtros higroscópicos são constituídos de um material capaz de aprisionar a umidade do ar expirado, ou seja, ele absorve com facilidade a água existente em forma de vapor (WILKES, 2002).

rápidas taxas respiratórias de RNs, resultando em uma falsa leitura baixa de $P_{et}CO_2$.

Segundo Colman e Krauss (1999) as formas de ondas alteradas de CO_2 encontradas em RN, principalmente a diminuição falsa no declive da fase ascendente do capnograma, ocorre devido à diluição do gás expirado quando pequenas amostras de respiração rápida são medidas em uma célula de amostra relativamente grande como as encontradas em capnógrafos convencionais.

A figura 28 ilustra as imagens dos *softwares* obtidas de ambos os capnógrafos, módulo de capnografia e CAP10, utilizados para comparação e análise quantitativa das ondas de CO_2 dos pacientes avaliados neste estudo.

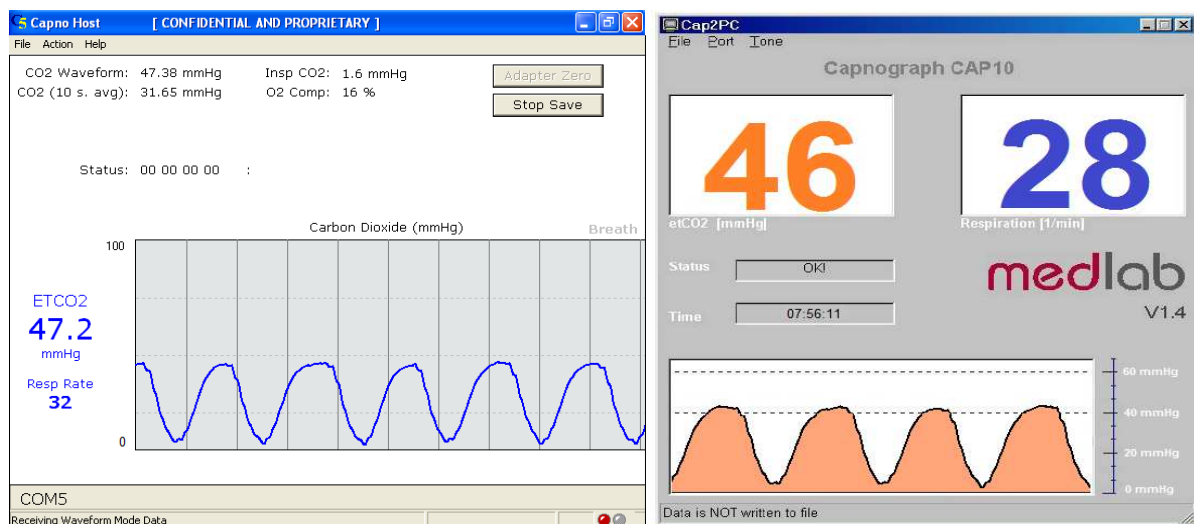
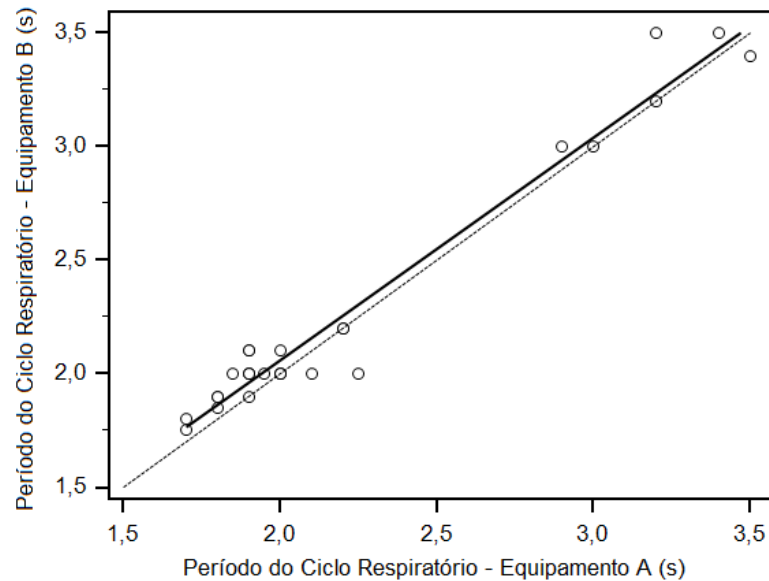


Figura 28 – Imagem das mensurações da pressão de dióxido de carbono obtidas através dos equipamentos de capnografia. Esquerda: módulo de capnografia do tipo *sidestream* através do *software* Capnostat 5 Host; Direita: CAP10 *sidestream* através do *software* Cap2PC. Fonte: Própria.

Das 30 ondas de CO_2 obtidas dos pacientes avaliados neste estudo, três ondas não foram avaliadas nesta seção, tendo em vista a sua irregularidade, que poderia influenciar na avaliação das demais ondas regulares e com ciclos de boa qualidade.

A média do período dos ciclos respiratórios obtida no capnograma do módulo de capnografia e no CAP10 foi de $2,22 \pm 0,55$ segundos e $2,27 \pm 0,56$ segundos, respectivamente. Os tempos de duração dos ciclos respiratórios foram significativamente correlacionados ($r = 0,982$, $p < 0,001$) (figura 29).



**Figura 29 – Correlação entre o período de duração do ciclo respiratório (segundos) entre o capnógrafo *sidestream* CAP10 (equipamento B) e o módulo de capnografia *sidestream* (equipamento A).
Fonte: Própria.**

Através da tabela 10, é possível observar um alto índice de correlação entre as mensurações da pressão de CO₂ expirado obtidas entre os T₁ e T₇, das ondas capnográficas de ambos os equipamentos de capnografia *sidestream*, indicando semelhança entre os aparelhos e validação quanto à acurácia dos dados fornecidos pelo módulo de capnografia.

Tabela 10 – Mensurações da pressão de dióxido de carbono (mmHg) entre os T₁ e T₇ de um ciclo respiratório.

Período	Módulo de capnografia <i>Sidestream</i>	Capnógrafo <i>sidestream</i> CAP10	Coefficiente de Correlação (r)
T ₁ = 0,25 segundos	7,97 ± 0,66	8,05 ± 0,62	0,9346
T ₂ = 0,5 segundos	27,44 ± 1,58	27,51 ± 1,59	0,9217
T ₃ = 0,75 segundos	36,7 ± 4,76	36,81 ± 4,68	0,9976
T ₄ = 1 segundo	39,7 ± 4,76	39,81 ± 4,66	0,9976
T ₅ = 1,25 segundos	34,54 ± 4,57	33,81 ± 4,68	0,9551
T ₆ = 1,5 segundos	25,51 ± 5,63	26,01 ± 5,57	0,9912
T ₇ = 1,75 segundos	12,93 ± 6,89	13,2 ± 6,89	0,9983

Fonte: Própria.

A figura 30 apresenta os limites superior e inferior de variação da pressão de CO₂ para ambos os equipamentos *sidestream*. Os valores médios e os limites da pressão de CO₂ nos pacientes RN e pediátricos em VMI foram similares em ambos os equipamentos

A variação, em ambos os gráficos, foi maior nos tempos T_5 , T_6 e T_7 , que corresponde a 1,25, 1,5 e 1,75 segundos, respectivamente. Essa variação pode ter ocorrido por razão de cinco pacientes apresentarem um formato de onda mais retangular, prolongando assim o platô alveolar e o tempo de descida da curva. Ainda assim, o formato de onda mais senoidal ou retangular foi observado pelos dois equipamentos de capnografia.

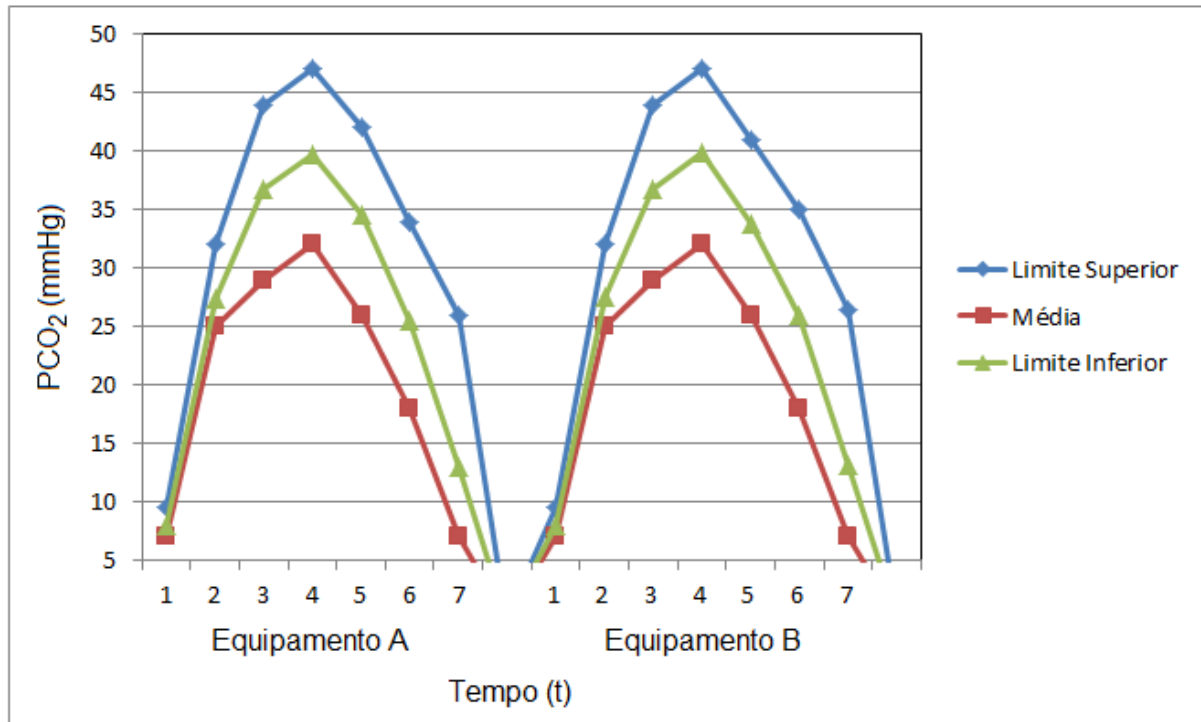


Figura 30 – Mensurações da pressão de dióxido de carbono (PCO_2) obtidas através do capnograma, nos tempos: T_1 : 0,25 segundos; T_2 : 0,5 segundos; T_3 : 0,75 segundos; T_4 : 1 segundo; T_5 : 1,25 segundos; T_6 : 1,5 segundos e T_7 : 1,75 segundos. Equipamento A: Módulo de capnografia *sidestream*; Equipamento B: Capnógrafo *sidestream* CAP10.

Fonte: Própria.

Observa-se que o gráfico da pressão de CO_2 obtido pelo módulo de capnografia, neste estudo, pode eficazmente refletir as curvas de CO_2 padrão do ciclo respiratório, assim como a linha do ramo ascendente, platô alveolar e ramo descendente. Além disso, o gráfico genuinamente pode transmitir a frequência da onda e a condição ventilatória em tempo real. No final, o gráfico pode refletir a velocidade e os principais detalhes da mudança de subida e descida da curva com precisão.

4.2 EXTUBAÇÃO DA VENTILAÇÃO MECÂNICA INVASIVA

4.2.1 Descrição da Amostra Estudada

Durante o período de estudo, 703 pacientes foram submetidos à VMI após cirurgia cardíaca, sendo que destes, 124 pacientes possuíam idade superior a 5 anos e 203 foram extubados nas primeiras 24 horas. Assim, um total de 376 lactentes e crianças internadas na UTI cardíaca precisaram de VMI por um período superior a 24 horas. Destes, 254 pacientes foram selecionados, segundo os critérios de inclusão e exclusão e constituíram a amostra do estudo (figura 31).

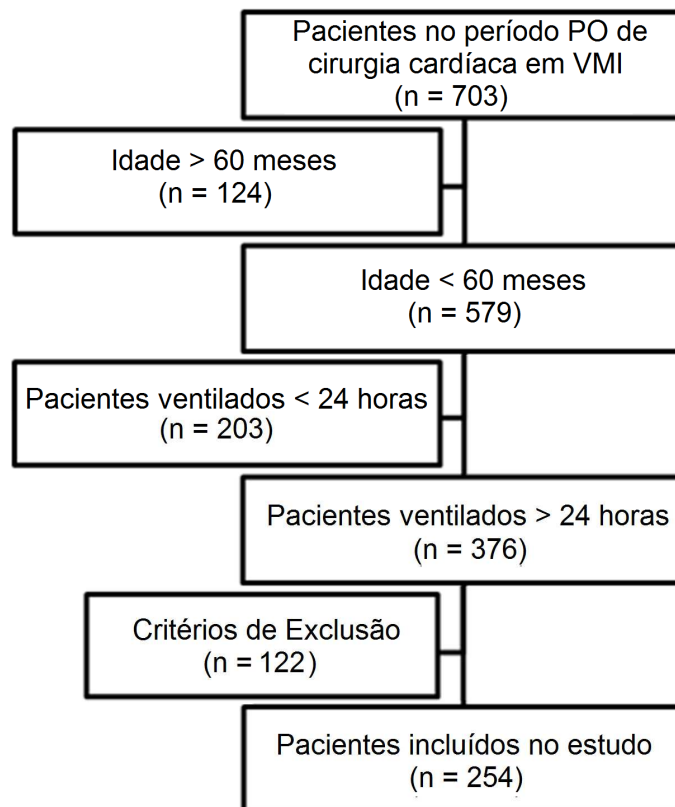


Figura 31 – Fluxograma de seleção da amostra estudada.

Fonte: Própria.

Nota: PO – Pós-operatório, VMI – Ventilação mecânica invasiva.

A tabela 11 apresenta as causas de exclusão dos 122 pacientes. A principal causa foi a extubação durante o plantão (75/122), ou seja, crianças que atingiram os parâmetros de extubação nos plantões noturnos, domingos ou feriados.

Tabela 11 – Causas para exclusão do protocolo de lactentes e crianças submetidas à ventilação mecânica durante o período de estudo.

Causa da Exclusão	Número de Pacientes
Extubação em plantão	75
Extubação acidental	5
Sepse	26
Óbito antes da extubação	9
Doenças Neuromusculares	5
Transferência da Unidade	2
Total	122

Fonte: Própria.

Em resumo, foram avaliados um total de 254 lactentes e crianças com idade a partir de 4 dias a 5 anos, ambos os sexos, sob VMI e no período pós-operatório de cirurgia cardíaca. As características dos pacientes estão presentes na tabela 12.

Tabela 12 – Características dos pacientes que participaram do estudo.

Pacientes (n = 254)	Valores
Idade (meses)	11,87 ± 16,12 (4 dias – 5 anos)
Peso (kg)	7,09 ± 4,25 (2,1 – 19)
Sexo	
Masculino	111 (43,7)
Feminino	143 (56,3)
Diagnóstico Cardíaco	
Cardiopatía Congênita Cianótica	74 (29,13)
Cardiopatía Congênita Acianótica	106 (41,74)
Cardiopatía Congênita Mista	74 (29,13)

Fonte: Própria.

Notas: Os valores estão expressos em média ± desvio padrão (limites inferior e superior) ou número de pacientes (porcentagem).

A Cardiopatía Congênita Mista refere-se ao paciente que apresentou diagnóstico de ambas as alterações cardíacas (cianótica e acianótica).

4.2.2 Grupos Sucesso e Falha na Extubação

Após a retirada da prótese ventilatória dos 254 pacientes avaliados, 179 (70,47%) crianças obtiveram sucesso e 75 (29,53%) tiveram insucesso e preencheram o critério de falha na extubação, sendo que dessas, 19 (25,3%) utilizaram suporte respiratório não invasivo e 56 (74,7%) foram colocadas em suporte complementar de O₂, seja por máscara ou cateter nasal.

Estes pacientes em suporte respiratório não invasivo e em suporte complementar de O₂ retornaram à VMI dentro de um período de 48 horas após a extubação.

A identificação da melhor forma e do momento mais propício para extubar pacientes submetidos à ventilação mecânica tem sido um desafio nos últimos anos (DAVIDSON *et al.* 2008). Essa dificuldade foi comprovada no presente estudo, no qual um número expressivo de lactentes e crianças que pareciam aptas a serem extubadas necessitaram de reintubação dentro de um período de 48 horas.

A taxa de insucesso da extubação neste estudo (29,53%) foi superior a relatada em estudos similares (entre 4 e 19%) envolvendo crianças sob ventilação mecânica nos últimos anos (HARRISON *et al.*, 2002; KURACHEK *et al.*, 2003; BAISCH *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2008; JOHNSTON *et al.*, 2008; GATIBONI *et al.*, 2011; FÁVERO *et al.*, 2011; RIOU *et al.*, 2012; KACZMAREK *et al.*, 2013).

Foram encontrados dois artigos com um índice de insucesso próximo ao observado neste estudo. De 86 crianças avaliadas por Bousso (2004), 24,4% evoluíram para a falha no processo de extubação em um período de 48 horas após a análise da relação entre espaço morto e volume corrente. Em 2009, Hermeto *et al.* avaliaram 39 RNs de baixo peso em UTI neonatal e encontraram um índice de 23,1% de insucesso, ou seja, 9 pacientes necessitaram de reintubação em até sete dias após a extubação.

Outros dois artigos relataram um índice de falha na extubação da VMI superior ao encontrado neste estudo. Szymankiewicz, Vidyasagar e Gadzinowski (2005) avaliaram 51 RNs com Síndrome do Desconforto Respiratório, destes 39,2% necessitaram de reintubação dentro de 72 horas após a extubação. Das 35 crianças estudadas após a indicação da retirada da VMI, Davidson *et al.* (2008) relataram que 43% não conseguiram manter a respiração espontânea e necessitaram retornar à prótese ventilatória.

Ao contrário do resultado encontrado neste estudo, Harrison *et al.* (2002) acreditam que a falha na extubação é relativamente incomum após a cirurgia cardíaca congênita em crianças jovens, baseados em um estudo dos dados pré, intra e pós-operatório de 180 pacientes menores de 36 meses onde apenas 10% representou o processo de falha da extubação. Segundo Harrison *et al.* (2002), este é um equilíbrio aceitável tendo em vista uma extubação precoce e excessivamente agressiva com uma média de 25,6 horas de VMI.

Com resultados diferentes, Gatiboni *et al.* (2011) avaliaram o volume corrente, PI_{MAX} e IRRS de 100 crianças com idade média de 2,1 anos e indicação à VMI e observaram que o maior índice de insucesso na extubação ocorreu no grupo com crianças no período pós-

operatório de cirurgia cardíaca (29,4% de um total de 13 crianças), no estudo de Gatiboni *et al.* (2011) o grupo de falha representou 13% do total da amostra.

Referente ao trabalho desta tese, a tabela 13 apresenta o diagnóstico médico quanto ao motivo principal da falha de extubação. Pode-se observar que a maior causa do insucesso no retorno do paciente à ventilação espontânea foi a hipercapnia (encontrada em dezoito pacientes), a média do valor da PaCO₂ encontrada nesses pacientes após a extubação foi de 68,84 ± 19,78 mmHg, com valor mínimo de 48 e máximo de 121,1 mmHg. O valor médio de PetCO₂ nesses pacientes foi inferior a PaCO₂, 63,35 ± 18,64 mmHg (limites de 46 e 114 mmHg).

Tabela 13 – Diagnóstico médico para a falha na extubação e retorno do paciente para a prótese ventilatória.

Motivo da Falha	Número de Pacientes (%)
Hipercapnia	18 (24)
Hipoxemia	7 (9,3)
Hipercapnia / Hipoxemia	14 (18,7)
Atelectasia	8 (10,7)
Pneumotórax	3 (4)
Desconforto Respiratório Clínico	13 (17,3)
Crise Hipertensiva	4 (5,3)
Arritmia Cardíaca	8 (10,7)
Total	75

Fonte: Própria.

Os 179 pacientes que obtiveram sucesso na extubação da VMI, ao final das 48 horas, também apresentaram algum tipo de intercorrência, como: 31 pacientes (17,31%) apresentaram hipercapnia na última mensuração (48 horas após extubação), 26 pacientes (14,52%) apresentaram hipóxia, 5 crianças (2,79%) apresentaram um quadro de crise hipertensiva, 17 crianças (9,49%) tiveram atelectasia em algum momento durante as 48 horas e outras 6 crianças (3,35%) tiveram pneumotórax. Ainda assim, todos esses quadros foram tratados e revertidos e as crianças não precisaram retornar à VMI.

A hipercapnia (PaCO₂ acima de 45 mmHg) é um transtorno clínico causado pela hipoventilação. A produção de CO₂ ocorre rapidamente, e a insuficiência ventilatória imediatamente aumenta o nível de PaCO₂. A hipercapnia ocorre quando a disfunção na ventilação se instala e a remoção de CO₂ pelos pulmões é menor que a produção de CO₂ nos tecidos (SCHERER, GUARAGNA e BERLEZE, 2005).

Ao contrário deste estudo, Báucia e Barbero-Marcial (1992) encontraram valores de PetCO₂ abaixo do normal em crianças extubadas precocemente ainda na sala de cirurgia (provavelmente secundário ao edema intersticial pulmonar pós-CEC); estes valores foram controlados com a oferta de ar ambiente rico em O₂. A extubação precoce no centro cirúrgico, após a cirurgia cardíaca pediátrica, não é uma prática comum e apresenta riscos ao paciente (MITTNACHT *et al.*, 2008; KIN *et al.*, 2011).

Leve a moderada hipercapnia foi rotineiramente encontrada nos pacientes extubados precocemente em um estudo de Kloth e Baum (2002) em 102 crianças após cirurgia cardíaca. Abuchaim *et al.* (2010) acreditam que a técnica de extubação precoce não deve ser aplicada em crianças com cardiopatia congênita do tipo cianótica, tendo em vista a falta de oxigenação grave que essas crianças apresentam.

Nesta pesquisa, as disfunções pulmonares foram a principal causa de falha na extubação, diferente do resultado encontrado por Harrison *et al.* (2002) cuja causa mais comum de insucesso na extubação ser devido a pobre função cardíaca. Em um estudo com pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, Nozawa *et al.* (2003) também relataram as disfunções cardíacas como o principal motivo de falha na extubação.

Em 2009, Hermeto *et al.* avaliaram 39 RNs ventilados no modo convencional e mostraram uma incidência de falha na extubação de 23,1%, sendo que os pacientes necessitaram de reintubação em até sete dias após a extubação. Assim como os resultados deste estudo, Hermeto *et al.* (2009) também encontraram entre as principais causas de falha na extubação as alterações respiratórias, como: apnéia, aumento de esforço respiratório, pneumotórax e maior necessidade de oxigênio suplementar.

Neste estudo, no grupo que obteve sucesso na extubação da VMI, 9,49% dos pacientes (17/179) apresentaram algum tipo de atelectasia nas primeiras 48 horas após a extubação. Dos 75 casos de falha na extubação, 19 pacientes (25,33%) também foram diagnosticados com algum tipo de atelectasia após a remoção da cânula traqueal. Segundo o prontuário médico, em 8 pacientes essa foi a principal causa de reintubação com retorno do paciente a prótese ventilatória.

Segundo Alvares *et al.* (2012) a atelectasia pós-extubação representa a causa mais comum de falha da extubação e conseqüente necessidade de reintubação de RN. Alguns fatores relacionados ao RN desempenham um papel relevante no mecanismo de colapso alveolar, como o reduzido diâmetro das vias aéreas de condução, tosse ineficaz e elevada complacência da caixa torácica. Outros fatores, como prolongado período de VMI, intubações

recorrentes e acúmulo de secreção, podem também levar à redução da motilidade ciliar e, conseqüentemente, à obstrução total da via aérea (VENZON, 2006; RODRIGUES, 2007).

Além dos motivos de falha na extubação encontrados nesta pesquisa, Goldwasser *et al.* (2007) acrescentam que a incapacidade de eliminar a secreção brônquica é uma das mais frequentes causas de desmame difícil e retorno à VMI. Segundo pesquisas de Bouso *et al.* (2006) e Silva *et al.* (2008), a incapacidade de sustentar a respiração espontânea após a retirada da prótese ventilatória tem sido um dos principais fatores de falha na extubação.

4.2.3 Terapia Pós-Extubação

Considerando o estudo desta tese, após a extubação da prótese ventilatória os pacientes foram colocados em VMNI ou receberam suplemento de O₂, seja por cateter nasal ou máscara de O₂, de acordo com a decisão do profissional responsável pelo paciente (médico, residente ou fisioterapeuta), esta decisão foi baseada nos parâmetros clínicos e laboratoriais da criança (tabela 14).

Tabela 14 – Após a extubação os pacientes receberam suplemento de oxigênio ou foram colocados em ventilação mecânica não invasiva.

	Grupo Sucesso (n = 179)	Grupo Falha (n = 75)	Total (n = 254)
	Nº de Pacientes (%)	Nº de Pacientes (%)	Nº de Pacientes (%)
Suplemento de O ₂ por cateter nasal	103 (57,54)	21 (28)	124 (48,8)
Suplemento de O ₂ por máscara	44 (24,58)	35 (46,7)	79 (31,1)
VMNI – CPAP	32 (17,88)	19 (25,3)	51 (20,1)

Fonte: Própria.

Segundo Kamlin, Davis e Morley (2006), os RNs iniciados em CPAP através de cânulas nasais após a extubação da VMI têm maiores chances de sucesso que os pacientes mantidos em ventilação espontânea. Em 2008, Lopes *et al.* realizaram um estudo com 100 pacientes submetidos à cirurgia cardíaca e randomizados em dois grupos: que utilizaram VMNI após a extubação (n = 50) e grupo controle (n = 50) que fizeram uso apenas de cateter nasal de O₂. Os grupos em VMNI e controle evoluíram de forma semelhante e apresentaram diferença estatística significativa na análise de PaO₂ (p = 0,0009) e não nas mensurações de PaCO₂ (p = 0,557). Eles concluíram que o uso da VMNI após a extubação produziu melhora

na oxigenação e diminuição da taxa de reintubação dos pacientes em pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca.

Segundo Andrade *et al.* (2010), a CPAP, devido ao seu efeito estabilizador das vias aéreas, da caixa torácica e do volume pulmonar, tem sido usada como a estratégia ventilatória preferida para auxiliar no processo de retirada da VMI, em particular no paciente neonato. Evidências sugerem que a CPAP reduz a incidência de eventos adversos, como atelectasias pós-extubação, episódios de apnéia, acidose respiratória e necessidade de reintubação traqueal.

Recentemente, Ornico *et al.* (2013) avaliaram 40 pacientes submetidos à VMI por mais de 72 horas (tempo médio de 9 dias), e obtiveram uma taxa de reintubação menor se a VMNI for aplicada após a extubação quando comparados com aqueles pacientes submetidos a terapia convencional com uma máscara de oxigênio (5% *versus* 39%, respectivamente).

Nesta pesquisa, 20,1% do total de pacientes (51/254) foram mantidos em VMNI imediatamente após a extubação. Destas, 19 crianças (25,3%) não suportaram o processo e foram reintubados dentro das primeiras 48 horas. Uma taxa ainda maior de insucesso foi encontrada nos pacientes em ventilação espontânea com suplemento de O₂ por máscara, de um total de 79 pacientes 46,7% falharam no processo de extubação e retornaram à VMI.

De acordo com Ornico *et al.* (2013), a utilização da VMNI após a extubação programada mantém as vias aéreas superiores dos pacientes abertas, melhora a ventilação e oxigenação, evitando assim a sobrecarga do músculos respiratórios, o desenvolvimento de atelectasia, distúrbios da ventilação/perfusão, e consequentemente a dificuldade respiratória.

Em 2014, Valenzuela, Araneda e Cruces relataram que a experiência com VMNI durante o desmame é muito limitada em pacientes pediátricos, porque as informações disponíveis são de estudos não controlados e estudos de casos, com poucos pacientes.

A tabela 15 contém o momento da falha na extubação e reintubação de acordo com o tempo pós-extubação. Durante o estudo 30 pacientes retornaram à VMI nas primeiras 12 horas de ventilação espontânea e outras 20 crianças entre 12 e 24 horas. É possível observar que os pacientes que foram colocados em ventilação não invasiva com o uso da CPAP, suportaram um período maior em ventilação espontânea, ainda assim 12 pacientes retornaram a VMI entre um período de 24 e 48 horas.

Tabela 15 – Momento da falha na extubação e reintubação conforme o tempo pós-extubação.

Horas pós-extubação	Ventilação Mecânica	Suplemento de O ₂	Suplemento de O ₂	Total (n = 75)
	não Invasiva (n = 19)	Cateter Nasal (n = 21)	Máscara (n = 35)	
1 – 2 h	1	3	4	8
2 – 12 h	5	7	10	22
12 – 24 h	1	8	11	20
24 – 36 h	8	3	4	15
36 – 48 h	4	0	6	10

Fonte: Própria.

Diferente do resultado encontrado neste estudo, Bousso (2004) avaliou 86 crianças submetidas à VMI por motivos variados, destas 21 (24,4%) crianças preencheram o critério de falha na extubação. Ele observou um índice maior de pacientes (11/21) retornando à VMI nas primeiras 12 horas após a extubação. No estudo realizado por Davidson *et al.* (2008) dentre os 15 RNs que falharam na retirada da ventilação mecânica, nove (60%) foram reintubados em menos de seis horas após a extubação.

Neste estudo, os pacientes foram acompanhados e monitorados 2 horas antes da extubação e nos períodos de 2, 24 e 48 horas após a extubação ou até o fim do processo no caso dos pacientes que falharam e foram reintubados antes do término das 48 horas.

Os valores médio, mínimo e máximo da PetCO₂ de acordo com o grupo sucesso e falha na extubação da VMI, nos pacientes que receberam VMNI e suplemento de oxigênio, estão ilustrados nas figuras 32 e 33, respectivamente.

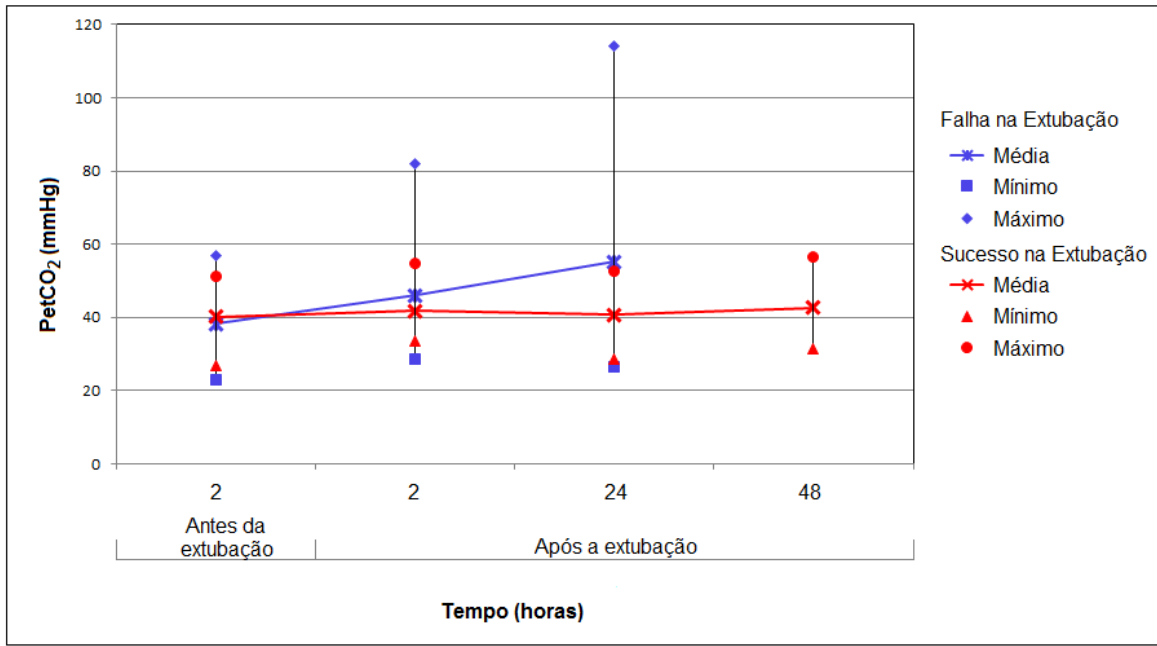


Figura 32 – Limites das mensurações da PetCO₂ segundo o desfecho da extubação da VMI nos pacientes que foram colocados em ventilação mecânica não invasiva imediatamente após a extubação.
Fonte: Própria.

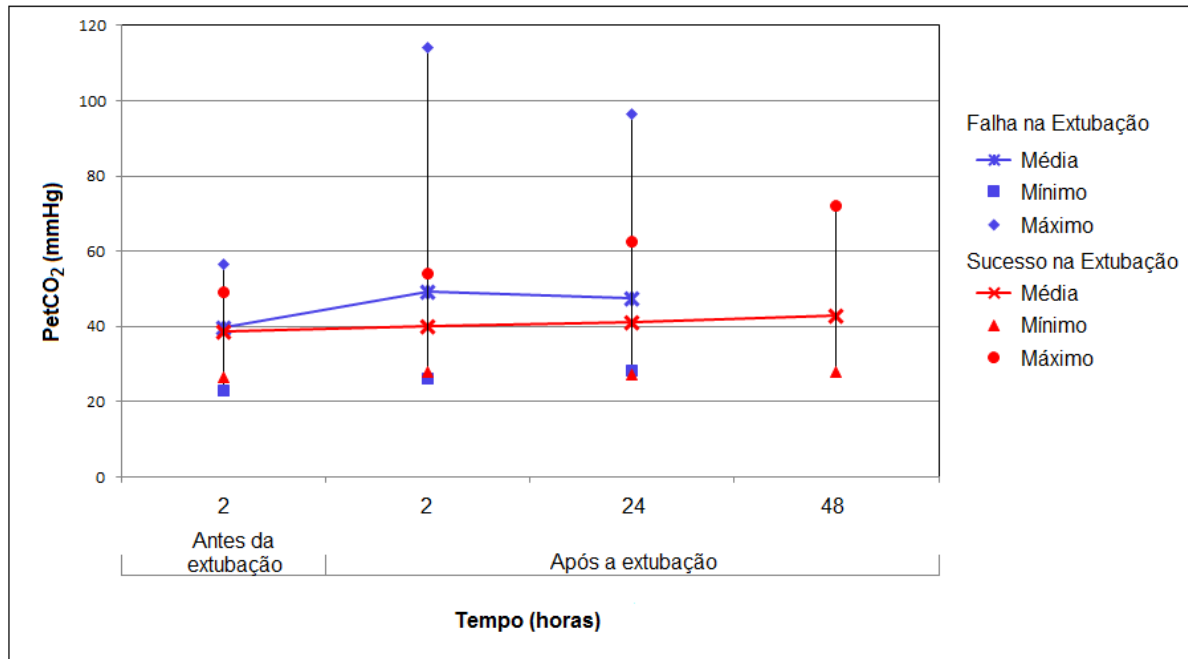


Figura 33 – Limites das mensurações da PetCO₂ segundo o desfecho da extubação da VMI nos pacientes que receberam suplemento de oxigênio imediatamente após a extubação.
Fonte: Própria.

Através das figuras acima, observou-se que os pacientes do grupo sucesso na extubação da VMI obtiveram valores médios e limite inferior similares nos pacientes sob VMNI e suplemento de oxigênio, seja por cateter nasal ou máscara. No entanto, 24 e 48 horas

após a extubação os pacientes que receberam suplemento de oxigênio obtiveram o limite superior de PetCO₂ maior do que o mesmo limite encontrado nos pacientes que foram colocados em VMNI.

Em relação aos pacientes que não suportaram a extubação da prótese ventilatória e foram reintubados dentro de um período de 48 horas, a PetCO₂ média e o limite superior dos pacientes sob VMNI se elevou com o decorrer do tempo obtendo os valores mais altos 24 horas após a extubação. Em contrapartida, nos pacientes que receberam suplemento de oxigênio imediatamente após a extubação, os valores médios de PetCO₂ foram similares nas mensurações realizadas 2 horas antes e 24 horas após a extubação com os valores mais altos obtidos 2 horas após a extubação da VMI.

4.2.4 Mortalidade após Falha na Extubação

Acompanhando os pacientes após a falha na extubação da VMI, foi observado que 12% dos pacientes (9/75) evoluíram a óbito durante as tentativas de retirada do tubo endotraqueal, na tabela 16 estão expostas as principais características destes pacientes.

Tabela 16 – Características dos pacientes que evoluíram a óbito.

Paciente	Idade	Diagnóstico	Dias de Internação em UTI	Nº de tentativas de extubação	Causa do óbito
1	6 dias	Cardiopatia Mista	4	1	PCR
2	23 dias	Cardiopatia Mista	22	6	MODS
3	12 dias	Cardiopatia Mista	10	2	PCR
4	4 dias	Cardiopatia Cianótica	3	1	Morte súbita
5	1 mês e 27 dias	Cardiopatia Acianótica	51	6	Pneumonia
6	7 dias	Cardiopatia Mista	6	2	PCR
7	1 mês e 9 dias	Cardiopatia Cianótica	32	3	PCR
8	1 ano e 1 mês	Cardiopatia Cianótica	37	3	Pneumonia
9	4 meses	Cardiopatia Acianótica	57	7	MODS

Fonte: Própria.

Nota: PCR – Parada Cardiorrespiratória; MODS – Síndrome de Disfunção Múltipla de Órgãos.

Neste estudo, não foi possível encontrar um padrão para os nove pacientes que evoluíram a óbito após a falha no processo de desmame e extubação da VMI, tendo em vista

que a idade, diagnóstico, tempo de internação, número de tentativas e principalmente a causa do óbito foram variados nos nove pacientes.

Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm mostrado que a falha na extubação e, conseqüentemente, a reintubação dos pacientes à VMI, dentro de um período de 48 horas, possui um índice de mortalidade mais elevado do que aqueles que obtiveram sucesso no desmame (DAVIS *et al.*, 2004; BOUSSO *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2008; FRUTOS-VIVAR *et al.*, 2011).

Ten Harkel *et al.* (2005) avaliaram as diferentes causas de falha na extubação e as conseqüentes taxas de mortalidade em 184 crianças após cirurgia cardíaca. Em 158 pacientes, a extubação foi bem sucedida, 9 pacientes foram reintubado por causa de obstrução das vias aéreas superiores e, evoluíram para o sucesso na extubação e 17 pacientes foram reintubados por insuficiência cardiorrespiratória, 11 destes (65%) infelizmente evoluíram a morte. Segundo Lopes *et al.* (2008) as complicações pulmonares são causas importantes de morbidade e mortalidade nos pacientes submetidos a cirurgia cardíaca com CEC.

4.2.5 Variáveis Demográficas e Clínicas

A tabela 17 apresenta, de forma agrupada, as variáveis demográficas e clínicas nas crianças no período pós-operatório de cardiopatias congênitas, dos casos de sucesso e falha da extubação, onde os pacientes foram reintubados. Foi encontrada diferença significativa nos dias de VMI ($p < 0,001$), sendo que o grupo insucesso permaneceu maior período em VMI com uma média de 6,3 *versus* 2,34 dias de VMI nas crianças com sucesso de extubação. A comparação de idade e conseqüentemente peso também apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0,001$).

Também foi constatada diferença significativa para os parâmetros FR e FiO₂, no entanto quando a análise de ROC foi efetuada, observou-se baixo poder de predição para o sucesso na extubação (AUC-ROC = 0,7197 e 0,6518, respectivamente).

Os pacientes extubados com sucesso tiveram uma tendência a apresentar valores de PaO₂ e SpO₂ superiores comparados àqueles reintubados, porém essa diferença foi pouco significativa ($p = 0,178$ e $p = 0,1951$, respectivamente). Não foram encontradas diferenças significativas nos demais parâmetros analisados (FC e PEEP) entre os dois grupos ($p > 0,05$).

Com base na análise de ROC apenas as variáveis: idade, peso e duração da VMI apresentaram valores de AUC acima de 0,75 indicando significância clínica e potencial

discriminatório para diferenciar os grupos e prever o desfecho da extubação da prótese ventilatória.

Tabela 17 – Variáveis demográficas e clínicas dos pacientes de acordo com os grupos sucesso e falha da extubação.

	Grupo Sucesso (n = 179)		Grupo Falha (n = 75)		AUC ROC	Valor de p
	Média ± DP	Limites	Média ± DP	Limites		
Idade (meses)	15,51 ± 17,81	6 dias – 60	3,16 ± 3,98	4 dias – 21	0,7565	$p < 0,001^*$
Peso (kg)	8,17 ± 4,46	2,1 – 19	4,50 ± 2,05	2,1 – 12,3	0,7550	$p < 0,001^*$
Duração da VMI (dias)	2,34 ± 2,13	1 – 10	6,30 ± 3,87	1 – 16	0,8349	$p < 0,001^*$
FC (bpm)	122,54 ± 17,7	89 – 172	130,72 ± 18,8	92 – 177	0,6348	$p = 0,515^{**}$
FR (ipm)	20,22 ± 2,37	16 – 30	22,93 ± 3,84	18 – 34	0,7197	$p < 0,001^*$
PaO ₂ (mmHg)	98,33 ± 13,14	69 – 164	95,73 ± 18,77	58,5 – 147	0,5515	$p = 0,1951^*$
SpO ₂ (%)	95,13 ± 3,8	85,5 – 100	92,88 ± 4,32	83,5 – 99,1	0,6517	$p = 0,178^*$
PEEP (cmH ₂ O)	4,74 ± 0,52	4 – 6	5,04 ± 0,55	4 – 6	0,6230	$p = 0,581^{**}$
FiO ₂ (%)	32,96 ± 5,39	25 – 50	36,86 ± 7,52	30 – 60	0,6518	$p < 0,001^*$

Fonte: Própria.

Notas: DP: desvio padrão; VMI: ventilação mecânica invasiva; FC: frequência cardíaca; FR: frequência respiratória; PaO₂: pressão arterial de oxigênio; SpO₂: saturação periférica de oxigênio; PEEP: pressão positiva expiratória final; FiO₂: fração inspirada de oxigênio.

* Teste Mann-Whitney ($p < 0,05$)

** Teste *t-Student* amostras independentes ($p < 0,05$)

Neste estudo, observou-se que as crianças que permaneceram mais dias em VMI (com um período máximo de 16 dias) foram aquelas que tiveram insucesso no desmame. No estudo de Silva *et al.* (2008), o tempo de VMI que antecedeu à extubação foi maior no grupo que obteve insucesso no desmame. Fontela *et al.* (2005) estudaram crianças em VMI e 10,5% delas necessitaram de reintubação em um período de até 48 horas após a extubação, destas as que tiveram maior taxa de risco para falha no desmame foram aquelas que utilizaram a VMI por um período maior de 15 dias. Em um estudo com 127 pacientes adultos em VMI, Oliveira *et al.* (2006) não encontraram diferença estatística significativa quanto ao tempo de ventilação mecânica dos grupos sucesso e insucesso (6 *versus* 7 dias; $p = 0,70$).

A idade e consequentemente o peso das crianças apresentaram valor significativamente maior no grupo sucesso, com média de 3,16 meses e 4,5 kg no grupo falha e 15,51 meses e 8,17 kg no grupo sucesso ($p < 0,001$). Este dado coincide com o estudo de Baisch *et al.* (2005) ao avaliarem 3.193 crianças submetidas à VMI, onde observaram que a idade média das crianças que falharam na extubação foi de 6,5 meses, em comparação com

uma idade mediana de 21,3 meses no grupo sem falha. Eles ainda observaram que a idade média de falha na extubação de crianças com doença cardíaca foi de 9,3 meses.

Em RN de muito baixo peso, estima-se uma incidência de falha na extubação em torno de 20 a 50%, esse índice pode aumentar dependendo do peso de nascimento, idade gestacional e modo de suporte ventilatório utilizado antes da extubação (HERMETO *et al.*, 2009).

Polito *et al.* (2011) realizaram um estudo para identificar os fatores associados à VMI prolongada com o objetivo de desenvolvimento de melhorias na qualidade dos cuidados das crianças com fatores de risco. Considerando um total de 362 pacientes avaliados após cirurgia cardíaca e internados na UTI, a média de idade foi 242 dias com variação entre 4 dias e 14,4 anos, a duração média da VMI foi de 1,5 dias, variando de 0 a 7 dias, e 41 pacientes (11%) foram ventilados por mais de 7 dias. Eles concluíram que RN, infecções nosocomiais, complicações pulmonares e necessidade de reintervenção estão associados à ventilação mecânica prolongada após a cirurgia cardíaca. Todos esses fatores associados a VMI prolongada contribuíram para o insucesso na retirada do paciente da prótese ventilatória.

Recentemente, Costa, Schettino e Ferreira (2014) avaliaram o desfecho da extubação em 176 RNs submetidos à ventilação pulmonar mecânica e contrariando os resultados deste estudo, eles evidenciaram que o menor tempo em VMI e a maior idade cronológica aumentaram o risco de reintubação. Segundo Kurachek *et al.* (2003), o menor tempo de ventilação e a falha estão relacionados à não resolução da causa que gerou a necessidade de intubação e, para Hermeto *et al.* (2009) a prematuridade é um dos fatores que ocasiona falha na extubação devido à imaturidade do sistema muscular e pulmonar. A hipótese apresentada por Danan *et al.* (2008) é a de que os RNs prematuros extubados e que passam menos tempo em VMI não dispõem de tempo para maturação da função do sistema respiratório e da estabilização alveolar.

Em acordo com os resultados aqui obtidos, Andrade *et al.* (2010) estudaram 60 RNs eleitos para extubação e comparando sucesso e falha na remoção do tubo endotraqueal houve diferença significativa para FiO_2 e peso, indicando que a FiO_2 maior e o peso menor apontam em falha na extubação.

Na presente pesquisa, os pacientes extubados com sucesso tiveram uma tendência a apresentar menor média de FR nas 2 horas que antecederam a extubação, comparados àqueles reintubados. Da mesma forma, no estudo de Davidson *et al.* (2008) os RNs extubados com sucesso também apresentaram FR inferior comparados aos pacientes do grupo insucesso, porém essa diferença foi pouco significativa e seria de se esperar que a FR não fosse capaz de

predizer de forma acurada a falha na extubação como, de fato, se comprovou na análise da curva ROC.

Neste estudo, não foi encontrada significância estatística em relação a SpO₂. A média para a saturação de O₂ no grupo sucesso e insucesso foi 95,13% e 92,88%, respectivamente. Diferente desse resultado, Silva *et al.* (2008) encontraram diferença significativa no parâmetro SpO₂ com média de 93,44 ± 8,03% no grupo sucesso e 70 ± 15,05% no grupo com falha ($p = 0,004$). Este achado é coincidente com um estudo prévio que mostrou que as crianças que permaneceram mais dias em VMI e que possuíam uma SpO₂ mais baixa, geralmente estavam relacionadas ao insucesso no desmame (EPSTEIN, 2002).

O valor médio mensurado de 70% para a SpO₂ no grupo com falha na extubação, encontrado no estudo de Silva *et al.* (2008), contradiz os critérios clínicos para considerar o paciente apto para o desmame expostos no III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica (GOLDWASSER, 2007) e em outros estudos (ESKANDAR e APOSTOLAKOS, 2007; NEMER e BARBAS, 2011) que consideram a SpO₂ acima de 90% para iniciar o procedimento de desmame, ou seja, valores muito inferiores desqualificariam o paciente à extubação da prótese ventilatória. O exposto justifica o motivo pelo qual, ambos os grupos de pacientes neste estudo, possuíam um valor médio de SpO₂ acima de 90%.

Nozawa *et al.* (2003) estudaram 45 pacientes em pós-operatório de cirurgia cardíaca que estavam sob VMI por mais de 10 dias e avaliaram os fatores que influenciam no desmame destes pacientes. Seus resultados mostram que os dados de mecânica respiratória e oxigenação não são parâmetros de sucesso ou insucesso do desmame. No entanto, a disfunção cardíaca e o tempo de CEC interferiram de forma significativa no sucesso da extubação da VMI.

4.2.6 Mensurações de Pressão de Dióxido de Carbono

A figura 34 apresenta o gráfico de comparação dos dados de PetCO₂ e PaCO₂ obtidos através da Análise de Variância. Para esta análise, ambos os métodos apresentaram ($p < 0,001$), conseqüentemente a diferença entre ambas as mensurações (P(a-et)CO₂), também foi significativa para o grupo sucesso e falha na extubação de 0,42 e 1,27 mmHg, respectivamente.

No entanto, analisando os índices ventilatórios obtidos através do módulo de capnografia e da gasometria arterial, 2 horas antes da extubação (tabela 18), não foi encontrada diferença significativa entre os grupos sucesso e insucesso, nos valores

mensurados de PetCO_2 e PaCO_2 para o teste de Mann-Whitney. Ainda assim, o índice P(a-et)CO_2 apresentou significância estatística ($p < 0,001$) entre ambos os grupos.

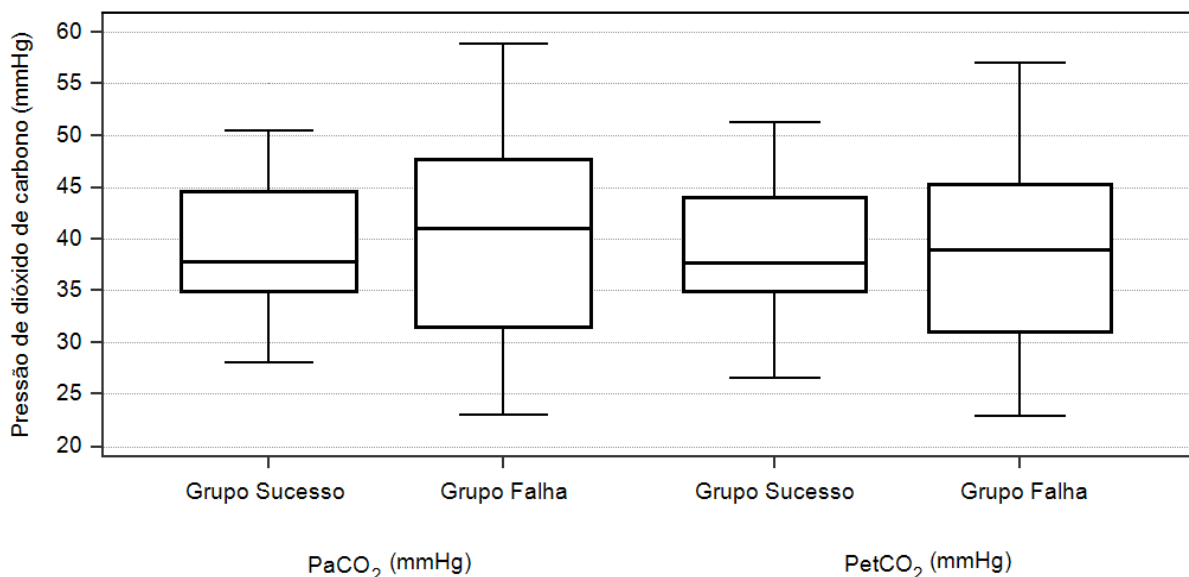


Figura 34 – Comparação entre as mensurações da pressão de dióxido de carbono expirado (PetCO_2) e da pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) de acordo com o grupo sucesso e falha na extubação da prótese ventilatória.

Fonte: Própria.

Tabela 18 – Comparação dos parâmetros da pressão de dióxido de carbono (mmHg) de acordo com os grupos sucesso e falha na extubação.

	Grupo Sucesso (n = 179)		Grupo Falha (n = 75)		Valor de <i>p</i>
	Média ± DP	Limites	Média ± DP	Limites	
PaCO_2	39,30 ± 5,59	28 – 50,5	40,55 ± 9,6	23 – 58,9	$p = 0,389$
PetCO_2	38,88 ± 5,77	26,5 – 51,3	39,27 ± 9,22	22,9 – 57	$p = 0,725$
P(a-et)CO_2	0,42 ± 1,03	- 3,2 – 4	1,27 ± 2,12	- 4,6 – 7	$p < 0,001$

Fonte: Própria.

Notas: PaCO_2 : pressão arterial de dióxido de carbono; PetCO_2 : pressão final de dióxido de carbono expirado; P(a-et)CO_2 : diferença entre a pressão de dióxido de carbono arterial e expirado. Teste Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Uma explicação para os índices de P(a-et)CO_2 positivos, é o fato de que a concentração alveolar de CO_2 é ligeiramente menor do que no sangue venoso misto, mas ligeiramente maior do que no sangue arterial. O gás no espaço morto alveolar e anatômico que é nulo, ou seja, livre de CO_2 , dilui a concentração de CO_2 alveolar. Assim, o valor de P(a-et)CO_2 é normalmente positivo, porque o espaço morto anatômico é suficientemente grande para diminuir a PetCO_2 abaixo da PaCO_2 (CHEIFETZ e MYERS, 2007).

Ainda assim, alguns pacientes apresentaram índices de $P(a-et)CO_2$ negativos, os limites inferiores para o grupo sucesso e falha foram de -3,2 e -4,6 mmHg, respectivamente. Em 1991, Shankar, Moseley e Kumar descreveram que o gradiente $P(a-et)CO_2$ pode ser negativo em pacientes após cirurgia cardíaca com CEC devido a produção aumentada de CO_2 e a redução da capacidade residual funcional. Recentemente, Goonasekera *et al.* (2014) avaliaram 624 leituras simultâneas de $PaCO_2$ e $PetCO_2$ em 105 crianças em VMI e 20% dos valores de $PetCO_2$ foram mais elevados em comparação com a $PaCO_2$, resultando em uma diferença negativa no gradiente.

Os resultados aqui obtidos divergem do estudo de Riou *et al.* (2012) que avaliaram o índice VD/VT e alguns parâmetros respiratórios para prever a falha na extubação em 42 crianças em VMI. Seus resultados revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos que alcançaram o sucesso e o fracasso no processo de desmame para a $PaCO_2$ de $35,9 \pm 6,51$ mmHg e $46,2 \pm 9,13$ mmHg ($p < 0,001$), respectivamente. Eles também encontraram diferença significativa entre os grupos para pH arterial, HCO_3^- , frequência respiratória, volume corrente e índice VD/VT.

Em um estudo com RN, Hermeto *et al.* (2009) concluíram que os pacientes extubados com sucesso apresentaram níveis de $PaCO_2$ menores do que aqueles que falharam na extubação ($35,8 \pm 11,5$ mmHg *versus* $42,7 \pm 6,6$ mmHg; $p < 0,05$) na gasometria pré-extubação.

Kloth e Baum (2002) avaliaram os pacientes no momento de chegada na UTI, e aqueles extubados precocemente tiveram um maior $PaCO_2$ ($52,4 \pm 6,9$ *versus* $41,2 \pm 14,7$ mmHg, $p < 0,001$) e um menor pH ($7,27 \pm 0,04$ *versus* $7,37 \pm 0,16$, $p < 0,001$). O maior valor de $PaCO_2$ no grupo de extubação precoce foi de 65 mmHg e oito pacientes tiveram uma $PaCO_2 > 60$ mmHg à admissão na UTI. Esta leve a moderada hipercarpnia foi transitória em todos os pacientes, e nenhum necessitou de tratamento ou intervenção específica.

Johnson, Batoool e Dalbec (2008) estudaram 12 pacientes durante a primeira noite após desligar o ventilador e eles observaram um aumento significativo da pressão do CO_2 transcutânea de $12,8 \pm 10,9$ mmHg (a partir de $47,2 \pm 4,1$ mmHg para $59,9 \pm 13,2$ mmHg). Eles relataram que, embora a monitorização da mecânica respiratória e a tolerância de um teste de respiração espontânea ajude a prever se o paciente pode ser extubado, muitos pacientes ainda não conseguem obter o sucesso na remoção do tubo endotraqueal.

Por outro lado, a maioria dos autores têm relatado resultados semelhantes ao encontrado neste estudo (tese). Hubble *et al.* (2000) avaliaram as mensurações de pressão de CO_2 e o espaço morto fisiológico/volume corrente (VD/VT) como preditor de falha na

extubação em 45 lactentes e crianças ventiladas. Ao final do estudo, eles não encontraram diferenças significativas entre os grupos falha e sucesso para os valores de PetCO₂ (42 ± 7 mmHg e 42 ± 6 mmHg, respectivamente; $p = 0,96$) e PaCO₂ (41 ± 8 mmHg e 44 ± 5 mmHg, respectivamente, $p = 0,23$).

Em uma investigação realizada no momento da extubação, com 212 crianças após cirurgia cardiotorácica, Manrique *et al.* (2007) constataram que, apesar de uma tendência para uma maior pressão de CO₂ no grupo que evoluiu para falha no processo de extubação, não houve diferenças estatísticas entre os grupos sucesso e fracasso (48 mmHg [limites: 30 a 54 mmHg] *versus* 40 mmHg [limites: 21 a 66 mmHg]; $p = 0,14$).

Silva *et al.* (2008) estudaram 29 crianças submetidas a correção cirúrgica de cardiopatias congênitas, e concluíram que SpO₂ e FiO₂ foram os principais fatores associados à falha na extubação. Assim como os resultados deste estudo, eles não encontraram diferença significativa na PaCO₂ entre os grupos sucesso e fracasso: 42,75 ± 9,8 mmHg e 45,5 ± 21,6 mmHg ($p = 0,668$), respectivamente.

Outros autores também relataram não ter encontrado diferença significativa quando as mensurações de PaCO₂ foram avaliadas entre os grupos sucesso e insucesso na extubação da VMI (NOIZET *et al.*, 2005; JOHNSTON *et al.*, 2010; COSTA, SCHETTINO e FERREIRA, 2014).

Apesar deste estudo não ter demonstrado diferença significativa quanto as mensurações de PaCO₂ e PetCO₂ no período pré-extubação, como observado na tabela 18, a análise de ROC foi utilizada para verificar se esses parâmetros, ainda assim, poderiam prever a falha na remoção do tubo endotraqueal dos pacientes após cirurgia cardíaca (tabela 19).

Tabela 19 – Análise de ROC para as mensurações da pressão de dióxido de carbono.

	AUC-ROC	Valores de corte*	Sensibilidade %	Especificidade %	Valor de p
PaCO ₂	0,5343	> 38,3	57,33	51,40	$p = 0,3886$
PetCO ₂	0,514	> 37,75	56,00	50,28	$p = 0,7241$
P(a-et)CO ₂	0,7074	> 0,75	65,33	77,09	$p < 0,0001$

Fonte: Própria.

Notas: PaCO₂: pressão arterial de dióxido de carbono; PetCO₂: pressão final de dióxido de carbono expirado; P(a-et)CO₂: diferença entre a pressão de dióxido de carbono arterial e expirado.

* Os valores de corte foram determinados de acordo com a máxima sensibilidade e especificidade simultânea do teste.

A análise da curva de ROC mostrou que valores médios de PaCO₂ e PetCO₂ medidos duas horas antes da remoção do tubo endotraqueal dos pacientes em VMI apresentaram uma baixa sensibilidade e especificidade para prever a falha na extubação (figura 35), além disso não foi encontrado valores de AUC satisfatórios para a PaCO₂ e PetCO₂ (0,5343 e 0,514, respectivamente). No entanto, o parâmetro P(a-et)CO₂ apresentou um índice de AUC-ROC de 0,707, segundo Braga (2000) um modelo possui um desempenho aceitável, quando a área sob a curva ROC é de 0,7. No entanto para Fan, Upadhye e Worster (2006) e para Aguiar (2012) apenas os valores de AUC acima de 0,75 possuem significância clínica.

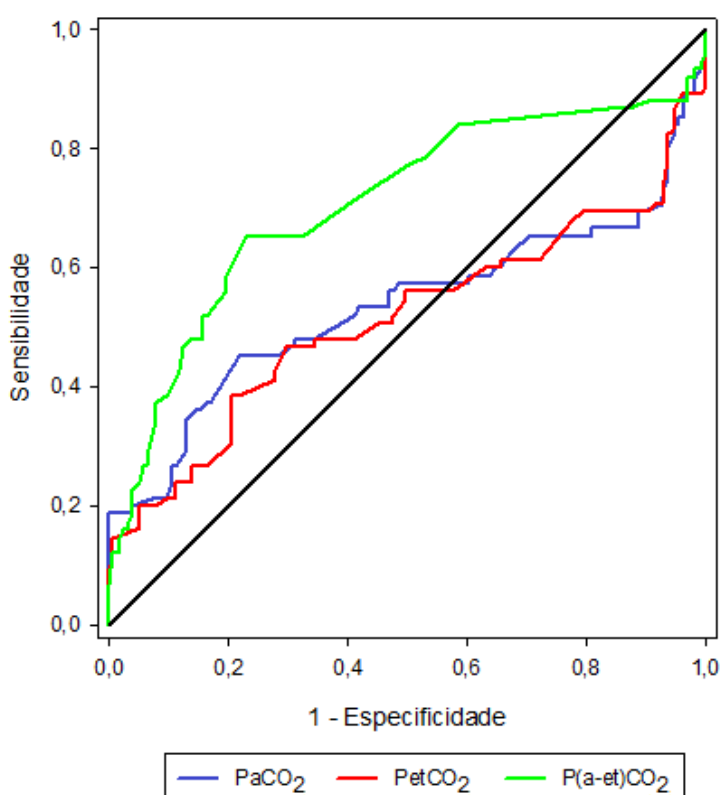


Figura 35 – Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para a previsão da falha na extubação. As mensurações foram realizadas nos pacientes em ventilação mecânica invasiva, duas horas antes da extubação: PaCO₂ (AUC = 0,5343 e $p = 0,3886$), PetCO₂ (AUC = 0,514 e $p = 0,7241$) e P(a-et)CO₂ (AUC = 0,7074 e $p < 0,001$).

Fonte: Própria.

O baixo poder discriminatório para os valores de PaCO₂ e PetCO₂ entre os grupos (sucesso e fracasso) se devem ao fato da ampla variação entre as mensurações encontradas nos pacientes duas horas antes da extubação, como foi verificado na tabela 18. Os limites (inferior e superior) dos valores para a PaCO₂ no grupo sucesso e falha foram de 28 a 50,5 mmHg e 23 a 58,9 mmHg, respectivamente. Para os valores de PetCO₂ os limites foram de 26,5 a 51,3 mmHg para o grupo sucesso e 22,9 a 57 mmHg para o grupo falha.

Também, quando as mensurações da pressão de CO₂ foram analisadas de acordo com a faixa etária dos pacientes: menores de 30 dias, entre 30 dias e 1 ano e acima de 1 ano, ainda assim, tanto os pacientes que obtiveram sucesso na extubação quanto os pacientes que evoluíram para a reintubação e falharam na remoção do tubo endotraqueal obtiveram episódios de hipocapnia e hipercapnia nas mensurações realizadas duas horas antes da extubação, dificultando assim, a utilização dos valores de PaCO₂ e PetCO₂ como um índice preditivo do desfecho da extubação da prótese ventilatória.

4.2.7 Hipocapnia e Hipercapnia

Analisando a pressão de CO₂ duas horas antes da extubação, observou-se no grupo sucesso, composto de 179 mensurações, que 114 estavam dentro da normalidade, uma quantidade inferior de pacientes apresentou hipocapnia e hipercapnia, 35 e 30 crianças, respectivamente. No grupo falha (75 pacientes) essa variação não foi muita expressiva com 27 mensurações abaixo de 35 mmHg e 28 valores de PaCO₂ acima de 45 mmHg indicando hipercapnia (tabela 20).

Tabela 20 – Faixa de mensurações da pressão de dióxido de carbono antes da extubação.

	Grupo Sucesso (n = 179)			Grupo Falha (n = 75)		
	Hipocapnia n (%)	Normal n (%)	Hipercapnia n (%)	Hipocapnia n (%)	Normal n (%)	Hipercapnia n (%)
PaCO ₂	35 (19,55)	114 (63,69)	30 (16,76)	27 (36)	20 (26,67)	28 (37,33)
PetCO ₂	40 (22,35)	111 (62,01)	28 (15,64)	25 (33,33)	30 (40)	20 (26,66)

Fonte: Própria.

Notas: Hipocapnia: valores de CO₂ < 35 mmHg; Normal: valores de CO₂ entre 35 e 45 mmHg; Hipercapnia: valores de CO₂ > 45 mmHg.

No grupo falha, dos 28 pacientes que apresentaram um quadro de hipercapnia antes da extubação, diagnosticado através das mensurações de PaCO₂ obtidas pela gasometria arterial, 20 pacientes alcançaram o mesmo diagnóstico com a mensuração de PetCO₂. Uma similaridade encontrada entre 7 desses 8 pacientes com variação da pressão de CO₂ entre os métodos, foi o diagnóstico de atelectasia lobular durante o processo de desmame. Segundo Alvares *et al.*, (2012) a atelectasia provoca uma alteração na relação ventilação/perfusão, o que justificaria a mensuração inferior de PetCO₂ em relação a PaCO₂.

Em 1986, Tobin *et al.* relataram que o desenvolvimento de hipercapnia em pacientes com falha no processo de desmame e extubação ocorre devido às altas taxas respiratórias e

baixos volumes correntes, com conseqüente troca gasosa ineficiente. No presente estudo tese, dos 28 episódios hipercápnicos que ocorreram no grupo que não suportou a extubação da VMI, 20 (71,43%) foram identificados com a PetCO₂. Portanto, a capnografia parece útil para detectar os episódios hipercápnicos em pacientes que não suportaram a extubação da VMI.

4.2.8 Correlação e Concordância entre PaCO₂ e PetCO₂

Os valores mensurados de PaCO₂ e PetCO₂ foram comparados duas horas antes da extubação, para o grupo sucesso e falha, com o intuito de verificar se o capnógrafo poderia ser um substituto de monitorização contínua e não invasiva da gasometria arterial.

Na figura 36, apresenta-se a PetCO₂ mensurada pelo módulo de capnografia correlacionada com a PaCO₂ mensurada através da gasometria arterial. Para toda a amostra, a correlação foi significativa em ambos os grupos: sucesso ($r = 0,9840$, $p < 0,001$) e falha ($r = 0,9754$, $p < 0,001$), durante todo o período do estudo.

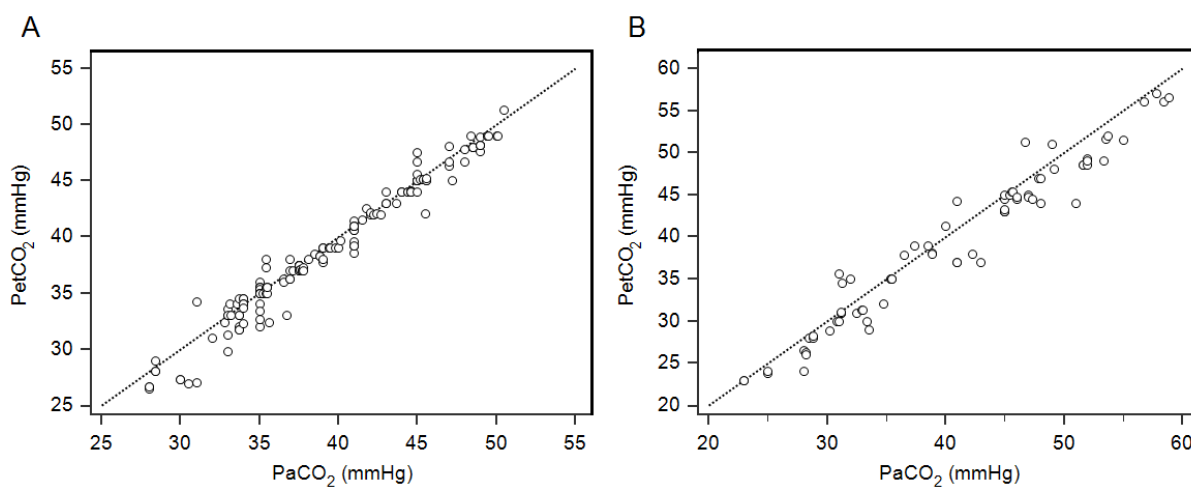


Figura 36 – Correlação da pressão final de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) e da pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO₂): A - para o grupo sucesso (n = 179; r = 0,984; p < 0,001) e B - para o grupo que obteve falha no processo de extubação (n = 75; r = 0,9754; p < 0,001).

Fonte: Própria.

A figura 37 (A) apresenta a análise gráfica de Bland-Altman entre os valores de PetCO₂ e PaCO₂ mensurados duas horas antes da extubação para o grupo sucesso. É possível verificar uma concordância média de diferença entre os resultados correspondente a 0,425 mmHg com desvio padrão de $\pm 1,03$ mmHg. Os limites de 95% inferior e superior correspondem a -1,59 e 2,44 mmHg, respectivamente.

Em relação aos valores da pressão de CO₂ obtidos na pré-extubação no grupo falha, observa-se na figura 37 (B) que a diferença de médias entre os valores de PetCO₂ e PaCO₂ é 1,27 mmHg, o desvio padrão é $\pm 2,12$ mmHg e os limites de 95% de concordância entre as mensurações variam de -2,88 a 5,43 mmHg.

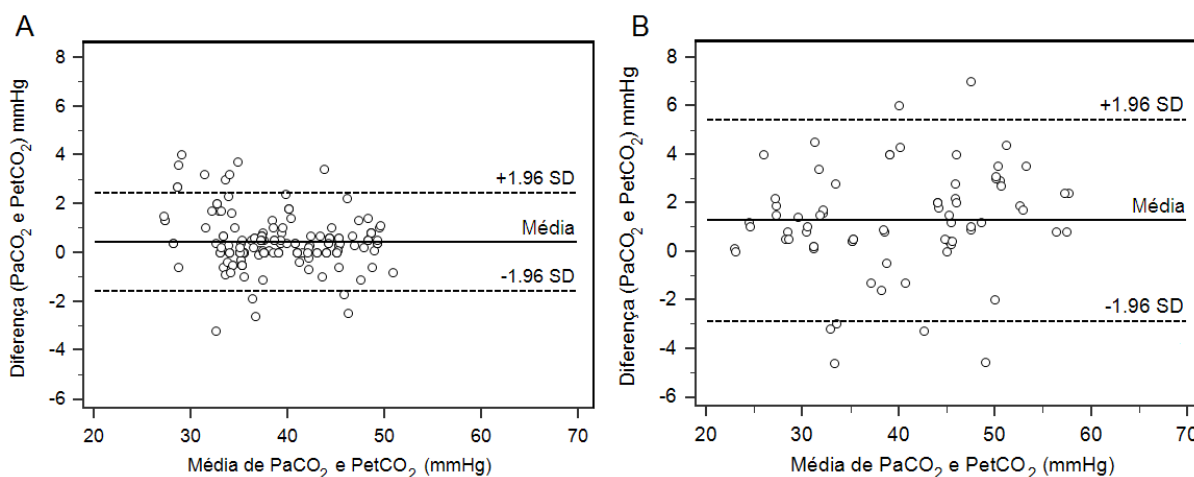


Figura 37 – Análise gráfica de Bland-Altman da mensuração da pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) e da pressão de dióxido de carbono expirado (PetCO₂) duas horas antes da extubação: A - para o grupo sucesso (n = 179) e B - para o grupo falha (n = 75).

Fonte: Própria.

Para todos os pacientes, a associação e concordância entre os valores de PetCO₂ e PaCO₂, usando o coeficiente de correlação e a análise de Bland-Altman, mostraram maior significância para o grupo sucesso quando comparados com os pacientes que foram reintubados dentro de um período de 48 horas após a extubação (grupo falha). Embora o grupo sucesso tenha alcançado melhores resultados, os gradientes de P(a-et)CO₂ estavam dentro dos limites normais para ambos os grupos de pacientes, seja a extubação bem sucedida e os que evoluíram para a reintubação.

No entanto, permanece um debate substancial na literatura se a monitorização contínua da pressão de CO₂ expirado através da capnografia é um método útil para prever a pressão de CO₂ no sangue, principalmente para os pacientes em VMI (MC SWAIN *et al.*, 2010; TREVISANUTO *et al.*, 2012; RAZI *et al.*, 2012). Para Mehta, Kashyap e Trivedi (2014) a monitorização de PetCO₂ apresenta uma elevada relação com a PaCO₂, fornecendo uma estimativa clinicamente relevante, em tempo real e de forma não invasiva. No entanto, para eles o conhecimento sobre a sua relação com a PaCO₂ em pacientes RNs e pediátricos criticamente doentes ainda é limitada.

Em acordo com estudos anteriores (WU *et al.*, 2003; MC SWAIN *et al.*, 2010; RAZI *et al.*, 2012; MEHTA, KASHYAP e TRIVEDI, 2014; GOONASEKERA *et al.*, 2014; ROWAN *et al.*, 2015), este estudo mostrou que a PetCO₂ obtida pela capnografia *sidestream* é capaz de estimar a PaCO₂ em lactentes e crianças intubados no período pós-operatório. No entanto, outros estudos (DE VRIES *et al.*, 2002; LOPEZ *et al.*, 2009; TREVISANUTO *et al.*, 2012; PEKDEMIR *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2013) sugerem que a PetCO₂ não pode ser um substituto confiável para as mensurações de PaCO₂.

Segundo Niehoff *et al.* (1988) a capnografia é uma técnica útil para a monitorização da ventilação pulmonar durante o desmame no período pós-operatório e pode resultar na redução das coletas de sangue para a gasometria arterial. Segundo eles, a capnografia apresentou uma sensibilidade de 85% para identificar os casos de hipocapnia (definido como PaCO₂ inferior a 30 mmHg), no entanto pareceu ser relativamente insensível à hipercapnia, pois apresentou uma sensibilidade de apenas 28% quando a PaCO₂ estava acima de 45 mmHg.

Em 1991, Thrush, Mentis e Downs avaliaram se a medição contínua da PetCO₂ poderia ser usada com segurança e eficiência em pacientes durante o processo de desmame da VMI no período pós-operatório de cirurgia cardíaca. Seus resultados indicaram que a PetCO₂ foi um bom indicador da PaCO₂ ($r = 0,76$) e a sua sensibilidade para detectar os episódios de hipercapnia foi de 95%.

Morley *et al.* (1993) avaliaram o uso de capnografia como um método não invasivo de mensuração de PaCO₂ durante o desmame da V

MI em pacientes com insuficiência respiratória aguda. Eles encontraram uma correlação significativa entre os valores de PaCO₂ e PetCO₂ em todos os pacientes (valor de r variando de 0,68 a 0,94) e todos os episódios de hipoventilação grave, definida como um aumento na PaCO₂ de 10 mmHg ou mais, foram identificados pela capnografia.

Em 1996, Saura *et al.* realizaram um estudo prospectivo e avaliaram a capacidade da PetCO₂ em identificar clinicamente os episódios de hipercapnia, durante o desmame da VMI, em 30 pacientes adultos. Eles encontraram uma relação de $r = 0,74$ ($p > 0,001$) entre PaCO₂ e PetCO₂ na primeira hora de CPAP e concluíram que a capnografia forneceu uma boa avaliação dos episódios hipercápnicos durante o desmame.

Recentemente, Saeed *et al.* (2014) encontraram uma correlação significativa entre e PetCO₂ e PaCO₂ durante todo o período de VMI em pacientes com enfisema e bronquite crônica, eles concluíram que o acompanhamento da PetCO₂ proporcionou uma boa avaliação não invasiva dos episódios hipercápnicos durante a pré-extubação.

Os valores de PaCO₂, PetCO₂ e P(a-et)CO₂ mensurados neste estudo durante a pré e pós-extubação para toda a amostra estão expressos na tabela 21. É possível verificar que os valores da pressão de CO₂, seja arterial ou expirado, estão dentro da faixa de normalidade quando mensurados antes da extubação da VMI, para ambos os grupos. Esses valores permaneceram dentro da faixa nos pacientes que obtiveram sucesso na remoção do tubo endotraqueal. No entanto, para o grupo falha os valores médios de PaCO₂ e PetCO₂ aumentaram quando mensurados 2 e 24 horas após a extubação. Como os pacientes retornaram à prótese ventilatória antes do término das 48 horas, para este período as mensurações foram realizadas apenas no grupo sucesso.

Três pacientes que evoluíram para a falha na extubação da prótese ventilatória apresentaram valores acima do limite superior, segundo a capacidade de mensuração do capnógrafo, para estes pacientes a medida de PetCO₂ no módulo de capnografia foi 114 mmHg. Além disso, as mensurações de CO₂ não foram realizadas no período pós-extubação em oito pacientes que estavam no grupo falha, pois estes pacientes foram reintubados antes de completar as 2 horas de remoção do tubo endotraqueal.

Tabela 21 – Mensurações da pressão de dióxido de carbono (mmHg) obtidas na pré e pós-extubação.

	GRUPO SUCESSO			GRUPO FALHA		
	PaCO ₂	PetCO ₂	P(a-et)CO ₂	PaCO ₂	PetCO ₂	P(a-et)CO ₂
Pré-Extubação						
2 horas	39,31 ± 5,59 (28 – 50,5)	38,88 ± 5,77 (26,5 – 51,3)	0,42 ± 1,03 (-3,2 – 4)	40,55 ± 9,6 (23 – 58,9)	39,27 ± 9,22 (22,9 – 57)	1,27 ± 2,12 (-4,6 – 7)
Pós-Extubação						
2 horas	41,12 ± 5,68 (29,6 – 55,6)	40,34 ± 5,6 (28 – 54,6)	0,78 ± 2,19 (-5,5 – 5,8)	52,16 ± 17,12 (31 – 121)	48,32 ± 16,1 (26,2 – 114)	3,83 ± 2,92 (-3 – 17,5)
24 horas	41,95 ± 6,11 (29 – 65,5)	41,01 ± 6,15 (27,3 – 62,4)	0,94 ± 1,11 (-1,1 – 10,9)	55,64 ± 22,98 (31,6 – 115,3)	51,04 ± 21,6 (26,4 – 114)	4,59 ± 4,04 (-3 – 14,4)
48 horas	44,06 ± 7,96 (30 – 73,4)	42,78 ± 8,11 (27,9 – 72,1)	1,27 ± 1,19 (-0,6 – 7)	-	-	-

Fonte: Própria.

Notas: Os valores estão expressos em média ± desvio padrão (limites inferior e superior).

PaCO₂: pressão arterial de dióxido de carbono; PetCO₂: pressão final de dióxido de carbono expirado; P(a-et)CO₂: diferença entre a pressão de dióxido de carbono arterial e expirado.

4.2.9 Parâmetros Extraídos do Capnograma

As anormalidades no sistema respiratório estão tipicamente associadas a sinais que se diferenciam em alguma característica dos seus correspondentes sinais em estado saudável ou normal. Os sinais refletem propriedades dos seus subjacentes sistemas biológicos, e suas decodificações ajudam a explicar e identificar várias condições patológicas (DUQUE, 2012). Porém, este processo muitas vezes é direto, envolvendo um esforço manual muito limitado, como uma simples inspeção visual do sinal impresso em papel, na tela do computador ou no *display* do equipamento (DUQUE, 2012; KAZEMI, IMARAH e MALARVILI, 2013).

Embora o capnograma seja uma representação vital do sistema respiratório (SHANKAR, 2014), a forma de onda do capnograma é uma ferramenta raramente usada para monitorar o paciente durante o desmame e para determinar o momento ideal para a extubação da VMI. Na tabela 22 apresentam-se os valores médios e limites (inferior e superior) dos dez parâmetros extraídos do capnograma, duas horas antes da remoção do tubo endotraqueal, de acordo com o desfecho da extubação.

Tabela 22 – Parâmetros extraídos do capnograma.

Parâmetro	Sucesso na Extubação		Falha na Extubação		Valor de <i>p</i>
	Média ± DP	Limites	Média ± DP	Limites	
T _i (segundos)	0,64 ± 0,08	0,5 – 0,8	0,68 ± 0,06	0,55 – 0,8	<i>p</i> < 0,001*
T _e (segundos)	1,36 ± 0,32	0,72 – 2,56	2,19 ± 0,52	1,17 – 3,08	<i>p</i> < 0,001**
T _{tot} (segundos)	2,01 ± 0,38	1,32 – 3,36	2,88 ± 0,52	1,82 – 3,84	<i>p</i> < 0,001**
S ₁ (mmHg/s)	29,74 ± 3,37	15 – 33	11,17 ± 4,35	7 – 27	<i>p</i> < 0,001*
S ₂ (mmHg/s)	1,04 ± 0,42	0,4 – 3,7	3,5 ± 1,12	1,3 – 7	<i>p</i> < 0,001*
SR	3,6 ± 1,63	1,29 – 13,7	34,75 ± 15,07	8,75 – 77,14	<i>p</i> < 0,001*
Ângulo α (graus)	100,88 ± 4,5	90,8 – 111,5	121,16 ± 12,49	92,3 – 137,8	<i>p</i> < 0,001*
Ângulo β (graus)	90,19 ± 2,73	88,2 – 96,3	90,25 ± 1,73	88,9 – 93,8	<i>p</i> = 0,936*
A _A (graus)	46,17 ± 5,55	38 – 58,6	54,58 ± 7,30	42,4 – 79,4	<i>p</i> < 0,001*
A _i (graus)	3,74 ± 1,45	1,4 – 8,2	6,43 ± 2,42	2,4 – 12,4	<i>p</i> < 0,001*

Fonte: Própria.

Notas: T_e: tempo expiratório; T_i: tempo inspiratório; T_{tot}: tempo total do ciclo respiratório; S₁: inclinação inicial (*slope* 1); S₂: inclinação da terceira fase (*slope* 2); SR: razão de inclinação (*slope ratio*); A_A: ângulo ascendente; A_i: ângulo de inclinação. Ver a figura 23 para mais detalhes.

* Teste Mann-Whitney (*p* < 0,05)

** Teste *t-Student* amostras independentes (*p* < 0,05)

A partir dos valores médios de CO₂ expirado obtidos nos pacientes duas horas antes da extubação da prótese ventilatória, de acordo com a tabela 22, foi possível traçar de forma

aproximada a curva do capnograma para previsão do desfecho da extubação (sucesso ou falha) (figura 38 e 39).

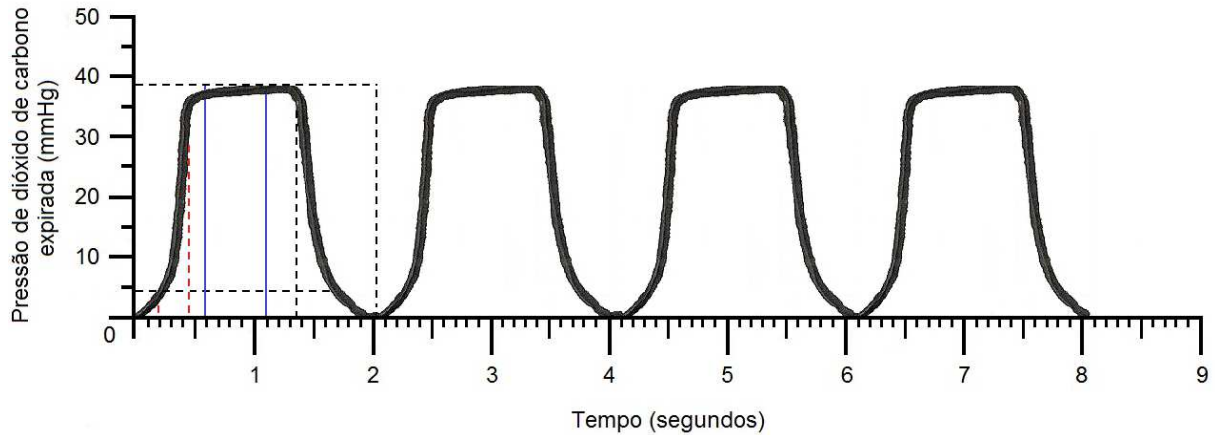


Figura 38 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para os pacientes que obtiveram sucesso na extubação da ventilação mecânica invasiva.

Fonte: Própria.

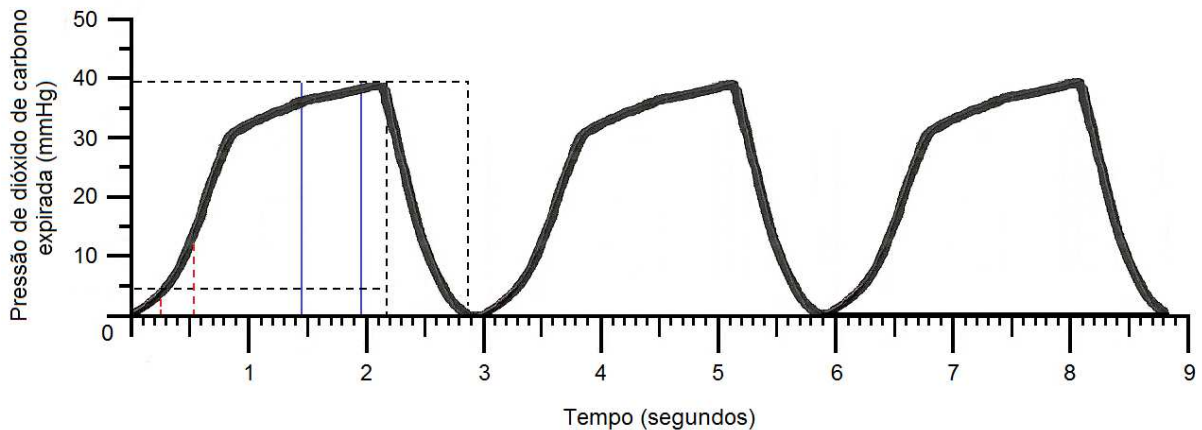


Figura 39 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para os pacientes do grupo falha na extubação da ventilação mecânica invasiva e que foram reintubados dentro de um período de 48 horas.

Fonte: Própria.

A análise de ROC contendo os índices de AUC e os valores de corte com máxima sensibilidade e especificidade, para todos os parâmetros que foram extraídos do capnograma, duas horas antes da extubação, estão expressos na tabela 23 e ilustrados nas figuras 40, 41 e 42.

Tabela 23 – Análise de ROC para os parâmetros extraídos do capnograma.

Parâmetro	AUC	Valores de corte	Sensibilidade %	Especificidade %	Valor de p
Tempo Inspiratório	0,6404	> 0,655	74,67	46,93	$p = 0,00041$
Tempo Expiratório	0,8966	> 1,638	81,33	80,45	$p < 0,0001$
Tempo Total	0,8988	> 2,30	81,33	81,56	$p < 0,0001$
S_1	0,9943	< 15,50	97,77	90,67	$p < 0,0001$
S_2	0,9896	> 1,31	98,67	86,03	$p < 0,0001$
SR	0,993	> 10,42	98,67	98,88	$p < 0,0001$
Ângulo α	0,923	> 105,7	88,00	88,27	$p < 0,0001$
Ângulo β	0,5032	> 90,21	58,67	43,58	$p = 0,9351$
Ângulo Ascendente	0,8167	> 49	70,67	69,83	$p < 0,0001$
Ângulo de Inclinação	0,8286	> 4,55	76,00	77,65	$p < 0,0001$

Fonte: Própria.

Nota: S_1 : inclinação inicial (*slope* $_1$); S_2 : inclinação da terceira fase (*slope* $_2$); SR: razão de inclinação (*slope ratio*).

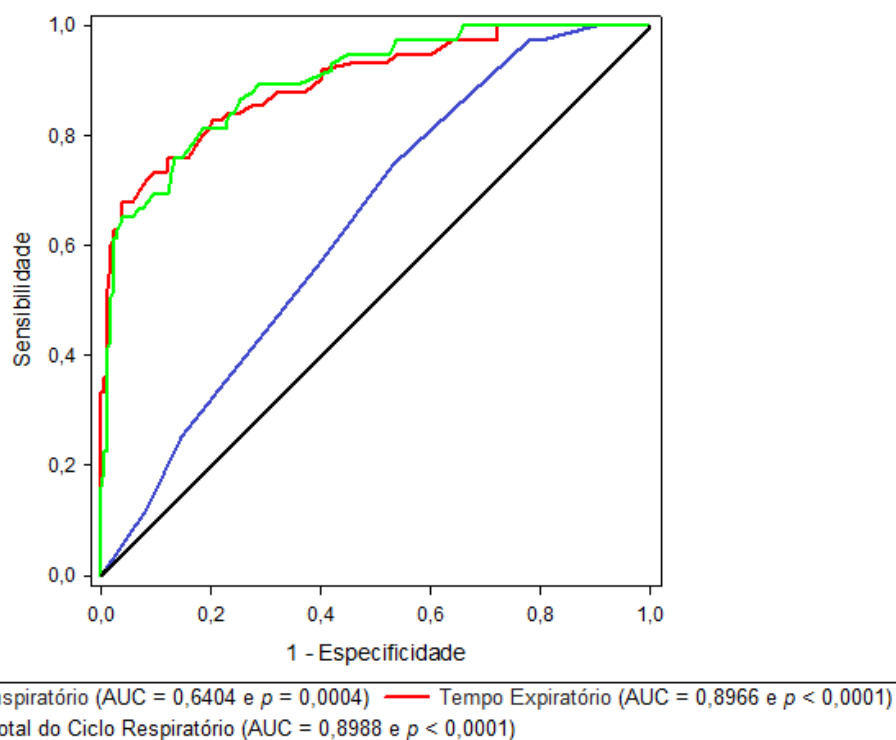


Figura 40 – Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) para a previsão da falha na extubação a partir dos parâmetros: tempo inspiratório, tempo expiratório e tempo total do ciclo respiratório.

Fonte: Própria.

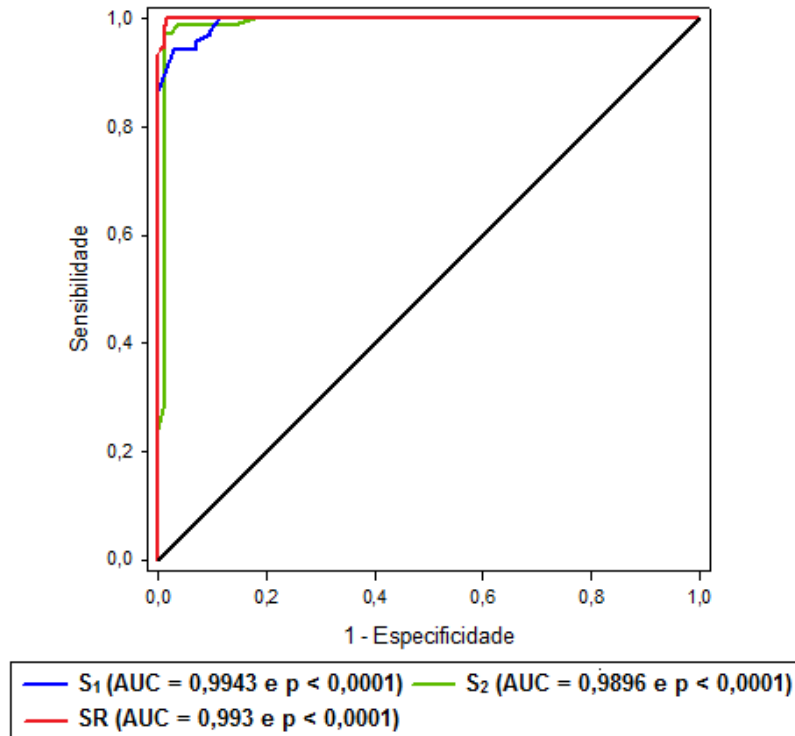


Figura 41 – Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) para a previsão da falha na extubação a partir dos parâmetros: S_1 (inclinação inicial - *slope*₁), S_2 (inclinação da terceira fase - *slope*₂) e SR (razão de inclinação - *slope ratio*).

Fonte: Própria.

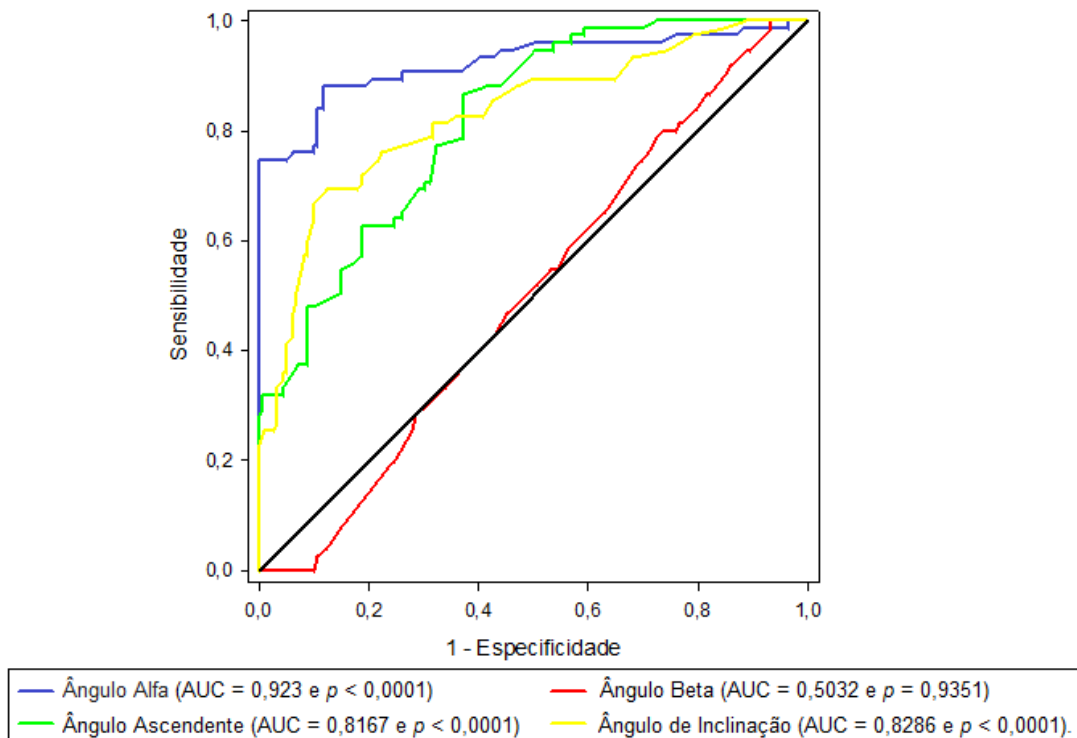


Figura 42 – Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) para a previsão da falha na extubação a partir dos ângulos: alfa, beta, ascendente e de inclinação.

Fonte: Própria.

Segundo a análise efetuada, os parâmetros: tempo expiratório, tempo total do ciclo respiratório, S_1 , S_2 , SR, ângulo α , ângulo ascendente e de inclinação possuem potencial discriminatório entre ambos os grupos (sucesso e falha) e poderiam ser utilizados para prever o desfecho da extubação.

A análise da curva de ROC mostrou que todos estes índices, medidos duas horas antes da extubação da VMI, apresentaram uma alta sensibilidade e especificidade para prever a falha na extubação. Além disso, foram encontrados valores de AUC superiores a 0,8 em 4 destes índices (tempo expiratório, tempo total do ciclo respiratório, ângulo ascendente e de inclinação), indicando um desempenho aceitável com elevada significância clínica, as outras 4 variáveis (S_1 , S_2 , SR e ângulo α) apresentaram valores de AUC superiores a 0,9 indicando uma excelente discriminação entre os grupos (HOSMER e LEMESHOW, 1989; AGUIAR, 2012).

Apenas o ângulo β e o tempo inspiratório apresentaram baixa sensibilidade e especificidade como medida preditiva de falha na extubação, ou seja, não identificaram com acurácia aqueles pacientes que evoluíram com falha na retirada da VMI.

O ângulo β , normalmente de 90° , é utilizado para detectar o grau de reinalação de CO_2 , já que a inclinação volta menos vertical quando existe certa quantidade de CO_2 no ar inspirado. Um aumento no ângulo β pode ocorrer devido à válvula expiratória do circuito que não fecha corretamente durante a inspiração ou à adição de espaço morto excessivo no tubo endotraqueal (SHANKAR e PHILIP, 2000; THOMPSON e JAFFE, 2005). O registro de um ângulo β normal, apresentado em ambos os grupos neste estudo, indica que o paciente estava corretamente intubado e ventilado no momento das mensurações (SHANKAR, 2014).

Kaczmarek *et al.* (2013) avaliaram variáveis respiratórias em 44 lactentes preparados para a extubação e mostraram resultados divergentes dos encontrados nesta pesquisa para o tempo expiratório do ciclo respiratório. Kaczmarek *et al.* não encontraram diferença significativa entre o grupo sucesso e fracasso na extubação para o tempo inspiratório ($0,43 \pm 0,20$ versus $0,39 \pm 0,12$ segundos, $p = 0,05$) e tempo expiratório ($0,58 \pm 0,22$ versus $0,53 \pm 0,13$ segundos, $p = 0,36$).

A partir dos valores de corte expressos na tabela 22, foi possível traçar um formato de onda de CO_2 aproximado, que indicaria a falha na tentativa de extubação da prótese ventilatória em pacientes RNs e pediátricos no período pós-operatório de cirurgia cardíaca (figura 43).

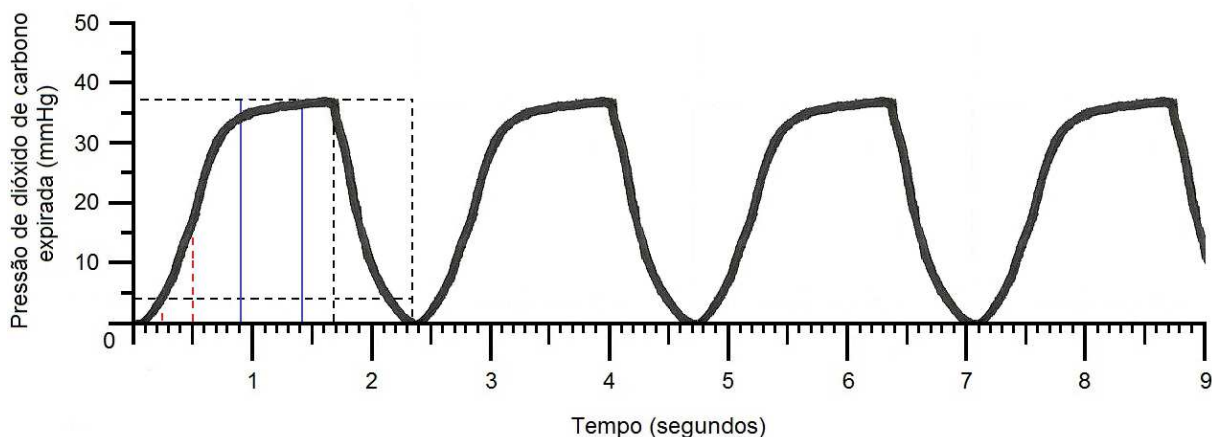


Figura 43 – Curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para prever a falha na extubação da ventilação mecânica invasiva em pacientes recém-nascidos e pediátricos após cirurgia cardíaca.
Fonte: Própria.

Segundo o III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica, sob uma perspectiva diagnóstica, prever a evolução do desmame não é nada mais do que definir sinais e sintomas que possam distinguir os pacientes que terão sucesso na retirada da assistência ventilatória, daqueles que deverão permanecer mecanicamente ventilados (GOLDWASSER, 2007). Desta forma, através dos resultados da pressão de CO₂, encontrados no grupo sucesso e insucesso, acredita-se que este é um importante índice preditor do desfecho na remoção do tubo endotraqueal da VMI.

Conforme mostrado em diversos estudos, a falha na extubação é resultado de uma série de fatores que interagem entre si como a idade da criança, a duração da VMI, o número de trocas do tubo traqueal, uso intenso de sedativos, assim como a disfunção cardíaca e neurológica (NOZAWA *et al.*, 2003; HERMETO *et al.*, 2009; POLITO *et al.*, 2011; COSTA, SCHETTINO e FERREIRA, 2014).

De acordo com Gatiboni *et al.* (2011), é intrigante que mesmo conhecendo as variáveis associadas com pior prognóstico da retirada do tubo endotraqueal, estas não sejam levadas em conta nas diferentes fórmulas e índices utilizados para prever o sucesso ou falha da extubação em crianças. Mais ainda, é difícil crer que apenas uma variável ou índice possa prever de forma acurada o sucesso da extubação em um grupo heterogêneo de crianças submetidas à VMI.

Os resultados obtidos neste estudo, quanto as variáveis demográficas e clínicas dos pacientes, se somam aos parâmetros analisados em pesquisas anteriores. No entanto, a análise singular das mensurações ventilatórias, através dos parâmetros do capnograma, mostrou ser de importante relevância no processo de retirada do paciente da prótese ventilatória e são um importante índice preditor do sucesso na extubação da VMI.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

5.1 CONCLUSÕES

O módulo de capnografia foi selecionado para este estudo, baseado nas especificações e características que este dispositivo apresenta quando comparado com outros equipamentos de capnografia, em destaque: faixa de amostragem a partir de 50 ml/min, rápido tempo de resposta do detector (10 ms), baixo tempo de inicialização, alta faixa de mensuração da pressão de CO₂ (0 a 114 mmHg), acurácia do CO₂ e valor do módulo de capnografia.

Neste estudo foi mostrado que o módulo de capnografia, utilizado para a obtenção dos dados da pressão de CO₂ expirado, pode ser aplicado com segurança e acurácia para os pacientes neonatais e pediátricos no período pós-operatório de cirurgia cardíaca em UTI. O equipamento foi comparado com outros dois modelos já comercializados e obteve altos índices de correlação: $r = 0,994$ e $0,975$ ($p < 0,001$), além de apresentar uma média de diferença obtida no teste de Bland-Altman próxima a zero (-0,55 e -1 mmHg).

Na análise quantitativa do capnograma apresentado pelos dois equipamentos de capnografia do tipo *sidestream*, os tempos de duração dos ciclos respiratórios foram significativamente correlacionados ($r = 0,982$, $p < 0,001$). Ainda, o gráfico da pressão de CO₂ expirado obtido em tempo real pelo módulo de capnografia, pode refletir com precisão as curvas de CO₂ padrão do ciclo respiratório, assim como a linha do ramo ascendente, platô alveolar e ramo descendente.

A dificuldade para obter sucesso na extubação dos pacientes submetidos à ventilação mecânica no período pós-operatório de cirurgia cardíaca foi comprovada no presente estudo, no qual um número expressivo de lactentes e crianças que pareciam aptas a serem extubadas necessitaram de reintubação, sendo a taxa de insucesso da remoção do tubo endotraqueal da VMI de 29,53%.

O estudo mostrou que os dias de permanência em VMI, a idade assim como o peso relacionam-se ao insucesso na extubação de crianças submetidas à cirurgia cardíaca no período pós-operatório, podendo-se inferir que esses três fatores devem ser observados durante o processo de desmame da prótese ventilatória, antes de qualquer tomada de decisão quanto a extubação do paciente.

Observou-se também, que um parâmetro ventilatório raramente utilizado na monitorização do paciente no processo de desmame, a pressão de CO₂, é um motivo de grande incidência (18/75) para a falha na extubação e retorno do paciente para a prótese

ventilatória. A média do valor da PetCO₂ encontrada nesses pacientes após a extubação foi de 63,35 ± 18,64 mmHg, com valor mínimo de 46 e máximo de 114 mmHg.

No presente estudo, dos 28 episódios hipercápnicos que ocorreram no período pré-extubação, no grupo que não suportou a extubação da VMI, 72,41% foram identificados com a medição de PetCO₂. Portanto, a capnografia pode ser considerada útil para detectar os episódios de hipercapnia em pacientes que não suportam a extubação. O diagnóstico de atelectasia lobular durante o processo de desmame, justificou a mensuração inferior de PetCO₂ em relação a PaCO₂ nos 28,57% dos pacientes restantes.

Em acordo com estudos anteriores, este estudo mostrou que a PetCO₂ obtida pela capnografia *sidestream* é capaz de estimar a PaCO₂ em lactentes e crianças intubados no período pós-operatório. Para todos os pacientes, a associação e concordância entre os valores de PetCO₂ e PaCO₂, usando o coeficiente de correlação e a análise de Bland-Altman, mostraram maior significância para o grupo sucesso quando comparados com os pacientes do grupo falha. Embora o grupo sucesso tenha alcançado melhores resultados, os gradientes de P(a-et)CO₂ estavam dentro dos limites normais para ambos os grupos de pacientes, seja a extubação bem sucedida e os que evoluíram para a reintubação.

Quando os valores de PetCO₂ e PaCO₂ foram analisados no período pré-extubação, não se observou diferença estatística significativa ($p < 0,001$) entre os pacientes com sucesso na extubação e os pacientes que tiveram insucesso e foram reintubados. Entretanto, o índice P(a-et)CO₂ apresentou diferença significativa entre ambos os grupos, analisado através do teste Mann-Whitney.

A análise de ROC mostrou que os valores médios de PaCO₂ e PetCO₂, medidos duas horas antes da remoção do tubo endotraqueal dos pacientes em VMI, apresentaram uma baixa sensibilidade e especificidade para prever a falha na extubação, além disso não foi encontrado valores de AUC satisfatórios. Novamente, o índice P(a-et)CO₂ apresentou um AUC-ROC de 0,707, que indica um desempenho aceitável para discriminar os dois grupos (sucesso e falha).

Segundo a análise singular efetuada com os dez parâmetros quantitativos extraídos do capnograma, foi possível observar que os parâmetros: tempo expiratório, tempo total do ciclo respiratório, S₁, S₂, SR, ângulo α , ângulo ascendente e de inclinação possuem potencial discriminatório entre ambos os grupos (sucesso e falha) e podem ser utilizados para prever o desfecho da extubação da prótese ventilatória.

A análise da curva de ROC mostrou que todos estes índices, medidos duas horas antes da extubação da VMI, apresentaram uma alta sensibilidade e especificidade para

predizer a falha na extubação. Além disso, foram encontrados valores de AUC superiores a 0,8, indicando uma excelente discriminação entre os grupos com elevada significância clínica.

Através da análise de ROC, efetuada para os parâmetros extraídos do capnograma, foi possível determinar os valores de corte da pressão de CO₂ expirado, estes valores foram capazes de discriminar os pacientes que obtiveram sucesso ou falha na extubação da VMI. A curva aproximada da pressão de CO₂ expirado foi traçada a partir dos valores de corte obtidos na análise de ROC, esta curva pode ser utilizada pela equipe interprofissional da UTI, com o intuito de prever o desfecho da extubação da VMI.

Este estudo descreveu a aplicação do capnógrafo para determinar o desfecho da extubação da cânula endotraqueal da prótese ventilatória. Através das análises foi comprovado estatisticamente que o índice P(a-et)CO₂ e os segmentos do capnograma podem ser utilizados para predizer o sucesso da extubação da VMI. Estes resultados inéditos são de grande relevância para a prática clínica em unidade de cuidados intensivos, assim como para a literatura científica pediátrica.

A capnografia é um sistema de monitorização vital para pacientes criticamente enfermos em UTI, e os seus dados devem ser integrados com todas as informações do paciente disponíveis, especialmente a avaliação clínica e laboratorial. Deve ser enfatizado que a capnografia não é uma medida unicamente da função respiratória; os capnogramas devem ser interpretados em conjunto com outros achados clínicos.

Através das análises obtidas, somado ao fato de que o capnógrafo é um método de avaliação simples, reproduzível e utiliza instrumentos disponíveis e aplicáveis, principalmente em pacientes neonatais e pediátricos à beira do leito, os resultados inéditos obtidos neste estudo (tese) dão segurança à equipe interprofissional quanto à decisão de extubar ou não um paciente, transformando esta decisão de um julgamento pessoal para uma decisão segura e científica. A conduta da equipe, bem como o seu bom desempenho diagnóstico e terapêutico são primordiais na condução dos pacientes em processo de desmame.

Quando o desmame é bem conduzido, há uma sensível melhora na evolução do paciente e podem ocorrer repercussões positivas diretas, como por exemplo, a diminuição do tempo de desmame e da VMI, menor índice de falhas na extubação e na taxa de reintubação, diminuição do tempo de internação na UTI, além da redução dos custos hospitalares.

Após os resultados parciais obtidos neste estudo (tese) em 2013, a UTI cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe iniciou um projeto para reduzir o alto índice (29,53%) de falha na extubação da prótese ventilatória, por entender que esse insucesso pode repercutir adversamente na evolução clínica do paciente. Desta forma, um protocolo denominado

“protocolo de prontidão” está em implantação, utilizando parâmetros de oxigenação, ventilação e levando em consideração também a idade e peso do paciente, assim como o tempo em VMI.

Com os resultados finais obtidos neste estudo, pretende-se incorporar o capnógrafo aos equipamentos de monitorização respiratória da UTI e adicionar ao “protocolo de prontidão”, os índices relacionados a pressão de dióxido de carbono expirado, como o índice $P(a-et)CO_2$ e a decomposição dos segmentos extraídos do capnograma, através da análise do formato da curva da pressão de dióxido de carbono aproximada para prever o desfecho da extubação da VMI.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

As atuais fórmulas e índices para prever o sucesso ou falha da extubação em RNs e crianças sob VMI não são acurados, tem uma ampla variabilidade que depende da idade, da doença principal e de outros aspectos clínicos. Sob esta perspectiva, o próximo passo neste campo deve ser o desenvolvimento de índices ou fórmulas para prever o sucesso da extubação em crianças, incluindo as variáveis dos parâmetros ventilatórios e dos segmentos extraídos do capnograma.

A partir das informações obtidas por meio destas análises, pretende-se obter um padrão dos pacientes que possuem maior probabilidade de insucesso na retirada da prótese ventilatória e, ainda, a criação de um protocolo de fácil utilização que possibilite ao médico e/ou fisioterapeuta informações precisas sobre a resposta do paciente durante o desmame e consequentemente após a retirada da prótese ventilatória e retorno do paciente à ventilação espontânea, tanto para pacientes RNs quanto para as crianças pequenas.

Pretende-se ainda, identificar os componentes do capnograma no domínio da frequência, através da transformada de Fourier, em pacientes pediátricos após serem submetidos à cirurgia cardíaca. Além disso, criar um sistema informatizado capaz de detectar os segmentos da onda de CO_2 pelo processamento do sinal de capnograma utilizando técnicas de processamento digital de sinal.

5.3 PUBLICAÇÕES

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M.; DOMINGUES, A. M. T.; FARIA Jr., F. Measurement of end-tidal carbon dioxide in spontaneously breathing children after cardiac surgery. **American Journal of Critical Care**, v. 20, n. 5, p. 388-394, set. 2011.

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M.; DOMINGUES, A. M. T.; FARIA Jr., F. The effect of temperature on the accuracy of end-tidal carbon dioxide as a predictor of the arterial carbon dioxide pressure in infants and children after cardiac surgery. **Measurement (London)**, v. 44, n. 1, p. 60-64, 2011.

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M. Association between capnogram and respiratory flow rate waveforms during invasive mechanical ventilation. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, v. 3, p. 80-84, 2013.

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M.; DOMINGUES, A. M. T. B. Quantitative analysis of the effect of prolonged mechanical ventilation on capnographic indices. **6th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies – BIOSTEC**, p. 72, 2013, Barcelona, Espanha.

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M.; DOMINGUES, A. M. T. Association between capnogram and respiratory flow rate waveforms during invasive mechanical ventilation. **3rd International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics – ICBBB**, 2013, Roma, Italia.

RASERA, C. C.; GEWEHR, P. M.; DOMINGUES, A. M. T. PetCO₂ measurement and feature extraction of capnogram signals for extubation outcomes from mechanical ventilation. **Physiological Measurement**, v. 36, n. 2, p. 231-242, fev. 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLAN, D. M.; AULER, J. O. C. Pós-operatório das cardiopatias congênitas. In: FERREIRA, A. C. P.; TROSTER, E. J. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 294-313.
- ABUCHAIM, D. C. S.; BERVANGER, S.; MEDEIROS, S. A.; ABUCHAIM, J. S.; BURGER, M. FARACO, D. L. Extubação precoce na sala de operação após cirurgia cardíaca infantil. **Rev Bras Cir Cardiovasc**, v. 25, n. 1, p. 103-108, 2010.
- AGUIAR, P. Qual a importância da curva ROC (Receiver Operating Characteristic)? **Gauss: Eurotrials**, n. 17, jun. 2012.
- AHA - AMERICAN HEART ASSOCIATION. Disponível em: www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=158. Acesso em: 10 out. 2014.
- AHRQ - AGENCY FOR HEALTHCARE RESEARCH AND QUALITY. **Criteria for weaning from mechanical ventilation**. Disponível em: www.ahrq.gov/clinic/epcsums/mechsumm. Acesso em: 13 out. 2014.
- AHRENS, T.; SONA, C. Capnography application in acute and critical care. **AACN Clinical Issues**, v. 14, p. 123-32, 2003.
- ALCANTARA, P. S. M. Cirurgia Paliativa. In: OLIVEIRA, R. A. (coord.) **Cuidado Paliativo**. São Paulo: CREMESP, 2008. p. 309-336.
- ALVARES, B. R.; PEREIRA, I. M. R.; MEZZACAPPA, M. A.; STOPIGLIA, M. S.; PIRES, C. S. Atelectasia pulmonar em recém-nascidos: etiologia e aspectos radiológicos. **Scientia Medica** (Porto Alegre), v. 22, n. 1, p. 43-52, 2012.
- AMBROSINO, N.; GABRIELLI, L. The difficult-to-wean patient. **Expert Rev. Respir. Med.**, v. 4, n. 5, p. 685-692, oct. 2010.
- ANDERSON, C. T.; BREEN, P. H. Carbon dioxide kinetics and capnography during critical care. **Crit. Care**, v. 4, n. 4, p. 207-215, may 2000.
- ANDRADE, L. B.; MELO, T. M. A.; MORAIS, D. F. N.; LIMA, M. R. O.; ALBUQUERQUE, E. C.; MARTIMIANO, P. H. M. Avaliação do teste de respiração espontânea na extubação de neonatos pré-termo. **Rev. Bras. Ter. Intensiva**, v. 22, n. 2, p. 159-165, 2010.
- ARAÚJO, J. S. S.; RÉGIS, C. T.; GOMES, R. G. S.; SILVA, C. S.; ABATH, C. M. B.; MOURATO, F. A.; MATTOS, S. S. Cardiopatia Congênita no Nordeste Brasileiro: 10 anos consecutivos registrados no estado da Paraíba. **Rev. Bras. Cardiol.**, v. 27, n. 1, p. 13-19, jan. 2014.
- ARCÊNCIO, L.; SOUZA, M. D.; BORTOLIN, B. S.; FERNANDES, A. C. M.; RODRIGUES, A. J.; EVORA, P. R. B. Cuidados pré e pós-operatórios em cirurgia cardiotorácica: Uma abordagem fisioterapêutica. **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**, v. 23, n. 3, p. 400-410, 2008.
- AULER Jr, J. O.C.; CARVALHO, M. J. Monitorização Respiratória. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 42, n. 1, p. 41-49, jan. 1992.

AULER Jr., J. O.C.; GALAS, F. R. B. G.; HAJJAR, L. A.; FRANCA, S. A. Ventilação Mecânica intra e pós-operatória. In: II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.

AULT, M. L.; STOCK, M. C. Respiratory monitoring. **Int. Anesthesiol. Clin.**, v. 42, p. 97-112, 2004.

AZEREDO, C. A. C.; MOURA, O. F.; GURGEL, F. O. Uma abordagem multidisciplinar essencial na assistência ventilatória atual. In: AZEREDO, C.A.C. **Técnicas para o desmame do ventilador mecânico**. Barueri: Manole, 2002; p. 1-11.

BABIK, B.; CSORBA, Z.; CZÖVEK, D.; MAYR, P. N.; BOGÁTS, G.; PETÁK, F. Effects of respiratory mechanics on the capnogram phases: importance of dynamic compliance of the respiratory system. **Critical Care**, v. 16, p. R177, 2012.

BAISCH, S. D.; WHEELER, W. B.; KURACHEK, S. C.; CORNFIELD, D. N. Extubation failure in pediatric intensive care incidence and outcomes. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 6, n. 3, p. 312-318, 2005.

BANNER, M. J.; LAMPOTANG, S. Fundamentos dos Ventiladores Mecânicos. In: STOCK, C. M. **Manual de Mecanismo do Suporte Ventilatório**. Rio de Janeiro: Medsi, 1994. p. 7-25.

BARBERO-MARCIAL, M. Aspectos especiais da cirurgia cardíaca infantil. In: STOLF, N. A. G.; ZERBINI, E. J. **Pós-operatório em cirurgia cardíaca**. São Paulo: Sarvier, 1979. p. 151-165.

BARRETO, S. S. M.; FILGUEIRAS, N. Indicações de ventilação mecânica invasiva com pressão positiva. In: II Cons. Brasileiro de Ventilação Mecânica. **J. Pneumol.**, v. 26, n. 2, maio 2000.

BASTOS, L. F.; ARAÚJO, T. M.; FROTA, N. M.; CAETANO, J. Á. Perfil clínico e epidemiológico de crianças com cardiopatias congênitas submetidas à cirurgia cardíaca. **Rev. Enferm. UFPE**, v. 7, n. 8, p. 5298-5304, ago. 2013.

BÁUCIA, J. A.; BARBERO-MARCIAL, M. Extubação precoce em cirurgia cardíaca infantil: procedimentos e resultados em seis anos de experiência. **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**, v. 7, n. 3, p. 215-220, 1992.

BAUMEISTER, B. L.; EL-KHATIB, M.; SMITH, P. G.; BLUMER, J. L. Evaluation of predictors of weaning from mechanical ventilation in pediatric patients. **Pediatr. Pulmonol.**, v. 24, p. 344-352, 1997.

BELPOMME, V.; RICARD-HIBON, A.; DEVOIR, C.; DILESEIGRES, S.; DEVAUD, M. L.; CHOLLET, C.; MARTY, J. Correlation of arterial PCO₂ and PetCO₂ in prehospital controlled ventilation. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 23, p. 852-859, june 2005.

BERGGREN, M.; HOSSEINI, M.; NILSSON, K.; STENGVIST, O. Improved response time with a new miniaturised mainstream multigas monitor. **Journal of Clinical Monitoring and Computing.**, v. 23, p. 355-361, 2009.

BLAND, M. J.; ALTMAN, D. G. Measurement in Medicine: the analysis of method comparison studies. **The Statistician**, v. 32, p. 307-317, 1983.

BLAND, M. J.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 32, p. 307-310, 1986.

BONASSA, J. Princípios básicos dos ventiladores artificiais. In: CARVALHO, C. R. R. **Ventilação Mecânica: básico**. São Paulo: Atheneu, 2000. p. 69-124.

BOOTH, S.; BLOCH, M. Prehospital capnography or capnometry: are we going in the right direction? **Journal of Paramedic Practice**, v. 3, n. 11, p. 614-620, nov. 2011.

BORGES, V. C.; ANDRADE JR, A.; LOPES, A. C. Desmame da ventilação mecânica. **Rev. Bras. Clín. Ter.**, v. 25, n. 5, p. 171-178, set. 1999.

BOUSSO, A. Falha na extubação de crianças: ainda um problema. **Pediatria (São Paulo)**, v. 25, n. 4, p. 198-200, 2003.

BOUSSO, A. **Avaliação relação entre espaço morto e volume corrente como índice preditivo de sucesso na retirada da ventilação mecânica de crianças gravemente enfermas**. 2004. 151 f. Tese (Doutorado em Pediatria) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2004.

BOUSSO, A.; EJZENBERG, B.; VENTURA, A. M. C.; FERNANDES, J. C.; FERNANDES, I. C. O.; GÓES, P. F.; VAZ, F. A. C. Evaluation of the dead space to tidal volume ratio as a predictor of extubation failure. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n. 5, p. 347-353, 2006.

BRAGA, A. **Curva ROC: Aspectos fundamentais e avaliação**. 2000. 268 f. Tese (Engenharia de Produção e sistemas, Área de Métodos Numéricos e Estatísticos), Universidade do Minho, 2000.

BRAZ, J. R. C. Monitorização da oxigenação. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 46, n. 3, p. 223-249, maio 1996.

BROCHARD, L. Weaning from mechanical ventilation. When paediatric intensive care medicine profits from adult experience. **Intensive Care Med.**, v. 27, n. 1564-1566, 2001.

CABRAL, P. T.; FELDMAN, J.; BRONKE, J.; ENDERLE, J. Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis of false alarms in capnography (CO₂ Monitoring). **Proc. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.**, p. 125-130, 2005.

CARDOSO, A. P.; ALMEIDA, A.; SILVA, A. M. Pressão de oclusão das vias aéreas na avaliação do comando nervoso da respiração e da resposta muscular. **Rev. Port. Pneumol.**, v. 1, n. 4, p. 285-297, 1995.

CARMONA, F. Ventilação mecânica em crianças. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 45, n. 2, p. 185-196, 2012.

CARSON, S. S.; BACH, P. B.; BRZOZOWSKI, L.; LEFF, A. Outcomes after long-term acute care. An Analysis of 133 mechanically ventilated patients. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 159, n. 5, p. 1568-1573, may 1999.

CARVALHO, W. B. **Manual Terapia Intensiva Pediátrica**. São Paulo: Atheneu, 1996.

CARVALHO, C. R. R.; TOUFEN JR., C.; FRANCA S. A. Ventilação Mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias. **J. Bras. Pneumol.**, v. 33, n. 2, p. 54-70, 2007.

CARVALHO, W. B.; HIRSCHHEIMER, M. R.; MATSUMOTO, T. **Terapia Intensiva Pediátrica**. 3ª Ed, Rio de Janeiro: Atheneu; 2006.

CARVALHO, W. B.; MATSUMOTO, T. Lesão pulmonar induzida pela ventilação pulmonar mecânica. In: HIRSCHHEIMER, M. R.; CARVALHO, W. B.; PROENÇA FILHO, J. O.; FREDDI, N. A.; TROSTER, E. J. **Ventilação pulmonar mecânica em pediatria e neonatologia**. 3ª Ed. São Paulo: Atheneu, 2013. p. 435-441.

CASTANHO, M. J. P.; YAMAKAMI, A.; BARROS, L. C.; VENDITE L. L. Avaliação de um teste em medicina usando uma curva ROC fuzzy. **Biomatemática**, v. 14, p. 19-28, 2004.

CHEIFETZ, I. M.; MYERS, T. R. Should every mechanically ventilated patient be monitored with capnography from intubation to extubation? **Respir. Care**, v. 52, n. 4, p. 423-442, april 2007.

COLMAN, Y.; KRAUSS, B. Microstream capnography technology: A new approach to an old problem. **J. Clin. Monit.**, v. 15, p. 403-409, 1999.

CONTI, G; MANTZ, J.; LONGROIS, D.; TONNER, P. Sedation and weaning from mechanical ventilation: time for 'best practice' to catch up with new realities? **Respiratory Medicine**, v. 9, n. 45, p. 1-5, 2014.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2ª Ed, Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2006.

COSTA, A. C. O.; SCHETTINO, R. C.; FERREIRA, S. C. Fatores preditivos para falha de extubação e reintubação de recém-nascidos submetidos à ventilação pulmonar mecânica. **Rev. Bras. Ter. Intensiva**, v. 26, n. 1, p. 51-56, 2014.

CRUZ, F. A. **Critérios preditivos para desmame ventilatório e extubação em unidade de terapia intensiva pediátrica**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Terapia Intensiva) - Sociedade Brasileira de Terapia Intensiva, 2014.

CUMMINGS, B, M.; NOVISKI, N. Pediatric extubation readiness: faith-based practice or amenable to standardization? **Respiratory Care**, v. 59, n. 3, p. 445, mar. 2014.

DAMAS, B. G. B.; RAMOS, C. A.; REZENDE, M. A. Necessidade de informação a pais de crianças portadoras de cardiopatia congênita. **Rev. Bras. Crescimento Desenvolvimento Humano**, v. 19, n. 1, p. 103-113, 2009.

DANAN, C.; DURMEYER, X.; BROCHARD, L.; DECOBERT, F.; BENANI, M.; DASSIEU, G. A randomized trial of delayed extubation for the reduction of reintubation in extremely preterm infants. **Pediatr. Pulmonol.**, v. 43, n. 2, p. 117-124, 2008.

DAVIDSON, J.; MIYOSHI, M. H.; SANTOS, A. M. N.; CARVALHO, W. B. Medida da frequência respiratória e do volume corrente para prever a falha na extubação de recém-nascidos de muito baixo peso em ventilação mecânica. **Rev. Paul. Pediatr.**, v. 26, n. 1, p. 36-42, 2008.

DAVIS, S.; WORLEY, S.; MEE, R. B.; HARRISON, A. M.; Factors associated with early extubation after cardiac surgery in young children. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 5, n. 1, p. 63-68, 2004.

DEITCH, K.; MINER, J.; CHUDNOFSKY, C. R.; DOMINICI, P.; LATTA, D. Does end tidal CO₂ monitoring during emergency department procedural sedation and analgesia with propofol decrease the incidence of hypoxic events? A randomized, controlled trial. **Ann. Emerg. Med.**, v. 55, p. 258-264, 2010.

DE VRIES, J. W.; PLOTZ, F. B.; VAN VUGHT, J. A. Pulse oximeter-enhanced accuracy of capnometry in children with cyanotic heart disease. **Intensive Care Med.**, v. 22, p. 1336-1339, July 2002.

DIRETRIZES BRASILEIRA DE VENTILAÇÃO MECÂNICA (2013). **1º Fórum de Diretrizes em Ventilação Mecânica**. Realização Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB), Comitê de ventilação mecânica Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (SBPT) e Comissão de Terapia Intensiva da SBPT, 2013.

DUQUE, J. J. **Avaliação da transformada de Fourier como ferramenta não linear de estudos de sinais biomédicos**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada à Medicina) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

ELY, E. W.; MEADE, M. O.; HAPONIK, E. F.; KOLLEF, M. H.; COOK, D. J.; GUYATT, G. H.; STOLLER, J. K. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysicians health-care professionals. Evidence-based clinical practice. **Chest**, v. 120, p. 454-463, 2001.

EMMA - EMERGENCY MAINSTREAM ANALYSER. **Manual do Capnômetro**. Sweden: Phaseim Medical Technologies, 2006, 33 p.

EMMERICH, J. C. **Monitorização Respiratória: fundamentos**. Rio de Janeiro: Revinter, 1996.

EMMERICH, J. C. **Suporte Ventilatório: conceitos atuais**. Rio de Janeiro: Revinter, 1998.

EPSTEIN, S. K. Decision to extubate. **Intensive Care Med.**, v. 28, p. 535-546, 2002.

ESKANDAR, N.; APOSTOLAKOS, M. J. Weaning from mechanical ventilation. **Critical Care Clin.**, v. 23, n. 2, 2007.

FALCÃO, L.; FERREZ, D.; AMARAL, J. L. G. Atualização das diretrizes de ressuscitação cardiopulmonar de interesse ao anesthesiologista. **Rev. Bras. Anesthesiol.**, v. 61, n. 5, p. 624-640, setembro 2011.

FAN, J.; UPADHYE, S.; WORSTER, A. Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves. **CJEM**, v. 8, n. 1, p. 19-20, Jan. 2006.

FARIA, L. S.; TROSTER, E. J.; BAENINGER, R. Ventilação Mecânica. In: STAPE, A. **Manual de Normas Terapia Intensiva Pediátrica**. São Paulo: Savier, 1998. p. 114-126.

FARIAS, J. A.; ALÍA, I.; ESTEBAN, A.; GOLUBICKI, A. N.; OLAZARRI, F. A. Weaning from mechanical ventilation in pediatric intensive care patients. **Intensive Care Med.**, v. 24, p. 1070-1075, 1998.

FARIAS, J. A.; ALÍA, I.; RETTA, A.; OLAZARRI, F.; FERNÁNDEZ, A.; ESTEBAN, A.; PALACIOS, K.; DI NUNZIO, L.; FERNÁNDEZ, G.; BORDÓN, A.; BERRONDO, C.; SHEEHAN, G. An evaluation of extubation failure predictors in mechanically ventilated infants and children. **Intensive Care Med.**, v. 28, n. 6, p. 752-757, 2002.

FARIAS, J. A.; MONTEVERDE, E. We need to predict extubation failure. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n. 5, p. 322-324, 2006.

FÁVERO, R. A.; SCHUSTER, R. C.; WOJAHN, V. W.; TARTARI, J. L. L. Incidência e principais fatores associados à falha na extubação em recém-nascidos prematuros. **Pediatria (São Paulo)**, v. 33, n. 1, p. 13-20, 2011.

FERNANDEZ, R.; RAURICH, J. M.; MUT, T.; BLANCO, J.; SANTOS, A.; VILLAGRA, A. Extubation failure: diagnostic value of occlusion pressure [P.sub.0.1] and [P.sub.0.1] derived parameters. **Intensive Care Med.**, v. 30, n. 2, p. 234-240, 2004.

FERREIRA, M. C. C. S. **Modelos de regressão: Uma aplicação em medicina dentária**. 2013. 143 f. Dissertação (Estatística, Matemática e Computação) - Universidade Aberta Lisboa, 2013.

FERRER, M.; ESQUINAS, A.; ARANCIBIA, F.; BAUER, T. T.; GONZALEZ, G.; CARRILLO, A.; RODRIGUEZ-ROISIN, R.; TORRES, A. Noninvasive ventilation during weaning from mechanical ventilation. **Clin. Pulm. Med.**, v. 9, p. 279-283, 2002.

FIGUEIREDO, D. B.; SILVA, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FOLKE, M.; HÖK, B. A new capnograph based on an electro acoustic sensor. **Med. Bio. Eng. Comput.**, v. 46, p. 55-59, 2008.

FONTELA, P. S.; PIVA, J. P.; GARCIA, P. C.; BERED, P. L.; ZILLES, K. Risk factors for extubation failure in mechanically ventilated pediatric patients. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 6, n. 2, p. 166-170, 2005.

FRAZIER, S. K.; STONE, K. S.; MODER, D.; SCHLANGER, R.; CARLE, C.; PENDER, L.; WIDENER, J.; BROM, J. Hemodynamic changes during discontinuation of mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. **American Journal of Critical Care**, v. 15, n. 6, p. 580-593, 2006.

FRUTOS-VIVAR, F.; ESTEBAN, A.; APEZTEGUIA, C.; GONZÁLEZ, M.; ARABI, Y.; RESTREPO, M. I.; GORDO, F.; SANTOS, C.; ALHASHEMI, J. A.; PÉREZ, F.; PEÑUELAS, O.; ANZUETO, A. Outcome of reintubated patients after scheduled extubation. **J. Crit. Care**, v. 26, n. 5, p. 502-509, oct. 2011.

GAMBAROTO, G. **Fisioterapia Respiratória: em unidade de terapia intensiva**. São Paulo: Atheneu, 2006.

GATIBONI, S.; PIVA, J. P.; GARCIA, P. C. R.; JOHNSTON, C.; HOMMERDING, P.; FRANZ, F.; GUALDI, L. Falta de acurácia dos índices ventilatórios para prever sucesso de extubação em crianças submetidas a ventilação mecânica. **Rev. Bras. Ter. Intensiva.**, v. 23, n. 2, p. 199-206, 2011.

GILBOY, N.; HAWKINS, M. R. Noninvasive monitoring of end-tidal carbon dioxide in the emergency department. **Advanced Emergency Nursing Journal**, v. 28, n. 4, p. 301-313, december 2006.

GOLDWASSER, R.; FARIAS, A.; FREITAS, E. E.; SADDY, F.; AMADO, V.; OKAMOTO, V. Desmame e interrupção da ventilação mecânica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 33, n. 2, p. 128-136, 2007.

GOONASEKERA, C. D.; GOODWIN, A.; WANG, Y.; GOODMAN, J.; DEEP, A. Arterial and end-tidal carbon dioxide difference in pediatric intensive care. **Indian J. Crit. Care Med.**, v. 18, n. 11, p. 711-715, nov. 2014.

GUEDES, D. P.; LOPES, C. C.; GUEDES, J. E. R. P.; STANGANELLI, L. C. Reprodutibilidade e validade do questionário Baecke para avaliação da atividade física habitual em adolescentes. **Rev. Port. Cien. Desp.**, v. 6, n. 3, p. 265-274, 2006.

GUILHERME, F. J. A.; JESUS, R. F. Ações de enfermagem para a prevenção da pneumonia associada à ventilação mecânica descritas nas publicações eletrônicas. **Revista Rede de Cuidados em Saúde**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2011.

HAGERTY, J. J.; KLEINMAN, M. E.; ZURAKOWSKI, D.; LYONS, A. C.; KRAUSS, B. Accuracy of a new low-flow sidestream capnography technology in newborns: A pilot study. **Journal of Perinatology**, v. 22, p. 219-225, 2002.

HARRISON, M. A.; COX, A. C.; PIEDMONTE, M.; DRUMMOND-WEBB, J. J.; MEE, R. B. Failed extubation after cardiac surgery in young children: Prevalence, pathogenesis, and risk factors. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 3, n. 2, p. 148-152, 2002.

HERADSTVEIT, B. E.; SUNDE, K.; SUNDE, G. A.; WENTZEL-LARSEN, T.; HELTNE, J. K. Factors complicating interpretation of capnography during advanced life support in cardiac arrest—a clinical retrospective study in 575 patients. **Resuscitation**, v. 83, p. 813-818, 2012.

HERMETO, F.; MARTINS, B. M. R.; RAMOS, J. R. M.; BHERING, C. A.; SANT'ANNA, G. M. Incidence and main risk factors associated with extubation failure in newborns with birth weight < 1,250 grams. **Jornal de Pediatria**, v. 85, n. 5, p. 397-402, 2009.

HEUNKS, L. M.; VAN DER HOEVEN, J. G. Clinical Review: The ABC of weaning failure – a structured approach. **Critical Care**, v. 14, p. 245-254, 2010.

HILLIER, S. C.; BADGWELL, J. M.; MCLEOD, M. E.; CREIGHTON, R. E. LERMAN, J. Accuracy of end-tidal PCO₂ measurements using a sidestream capnometer in infants and children ventilated with the Sechrist infant ventilator. **Can. J. Anaesth.**, v. 37, n. 3, p. 318-321, april 1990.

HIRAKATA, V.; CAMEY, S. A. Análise de concordância entre métodos de Bland-Altman. **Rev. HCPA**, v. 29, n. 3, p. 261-268, 2009.

HOFFMANN, J. I. E.; KAPLAN, S. The incidence of congenital heart disease. **Journal of the American College of Cardiology**, Califórnia, v. 39, n. 12, p. 1890-1900, june 2002.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1989.

HOWE, T. A.; JAALMAN, K.; AHMAD, R.; SHENG, C. K.; NIK AB RAHMAN, N. H. The use of end-tidal capnography to monitor non-intubated patients presenting with acute exacerbation of asthma in the emergency department. **J. Emerg. Med.**, v. 41, p. 581-589, 2011.

HPP - HOSPITAL PEQUENO PRÍNCIPE. **Cirurgia Cardiovascular (ou Cardíaca)**. Disponível em: <http://pequenoprincipe.org.br/hospital/cirurgia-cardiovascular/>. Acesso em: 02 nov. 2014.

HUBBLE, C. L.; GENTILE, M. A.; TRIPP, D. S.; CRAIG, D. M.; MELIONES, J. N.; CHEIFETZ, I. M. Dead-space to tidal volume ratio predicts successful extubation in infants and children. **Crit. Care Med.**, v. 28, p. 2034-2040, 2000.

HUGHES, M. R.; SMITH, C. D.; TECKLENBURG, F. W.; HABIB, D. M.; HULSEY, T. C.; EBELING, M. Effects of a weaning protocol on ventilated pediatric intensive care unit (PICU) patients. **Top. Health Inform. Manage**, v. 22, p. 35-43, 2001.

IRWIN, S.; TECKLIN, J. S. **Fisioterapia Cardiopulmonar**. 2ª Ed. São Paulo: Manole, 1996.

JAFFE, N. B. **Mainstream or Sidestream Capnography?** Respironics Novamatrix: Wallingford C., 2002.

JAFFE, N. B. **Hand-held Capnography: Development and testing**. Respironics Novamatrix: Wallingford C., 2003.

JOHNSON, B. D.; WHIPP, B.; ZEBALLOS, R. J. Conceptual and physiological basis of cardiopulmonary exercise testing measurement. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 167, p. 228-238, 2003.

JOHNSON, D. C.; BATOOL, S.; DALBEC, R. Transcutaneous carbon dioxide pressure monitoring in a specialized weaning unit. **Respiratory Care**, v. 53, p. 1042-1047, 2008.

JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B. Atelectasias em Pediatria: mecanismos, diagnóstico e tratamento. **Rev. Assoc. Med. Bras.**, v. 54, n. 5, p. 455-460, 2008.

JOHNSTON, C.; PIVA, J. P.; CARVALHO, W. B.; GARCIA, P. C.; FONSECA, M. C.; HOMMERDING, P. X. Preditores de falha da extubação em crianças no pós-operatório de cirurgia cardíaca submetidas a ventilação pulmonar mecânica. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 20, n. 1, p. 57-62, 2008.

JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B.; PIVA, J.; GARCIA, P. C.; FONSECA, M. C. Risk factors for extubation failure in infants with severe acute bronchiolitis. **Respiratory Care**, v. 55, n. 3, p. 328-333, march 2010.

JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B. **Conceitos e definições dos termos utilizados no desmame e extubação**. In: BARBOSA, A. P.; JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B. Desmame e extubação em pediatria e neonatologia. São Paulo: Ed. Atheneu, 2010. p. 35-46.

KACZMAREK, J.; KAMLIN, C. O.; MORLEY, C. J.; DAVIS, P. G.; SANT'ANNA, G. M. Variability of respiratory parameters and extubation readiness in ventilated neonates. **Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal**, v. 98, n. 1, p. 70-73, jan. 2013.

KAI-SHENG, H. Quantitative analysis of end-tidal carbon dioxide during mechanical and spontaneous ventilation in infants and young children. **Pediatric Pulmonology**, v. 32, n. 6, p. 453-458, dec. 2001.

KAMLIN, C. O.; DAVIS, P. G.; MORLEY, C. J. Predicting successful extubation of very low birth weight infants. **Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal**, v. 91, p. 180-183, 2006.

KAZEMI, M.; MALARVILI, M. B. **Investigation of capnogram signal characteristics using statistical methods**. IEEE EMBS International Conference on Biomedical Engineering and Sciences, Langkawi, p. 343-348, dec. 2012.

KAZEMI, M.; IMARAH, N. I.; MALARVILI, M. B. Assessment on methods used to detect asthmatic and non-asthmatic conditions using capnogram signal. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 62, n. 1, p. 77-84, 2013.

KEAN, T. T.; TEO, A. H.; MALARVILI, M. B. Feature Extraction of Capnogram for Asthmatic Patient. **ICCEA Int. Conf. on Computer Engineering and Applications**, v. 2, p. 221-224, 2010.

KIN, N.; WEISMANN, C.; SRIVASTAVA, S.; CHAKRAVARTI, S.; BODIAN, C.; HOSSAIN, S.; KROL, M.; HOLLINGER, I.; NGUYEN, K.; MITTNACHT, A. J. Factors affecting the decision to defer endotracheal extubation after surgery for congenital heart disease: A prospective observational study. **Anesthesia & Analgesia**, v. 113, n. 2, p. 329-335, august 2011.

KLOTH, R. L.; BAUM, V. C. Very early extubation in children after cardiac surgery. **Crit. Care Med.**, v. 30, n. 4, p. 787-791, 2002.

KOBINGER, M. E. B. A. Avaliação do sopro cardíaco na infância. **J. Pediatr.**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 1, p. 87-96, 2003.

KRAUSS, B.; DEYKIN, A.; LAM, A.; RYOO, J. J.; HAMPTON, D. R.; SCHMITT, P. W.; FALK, J. L. Capnogram Shape in Obstructive Lung Disease. **Anesth. Analg.**, v. 100, p. 884-888, 2005.

KURACHEK, S. C.; NEWTH, C. J.; QUASNEY, M. W.; RICE, T.; SACHDEVA, R. C., PATEL, N. R.; TAKANO, J.; EASTERLING, L.; SCANLON, M.; MUSA, N.; BRILLI, R. J.; WELLS, D.; PARK, G. S.; PENFIL, S.; BYSANI, K. G.; NARES, M. A.; LOWRIE, L.; BILLOW, M.; CHIOCHETTI, E.; LINDGREN, B. Extubation failure in pediatric intensive care: a multiple-center study of risk factors and outcomes. **Crit. Care Med.**, v. 31, n. 11, p. 2657-2664, 2003.

LANGHAN, M. Availability and clinical utilization of capnography in the prehospital setting. **Connecticut Medicine**, v. 75, n. 4, p. 197-201, 2011.

LANGHAN, M. L.; CHING, K.; NORTHRUP, V.; ALLETAG, M.; KADIA, P.; SANTUCCI, K.; CHEN, L. A randomized controlled trial of capnography in the correction of simulated endotracheal tube dislodgement. **Acad. Emerg. Med.**, v. 18, n. 6, p. 590-596, jun. 2011.

LANGHAN, M. L.; AUERBACH, M.; SMITH, A. N.; CHEN, L. Improving detection by pediatric residents of endotracheal tube dislodgement with capnography: a randomized controlled trial. **J. Pediatr.**, v. 160, n. 6, p. 1009-1014, 2012.

LASKO, T. A.; BHAGWAT, J. G.; ZOU, K. H.; OHNO-MACHADO, L. The use of receiver operating characteristic curves in biomedical informatics. **J. Biomed. Inform.**, v. 38, n. 5, p. 404-415, 2005.

LECLERC, F.; NOIZET, O.; BOTTE, A.; BINOCHE, A., CHAARI, W.; SADIK, A.; RIOU, T. Weaning from invasive mechanical ventilation in pediatric patients (excluding premature neonates). **Archives De Pédiatrie**, v. 17, n. 4, p. 399-406, 2010.

LEE, D. D.; LEE, D. S. Environmental Gas Sensors. **IEEE Sensors Journal**, v. 1, n. 3, p. 214-224, oct. 2001.

LESSA, F. A. M.; PAES, C. D.; TONELLA, R. M.; ARAUJO, S. Comparação do índice de respiração rápida e superficial (IRRS) calculado de forma direta e indireta no pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Rev. Bras. Fisioter.**, v. 14, n. 6, p. 503-509, nov. 2010.

LEVINE, R. L. End-tidal CO₂: Physiology in pursuit of clinical applications. **Intensive Care Med.**, v. 26, p. 1595-1597, 2000.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, n. 318, p. 399-402, jun. 1967.

LOPES, R. B.; BRITO, R. R.; PARREIRA, V. F. Padrão Respiratório durante o exercício: Revisão Literária. **R. Bras. de Ciência e Mov.**, v. 13, n. 2, p. 153-160, 2005.

LOPES, C. R.; BRANDÃO, C. M. A.; NOZAWA, E.; AULER Jr, J. O. C. Benefícios da ventilação não-invasiva após extubação no pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**, v. 23, n. 3, p. 344-350, 2008.

LOPEZ, E.; GRABAR, S.; BARBIER, A.; KRAUSS, B.; JARREAU, P. H.; MORIETTE, G. Detection of carbon dioxide thresholds using low-flow sidestream capnography in ventilated preterm infants. **Intensive Care Med.**, v. 35, p. 1942-1949, 2009.

LOPEZ, E.; MATHLOUTHI, J.; LESCURE, S.; KRAUSS, B.; JARREAU, P. H.; MORIETTE, G. Capnography in spontaneously breathing preterm infants with bronchopulmonary dysplasia. **Pediatric Pulmonology**, v. 46, p. 896-902, 2011.

MADANI, S. J.; SAGHAFINIA, M.; NEZHAD, H. S.; EBADI, A.; GHOCHANI A.; TAVASOLI, A. F.; SARI, H. K.; TADRISSE, S. D. Validity of integrative weaning index of discontinuation from mechanical ventilation in Iranian ICUs. **Thrita**, v. 2, n. 4, p. 62-8, dec. 2013.

MANCZUR, T. I.; GREENOUGH, A.; PRYOR, D.; RAFFERTY, G. F. Assessment of respiratory drive and muscle function in the pediatric intensive care unit and prediction of extubation failure. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 1, p. 124-126, 2000.

MANO, R. Anamnese Cardiológica: A Cianose. **Manuais de Cardiologia**. Rio de Janeiro, nov. 2004. Disponível em: www.manuaisdecardiologia.med.br/Semiologia. Acesso em: 12 mar. 2014.

MANRIQUE, A. M.; FEINGOLD, B.; DI FILIPPO, S.; ORR, R.; KUCH, B. A.; MUNOZ, R. Extubation after cardiothoracic surgery in neonates, children, and young adults: One year of institutional experience. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 9, p. 552-555, 2007.

MARGOTTO, P. **Entendendo bioestatística básica**. Brasília: Boletim Informativo Pediátrico (BIP), n. 65, p. 6, 2002.

MAROCO, J. **Análise Estatística com utilização do SPSS**. Lisboa: Editora Silabo, 2003, p. 169-171.

MAROTTI, J.; GALHARDO, A. P. M.; FURUYAMA, R. J.; PIGOZZO, M. N.; CAMPOS, T. N.; LAGANÁ, D. C. Amostragem em Pesquisa Clínica: Tamanho da amostra. **Rev. de Odont. da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 20, n. 2, p. 186-194, mai. 2008.

MARTINEZ, E. Z.; LOUZADA-NETO, F.; PEREIRA, B. B. A curva ROC para testes diagnósticos. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 11, n. 1, p. 7-31, 2003.

MARTINS, C. C.; BOTTI, J. V.; CASTRO, L. T.; AGUIAR, J. L. N.; SLEUTJES, L. Comparação entre três métodos de desmame gradual da ventilação mecânica. **Revista Científica da Faminas**, v. 1, n. 3, p. 12-30, set. 2005.

MCCOLLOUGH, M.; SHARIEFF, G. Q. Common complaints in the first 30 days of life. **Emergency medicine clinics of North America**, v. 20, n. 1, p. 27-48, feb. 2002.

MCDONALD, M. J.; MONTGOMERY, V. L.; CERRITO, P. B.; PARRISH, C. J.; BOLAND, K. A.; SULLIVAN, J. E. Comparison of end-tidal CO₂ and PaCO₂ in children receiving mechanical ventilation. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 3, p. 244-249, 2002.

MC GRATH, B. A. The (correct) use of capnography will reduce airway complications in intensive care. **Br. J. Anaesth.**, v. 113, n. 3, p. 521, 2014.

MC SWAIN, D.; HAMEL, D. S.; SMITH, P. B.; GENTILE, M. A.; SRINIVASAN, S.; MELIONES, J. N.; CHEIFETZ, I. M. End-tidal and arterial carbon dioxide measurements correlate across all levels of physiologic dead space. **Respir. Care**, v. 55, p. 288-293, 2010.

MEADE, M. O.; GUYATT, G.; COOK, D.; GRIFFITH, L.; SINUFF, T.; KERGL, C.; MANCEBO, J.; ESTEBAN, A.; EPSTEIN, S. Predicting success in weaning from mechanical ventilation. **Chest**, v. 120, p. 400-424, 2001.

MEDCALC STATISTICAL SOFTWARE. Disponível em: www.medcalc.be/index.php. Acesso em: 02 nov. 2014.

MEDLAB. **Manual do Capnógrafo CAP10**. Germany: Medizinische Diagnosegeräte, p. 1-22, 2005.

MEHTA, H.; KASHYAP, R.; TRIVEDI, S. Correlation of end tidal and arterial carbon dioxide levels in critically ill neonates and children. **Indian. J. Crit. Care Med.**, v. 18, n. 6, p. 348-353, jun 2014.

MELLO, J. D.; BUTANI, M. Capnography. **Indian Jornal of Anaesthesia**, v. 46, n. 4, p. 269-278, august 2002.

MELO, F. N.; MARTINS, M. P. P. **Unidades remotas de monitoramento ambiental: quantificação do CO₂ atmosférico**. Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/8JMKD3MGP7W/3AG9USL?ibiurl.language=pt-BR>. julho de 2011. Acesso em: 15 jan. 2015.

MHANNA, M. J.; ANDERSON, I. M.; IYER, N. P.; BAUMANN, A. The use of extubation readiness parameters: A survey of pediatric critical care physicians. **Respiratory Care**, v. 59, n. 3, p. 334, mar. 2014.

MITTNACHT, A. J. C.; THANJAN, A. M.; SRIVASTAVA, B. S.; JOASHI, B. U.; BODIAN, B. C.; HOSSAIN, A. S.; KIN, A. N.; HOLLINGER, C. I.; NGUYEN, K. Extubation in the operating room after congenital heart surgery in children. **The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, v. 136, n. 1, p. 88-93, july 2008.

MONTE, L. F. V.; SILVA FILHO, L. V.; MIYOSHIM, M. H.; ROZOV, T. Displasia Broncopulmonar. **J. Pediatr.**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 2, p. 99-110, março 2005.

MORLEY, T. F.; GIAIMO, J.; MAROSZAN, E.; BERMINGHAM, J.; GORDON, R.; GRIESBACK, R.; ZAPPASODI, S. J.; GIUDICE, J. C. Use of capnography for assessment of the adequacy of alveolar ventilation during weaning from mechanical ventilation. **American Review of Respiratory Disease**, v. 148, n. 2, p. 339-344, 1993.

NAGLER, J.; KRAUSS, B. Capnographic monitoring in respiratory emergencies. **Clinical Pediatric Emergency Medicine**, v. 10, n. 2, p. 82-89. 2009.

NEMER, S. N. **Avaliação da força muscular inspiratória (Pi Max), da atividade do centro respiratório (P 0.1) e da relação da atividade do centro respiratório/força muscular inspiratória (P 0.1 / Pi Max) sobre o desmame da ventilação mecânica.** 2007. 137 f. Tese (Pneumologia) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2007.

NEMER, S. N.; BARBAS, C. S. V.; CALDEIRA, J. B.; CÁRIAS, T. C.; SANTOS, R. G.; ALMEIDA, L. C.; AZEREDO, L. M.; NOÉ, R. A.; GUIMARÃES, B. S.; SOUZA, P. C. A new integrative prognostic weaning index of discontinuation from mechanical ventilation. **Critical Care**, v. 13, n. 5, p. 152, 2009.

NEMER, S. N.; BARBAS, C. S. V. Parâmetros preditivos para o desmame da ventilação mecânica. **J. Bras. Pneumol.**, v. 37, n. 5, p. 669-679, 2011.

NEWTN, C. J. L.; VENKATARAMAN, S.; WILLSON, D. F.; MEERT, K. L.; HARRISON, R.; DEAN, J. M.; POLLACK, M.; ZIMMERMAN, J.; ANAND, K. J. S.; CARCILLO, J. A.; NICHOLSON, C. E.; KENNEDY, E. S. Weaning and extubation readiness in pediatric patients. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 10, p. 1-11, 2009.

NIEHOFF, J.; DELGUERCIO, C.; LAMORTE, W.; HUGHES-GRASBERGER, S. L.; HEARD, S.; DENNIS, R.; YESTON, N. Efficacy of pulse oximetry and capnometry in postoperative ventilatory weaning. **Crit. Care Med.**, v. 16, n. 7, p. 701-705, jul. 1988.

NIKOLAKOPOULOS, S.; ROES, K. C. B.; VAN DER LEE, J. H.; VAN DER TWEEL, I. Sample size calculations in pediatric clinical trials conducted in an ICU: a systematic review. **Trials Journal**, v. 15, p. 274-283, 2014.

NOIZET, O.; LECLERC, F.; RIOU, Y.; SADIK, A. Weaning from mechanical ventilation in children (except neonates). **Reanimation**, v. 13, n. 1, p. 21-28, 2004.

NOIZET, O.; LECLERC, F.; SADIK, A.; GRANDBASTIEN, B.; RIOU, Y.; DORKENOO, A.; FOURIER, C.; CREMER, R.; LETEURTRE, S. Does taking endurance into account improve the prediction of weaning outcome in mechanically ventilated children? **Critical Care**, v. 9, n. 6, p. 798-807, 2005.

NORKUS, V.; SOKOLL, T.; GERLACH, G.; BAYERLEIN, D.; ENENKEL, N; WINKLER, M. **Thermal infrared radiators for analytical applications**. 6th Conference on Infrared Sensors & Systems, Erfurt, Germany, p. 65-70, 2000.

NOZAWA, E.; KOBAYASHI, E.; MATSUMOTO, M. E.; FELTRIM, M. I. Z.; CARMONA, M. J. C.; AULER JR., J. O. C. Avaliação de fatores que influenciam no desmame de pacientes em ventilação mecânica prolongada após cirurgia cardíaca. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 80, n. 3, p. 301-305, 2003.

OLIVEIRA, L. R. C.; JOSÉ, A.; DIAS, E. C. P.; RUGGERO, C.; MOLINARI, C. V.; CHIAVONE, P. A. Padronização do desmame da ventilação mecânica em Unidade de Terapia Intensiva: Resultado após um ano. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 18, n. 2, p. 131-136, junho 2006.

ORNICO, S. R.; LOBO, S. M.; SANCHES, H. S.; DEBERALDINI, M.; TÓFOLI, L. T.; VIDAL, A. M.; SCHETTINO, G. P.; AMATO, M. B.; CARVALHO, C. R.; BARBAS, C. S. Noninvasive ventilation immediately after extubation improves weaning outcome after acute respiratory failure: a randomized controlled trial. **Critical Care**, v. 17, p. R39, 2013.

PAGOWSKA-KLIMEK, I.; PYCHYNSKA-POKORSKA, M.; KRAJEWSKI, W.; MOLL, J. J. Predictors of long intensive care unit stay following cardiac surgery in children. **European Journal of Cardio-thoracic Surgery**, v. 40, p. 179-184, 2011.

PAZZIANOTTO-FORTI, E. M.; NALETO, M. C. C.; GIGLIOLI, M. O. A eficácia de pressão contínua nas vias aéreas (CPAP), com utilização do bird mark 7, em pacientes em pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 31-35, jan. 2002.

PEKDEMIR, M.; CINAR, O.; YILMAZ, S.; YAKA, E.; YUKSEL, M. Disparity between mainstream and sidestream end-tidal carbon dioxide values and arterial carbon dioxide levels. **Respir. Care**, v. 57, n. 7, p. 1152-1156, 2013.

PERCIVAL, D. Potential applications of capnography in the prehospital setting. **Journal of Paramedic Practice**, v. 4, n. 1, p. 34-40, jan. 2012.

PEREIRA, M. **Sistema Respiratório**. Disponível em: <http://margaridapereiracn.blogspot.com.br/>. Acesso em: 10 maio 2014.

PIVA, J. P.; GARCIA, P. C. R. Ventilação mecânica em pediatria. In: PIVA, J. P.; CARVALHO, P.; GARCIA, P. C. **Terapia Intensiva em Pediatria**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1992. p. 235-259.

POLITO, A.; PATORNO, E.; COSTELLO, J. M.; SALVIN, J. W.; EMANI, S. M.; RAJAGOPAL, S.; LAUSSEN, P. C.; THIAGARAJAN, R. R. Perioperative factors associated with prolonged mechanical ventilation after complex congenital heart surgery. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 12, n. 3, p. 122-126, 2011.

POSTIAUX, G. **Fisioterapia Respiratória Pediátrica**: o tratamento guiado por ausculta pulmonary. 2^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

PROENÇA, J. O. Modos de Ventilação Mecânica. In: FERREIRA, A. C. P.; TROSTER, E. J. **Atualização em Terapia Intensiva Pediátrica**. Rio de Janeiro: Interlivros, 1996. p. 207-216.

RASANEN, J. Monitorização durante suporte ventilatório. In: STOCK, C. M. **Manual de Mecanismo do Suporte Ventilatório**. Rio de Janeiro: Medsi, 1994. p. 37-49.

RAZI, E.; MOOSAVI, G. A.; OMIDI, K.; SAEBI, A. K.; RAZI, A. Correlation of end-tidal carbon dioxide with arterial carbon dioxide in mechanically ventilated patients. **Arch. Trauma Res.**, v. 1, n. 2, p. 58-62, 2012.

REES, D. G. Why 95% confidence? Why not some other confidence level? **Foundations of Statistics**, CRC Press, p. 246, 1987.

RIMENSBERGER, P. C. **Pediatric and Neonatal Mechanical Ventilation: From Basics to Clinical Practice**. Geneva: Springer, 2015. p. 158-160.

RIOU, Y.; CHAARI, W.; LETEURTRE, S.; LECLERC, F. Predictive value of the physiological deadspace/tidal volume ratio in the weaning process of mechanical ventilation in children. **J. Pediatr.**, v. 88, n. 3, p. 217-221, 2012.

RIVERA, I. R.; SILVA, M. A. M.; FERNANDES, J. M. G.; THOMAZ, A. C. P.; SORIANO, C. F. R.; SOUZA, M. G. B. Cardiopatia Congênita no Recém-Nascido: da solicitação do pediatra à avaliação do cardiologista. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 89, n. 1, p. 6-10, 2007.

RODRIGUES, M. M.; FIORE JR., J. F.; BENASSULE, E.; CHIAVEGATO, L. D.; CAVALHEIRO, L. V.; BEPPU, O. S. Variações na mensuração dos parâmetros de desmame da ventilação mecânica em hospitais da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 17, n. 1, p. 28-32, março 2005.

RODRIGUES, M. V. H. **Estudo do comportamento hemodinâmico, da troca gasosa, da mecânica respiratória e da análise do muco brônquico na aplicação de técnicas de remoção de secreção brônquica em pacientes sob ventilação mecânica**. 2007. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2007.

RONSEDA, Electronics. **Módulo de capnografia sidestream**. Manual do fabricante. Shenzhen, 2011.

ROSE, L.; DAINTY, K. N.; JORDAN, J.; BLACKWOOD, B. Weaning from mechanical ventilation: a scoping review of qualitative studies. **American Journal of Critical Care**, v. 23, n. 5, p. 54-70, 2014.

ROTHAAR, R. C.; EPSTEIN, S. K. Extubation failure: magnitude of the problem, impact on outcomes, and prevention. **Curr. Opin. Crit. Care**, v. 9, p. 59-66, 2003.

ROWAN, C. M.; SPEICHER, R. H.; HEDLUND, T.; AHMED, S. S.; SWIGONSKI, N. L. Implementation of continuous capnography is associated with a decreased utilization of blood gases. **J. Clin. Med. Res.**, v. 7, n. 2, p. 71-75, 2015.

RUSSI, T. S. **Repercussões nos gases sanguíneos de RN prematuros com Síndrome de Desconforto Respiratório e sob Ventilação Mecânica Convencional após ajuste no tempo inspiratório em função constante de tempo**. 2006. 82 f. Dissertação (Ciências da Saúde) - Convênio Rede Centro-Oeste (UnB, UFG, UFMS), Campo Grande, MS, 2006.

SAEED, A. M.; EL ASAAL, G. M.; ABD EL HALIM, H. A.; AHMAD, S. A. Evaluation of the cardiopulmonary status using a noninvasive respiratory profile monitor in chronic obstructive lung disease patients during low-ventilation strategy. **Egypt J. Bronchol.**, v. 8, p. 44-50, 2014.

SANTOS L. O.; BORGES, M. R.; FIGUEIRÊDO, L. C.; GUEDES, C. A. V.; VIAN, B. S.; KAPPAZ, K.; ARAÚJO, S. Comparação entre três métodos de obtenção do índice de respiração rápida e superficial em pacientes submetidos ao desmame da ventilação mecânica. **Rev. Bras. Ter. Intensiva**, v. 19, n. 3, p. 331-336, 2007.

SANTOS, S. L. L.; LEMOS, V. S.; CARVALHO, A. R. **Desmame difícil da ventilação pulmonar mecânica**. In: BARBOSA, A. P.; JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B. Desmame e extubação em pediatria e neonatologia. São Paulo: Ed. Atheneu, p. 129-153, 2010.

SANTOSO, D.; SETIAJI, F. D. Design and implementation of capnograph for laparoscopic surgery. **International Journal of Information and Electronics Engineering**, v. 3, n. 5, sept. 2013.

SAUGEL, B.; RAKETTE, P.; HAPFELMEIER, A.; SCHULTHEISS, C.; PHILLIP, V.; THIES, P.; TREIBER, M.; EINWÄCHTER, H.; WERDER, A.; PFAB, R.; EYER, F.; SCHMID, R. M.; HUBER, W. Prediction of extubation failure in medical intensive care unit patients. **Journal of Critical Care**, v. 27, p. 571-577, 2012.

SAURA, P.; BLANCH, L.; LUCANGELO, U.; FERNÁNDEZ, R.; MESTRE, J.; ARTIGAS, A. Use of capnography to detect hypercapnic episodes during weaning from mechanical ventilation. **Intensive Care Med.**, v. 22, n. 5, p. 374-381, 1996.

SAVI, A.; TEIXEIRA, C.; SILVA, J. M.; BORGES, L. G.; PEREIRA, P. A.; PINTO K. B.; GEHM, F.; MOREIRA, F. C.; WICKERT, R.; TREVISAN, C. B. E.; MACCARI, J. G.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. R. Weaning predictors do not predict extubation failure in simple-to-wean patients. **Journal of Critical Care**, v. 27, p. 221-228, 2012.

SCARTH, E.; COOK, T. Capnography during cardiopulmonary resuscitation. **Resuscitation**, v. 83, p. 789-790, 2012.

SCHAEFFER, R. D. **Estudo e desenvolvimento de um sensor de CO₂ de baixo custo**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

SCHERER, L.; GUARAGNA, J. C. V. C.; BERLEZE, D. Suporte ventilatório e complicações respiratórias no pós-operatório de cirurgia cardíaca. In: GUARAGNA, J. C. V. C. **Pós-operatório em cirurgia cardíaca**. Rio de Janeiro: Medsi, 2005; p. 55-65.

SCHULTZ, T. R.; LIN, R. J.; WATZMAN, H. M.; DURNING, S. M.; HALES, R.; WOODSON, A.; FRANCIS, B.; TYLER, L.; NAPOLI, L.; GODINEZ, R. I. Weaning children from mechanical ventilation: a prospective randomized trial of protocol-directed versus physician-directed weaning. **Respir. Care**, v. 46, n. 8, p. 772-782, 2001.

SCHWAN, M. T.; DARVIN, R. P.; DUARTE, H. Alteração da função pulmonar e atuação fisioterapêutica em pós-operatório de cirurgia cardíaca. **Fisiobrasil**, v. 78, n. 10, p. 30-41, julho 2006.

SHANKAR, K. B.; MOSELEY, H.; KUMAR, Y. Negative arterial to end-tidal gradients. **Can. J. Anaesth.**, v. 38, p. 260-261, 1991.

SHANKAR, K. B.; PHILIP, J. H. Defining segments and phases of a time capnogram. **Anesth Analg.**, v. 91, p. 973-977, 2000.

SHANKAR, K. B. Capnography outside the operating rooms. **Anesthesiology**, v. 118, p. 192-201, 2013.

SHANKAR, K. B.; URMAN, R. D. Capnography during cardiopulmonary resuscitation: Current evidence and future directions. **J. Emerg. Trauma Shock**, v. 7, n. 4, p. 332-340, 2014.

SHANKAR, K. B. **Physiology of Capnography**. Boston, MA, USA: 2012. Disponível em: www.capnography.com. Acesso em: 11 out. 2014.

SELLARÉS, J.; FERRER, M.; CANO, E.; LOUREIRO, H.; VALENCIA, M.; TORRES, A. Predictors of prolonged weaning and survival during ventilator weaning in a respiratory Intensive Care Unit. **Intensive Care Med.**, v. 37, p. 775-784, 2011.

SELLARÉS, J.; FERRER, M.; TORRES, A. Predictors of weaning after acute respiratory failure. **Minerva Anesthesiol.**, v. 78, p. 1046-53, 2012.

SILVA, S. M.; VALERI, C. B.; BOGOSSIAN, H. B.; JARDIM, C.; DEMARZO, S. E.; SOUZA, R. Resolução do “shunt” direita-esquerda após uso do sildenafil como tratamento de hipertensão pulmonar primária. **J. Pneumologia**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 305-308, set. 2003.

SILVA, R. A.; NAVARRO, L. H. C.; FUKUSHIMA, F. B.; MÓDOLO, N. S. P. Barotrauma durante transporte para o centro cirúrgico. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 123, p. 16-16, 2005.

SILVA, Z. M.; PEREZ, A.; PINZON, A. D.; RICACHINEWSKY, C. P.; RECH, D. R.; LUKRAFKA, J. L.; ROVEDDER, P. M. E. Fatores associados ao insucesso no desmame ventilatório de crianças submetidas a cirurgia cardíaca pediátrica. **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**, v. 23, n. 4, p. 501-506, 2008.

SILVA, A. E.; GOMES, F. G.; RIOS, D. F. C. R.; OLIVEIRA, L. H. S.; BERNARDES, R. C. **Avaliação pré e pós extubação de recém nascidos prematuros submetidos à ventilação pulmonar mecânica e fisioterapia respiratória**. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Paraíba, 2008.

SILVA, M. E. M.; FEUSER, M. R.; SILVA, M. P.; UHLIG, S.; PARAZZI, P. L. F.; ROSA, G. J.; SCHIVINSKI, C. I. S. Cirurgia cardíaca pediátrica: o que esperar da intervenção fisioterapêutica? **Rev. Bras. Cir. Cardiovasc.**, v. 26, n. 2, p. 264-272, 2011.

SILVA-FORTES, C. **Testes de Diagnóstico e Curvas ROC**. In: CUNHA, G.; EIRAS, M.; TEIXEIRA, N. (Eds). *Bioestatística e Qualidade na Saúde*. Lisboa: Lidel, 2011.

SIM - **Sistema de informações sobre mortalidade**. Brasil, Ministério da Saúde, MS/SVS/DASIS. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2014.

SINGH, S.; VENKATARAMAN, S. T.; SAVILLE, A.; BHENDE, M. S. NPB-75: A portable quantitative microstream capnometer. **American Journal of Emergency Medicine**, v. 19, n. 3, p. 208-210, 2001.

SINGH, S. A.; SINGHAL, N. Does end-tidal carbon dioxide measurement correlate with arterial carbon dioxide in extremely low birth weight infants in the first week of life? **Indian Pediatrics**, v. 43, p. 20-25, jan. 2006.

SINGH, B. S.; GILBERT, U.; SINGH, S.; GOVINDASWAMI, B. Sidestream microstream end tidal carbon dioxide measurements and blood gas correlations in neonatal intensive care unit. **Pediatric Pulmonology**, v. 48, p. 250-256, 2013.

SIVARAMAKRISHNAN, S.; RAJAMANI, R.; JOHNSON, B. D. Dynamic model inversion techniques for breath-by-breath measurement of carbon dioxide from low bandwidth sensors. **31st Annual International Conference of the IEEE**. EMBS Minneapolis, Minnesota, USA, 2009.

SOO HOO, G. W.; PARK, L. Variations in the measurement of weaning parameters: a survey of respiratory therapists. **Chest**, v. 121, p. 1947-1955, 2002.

SOUZA, M. H. L.; ELIAS, D. O. **Fundamentos da Circulação Extracorpórea**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Centro Editorial Alfa Rio, 2006.

SOUZA, A. L.; FREITAS, P. C.; LINS, R. **Cardiopatias Congênitas: Fisiopatologia e tratamento**. FASEH, Minas Gerais, 2005. Disponível em: www.faseh.edu.br/publicacoes/trabalhos/fisioterapia. Acesso em: 10 nov. 2014.

SULDOSKI, M. T. **Determinação da SO₂ através da Oximetria de pulso e Gasometria arterial em pacientes sob ventilação mecânica**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SURESH, K. P.; CHANRASHEKARA, S. Sample size estimation and power analysis for clinical research studies. **J. Hum. Reprod. Sci.**, v. 5, n. 1, p. 7-13, jan. 2012.

SZÉKELY, A.; SÁPI, E.; KIRÁLY, L.; SZATMÁRI, A.; DINYA, E. Intraoperative and postoperative risk factors for prolonged mechanical ventilation after pediatric cardiac surgery. **Paediatr. Anaesth.**, v. 16, p. 1166-1175, 2006.

SZYMANKIEWICZ, M.; VIDVASAGAR, D.; GADZINOWSKI, J. Predictors of successful extubation of preterm low-birth-weight infants with respiratory distress syndrome. **Pediatr. Crit. Care Med.**, v. 6, n. 1, p. 44-49, jan. 2005.

TALLO, F. S.; SANDRE, V. L.; LOPES, R. D.; ABIB, S. V. C.; LOPES, A. C. Weaning from mechanical ventilation: approach for the internist. **Rev. Soc. Bras. Clin. Med.**, v. 12, n. 1, p. 57-63, mar. 2014.

TEIXEIRA, C. **Trabalho respiratório no desmame da ventilação mecânica**. 2004. 142 f. Tese (Doutorado em Medicina) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

TEIXEIRA, C.; MACCARI, J. G.; VIEIRA, S. R. R.; OLIVEIRA, R. P.; SAVI, A.; MACHADO, A. S.; TONIETTO, T. F.; CREMONESE, R. V.; WICKERT, R.; PINTO, K. B.; CALLEFE, F.; GEHM, F.; BORGES, L. G.; OLIVEIRA, E. S. Impact of a mechanical ventilation weaning protocol on the extubation failure rate in difficult-to-wean patients. **J. Bras. Pneumol.**, v. 38, n. 3, p. 364-371, 2012.

TEN HARKEL, A. D. J.; VAN DER VORST, M. M. J.; HAZEKAMP, M. G.; OTTENKAMP, J. High mortality rate after extubation failure after pediatric cardiac surgery. **Pediatr. Cardiol.**, v. 26, p. 756-761, 2005.

THOMPSON, J. E.; JAFFE, M. B. Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient. **Respiratory Care**, v. 50, n. 1, p. 100-109, jan. 2005.

THRUSH, D. N.; MENTIS, S. W.; DOWNS, J. B. Weaning with end-tidal CO₂ and pulse oximetry. **J. Clin. Anesth.**, v. 3, n. 6, p. 456-460, nov. 1991.

TILELLI, J. A. **Ventilator considerations**. In: BAREN, J. M.; ROTHROCK, S.G.; BRENNAN, J.; BROWN, L. (editors) *Pediatric Emergency Medicine*. 1st ed. Philadelphia: Elsevier, p. 1177-1183, 2008.

TINGSVIK, C.; JOHANSSON, K.; MARTENSSON, J. Weaning from mechanical ventilation: factors that influence intensive care nurses' decision-making. **British Association of Critical Care Nurses**, v. 20, n. 1, p. 16-24, 2014.

TOBIN, M. J.; PEREZ, W.; GUENTHER, S.; SEMMES, B. J.; MADOR, M. J.; ALLEN, S. J.; LODATO, R. E.; DANTZKER, D. R. The pattern of breathing during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 134, p. 1111-1118, 1986.

TREVISANUTO, D.; GIULIOTTO, S.; CAVALLIN, F.; DOGLIONI, N.; TONIAZZO, S.; ZANARDO, V. End-tidal carbon dioxide monitoring in very low birth weight infants: correlation and agreement with arterial carbon dioxide. **Pediatric Pulmonology**, v. 47, p. 367-372, 2012.

VALENZUELA, J.; ARANEDA, P.; CRUCES, P. Weaning from mechanical ventilation in paediatrics. State of the art. **Arch. Bronconeumol.**, v. 50, n. 3, p. 105-112, 2014.

VARGESE, J. H. Use of disposable end tidal carbon dioxide detector device for checking endotracheal tube placement. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, v. 1, n. 1, p. 10-16, june 2007.

VENKATARAMAN, S. T.; KHAN, N.; BROWN, A. Validation of predictors of extubation success and failure in mechanically ventilated infants and children. **Crit. Care Med.**, v. 28, n. 8, p. 2991-2996, august 2000

VENZON, P. S. **Comparação entre N-IPPV e CPAP-N após a extubação de recém-nascidos de muito baixo peso ao nascimento**. 2006. 103 f. Dissertação de Mestrado (Pediatria e Neonatologia) – Universidade Federal do Paraná, 2006.

YANG, J.; WANG, B.; XU, R.; WANG, L A new real-time and precision capnography for human respiration carbon dioxide concentration. **Perfusion**, v. 25, n. 6, p. 399-408, 2010.

YOU, B.; PESLIN, R.; DUVIVIER, C.; VU, V. D.; GRILLIAT, J. P. Expiratory capnography in asthma. **Eur. Respir. J.**, v. 7, p. 318-323, 1994.

WALSH, B. K.; CZERVINSKE, M. P.; DIBLASI, R. M. **Perinatal and Pediatric Respiratory Care**. 3^a ed. Missouri: Saunders Elsevier, 2010.

WESTABY, S.; PILLAI, R.; PARRY, A.; O'REGAN, D.; GIANNOPOULOS, N.; GREBENIK, K.; SINCLAIR, M.; FISHER, A. Does modern cardiac surgery require conventional intensive care? **European Journal of Cardio-thoracic Surgery**, v. 7, p. 313-318, 1993.

WILKES, A. R. Breathing system filters. **British Journal of Anaesthesia**, v. 2, n. 5, p. 151-154, oct. 2002.

WHITAKER, D. K. Time for Capnography. **Anaesthesia**, v. 66, n. 7, p. 544-549, 2011.

WU, C. H.; CHOU, H. C.; HSIEH, W. S.; CHEN, W. K.; HUANG, P. Y.; TSAO, P. N. Good estimation of arterial carbon dioxide by end-tidal carbon dioxide monitoring in the neonatal intensive care unit. **Pediatr. Pulmonol.**, v. 35, p. 292-295, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

- a) Sua criança está sendo convidada a participar de um estudo intitulado “Análise quantitativa da pressão de dióxido de carbono expirado como índice preditivo de sucesso na retirada da ventilação mecânica invasiva”. É através das pesquisas que ocorrem os avanços na medicina e na área da saúde, e sua participação é de fundamental importância.
- b) O objetivo desta pesquisa é analisar de forma quantitativa a pressão de CO₂ expirado como índice preditivo de sucesso na retirada da ventilação mecânica invasiva em pacientes neonatais e pediátricos no período pós-operatório de cirurgia cardíaca.
- c) A análise da pressão de CO₂ não oferece riscos ou dano direto à vida dos pacientes.
- d) Para tanto o paciente deverá estar em tratamento na Unidade de Terapia Intensiva Cardíaca do Hospital Pequeno Príncipe.
- e) Contudo os benefícios esperados são: que os parâmetros ventilatórios, mensurados através da capnografia, podem auxiliar ao médico e o fisioterapeuta a determinar o melhor momento da retirada da prótese ventilatória.
- f) A Fisioterapeuta Carmen Caroline Rasera é responsável pela análise da pressão de CO₂ e poderá ser contatada em qualquer horário.
- g) Estão garantidas todas as informações que você queira, antes durante e depois do estudo.
- i) A participação neste estudo é voluntária. Você tem a liberdade de recusar a participação da criança no estudo, ou se aceitar a participar, retirar seu consentimento a qualquer momento.
- j) Todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não são da responsabilidade do paciente, ou responsável.
- k) As informações relacionadas ao estudo poderão ser inspecionadas pelas fisioterapeutas que executam a pesquisa e pelas autoridades legais, no entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a confidencialidade seja mantida.
- l) Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro. Você terá a garantia de que qualquer problema decorrente do estudo será tratado na própria instituição.
- m) Quando os resultados forem publicados, não aparecerá o nome da criança, e sim um código.

Eu, _____, brasileiro, residente em _____,
R.G. _____, pai e/ou responsável pela criança
_____ li o texto acima e compreendi a natureza e objetivo
do estudo do qual a criança foi convidada a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e
benefícios do estudo e o tratamento. Eu entendi que sou livre para interromper a participação da minha
criança no estudo a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem que esta afete o tratamento
dela, sei que qualquer problema relacionado ao tratamento será tratado sem custos para mim.

Portanto, concordo voluntariamente com a participação no estudo.

Curitiba, ____ de _____ de 2014.

Assinatura dos Pais ou Responsável

Assinaturas da Pesquisadora
Carmen Caroline Rasera
CREFITO: 92.059F

APÊNDICE B - Ficha Padronizada de Avaliação.

FICHA DE AVALIAÇÃO – 1º Dia Pós-Operatório**Data:** _____

Nome: _____ **N.º Prontuário:** _____ **Conv.:** _____
Data de Nasc.: _____ **Idade:** _____ **Sexo:** _____ **Cor:** _____ **Peso:** _____ **Fone:** _____

Diag. Pré-Operatório: _____
Tipo de Cirurgia: _____

Anestesia Droga: _____
Duração Total: _____ **Hipotermia:** _____ **Tempo CEC:** _____ **Clampeio AO:** _____ **PCT:** _____

Ventilador Mecânico: _____ **Modo Ventilatório:** _____
Parâmetros do VM Insp. Time: _____ Pressão: _____ FR: _____ PEEP: _____ TI/TE: _____

Monitoração Temp.: _____ FC: _____ PAM.: _____ PA: _____ SpO₂: _____ FR: _____ FiO₂: _____

Mecânica Respiratória Peak: _____ V exp: _____ P plateau: _____ Vol insp.: _____ Vol exp.: _____
 Vol min: _____ R insp.: _____ R exp.: _____ C dyn: _____ C stat: _____ RSBI: _____ WOB: _____

Gasometria pH: _____ PaO₂: _____ PaCO₂: _____ Bicarb.: _____ BE: _____ SpO₂: _____ Outro: _____
Capnógrafo Média PetCO₂ (3 mens.): _____ CO₂ waveform: _____ CO₂ insp.: _____ CO₂ médio: _____

Sedação () Leve () Moderada () Intensa _____
Intercorrências: _____

Até 2 horas antes da Extubação da VMI**Data:** _____

Ventilador Mecânico: _____ **Modo Ventilatório:** _____
Parâmetros do VM Insp. Time: _____ Pressão: _____ FR: _____ PEEP: _____ TI/TE: _____

Monitoração Temp.: _____ FC: _____ PAM.: _____ PA: _____ SpO₂: _____ FR: _____ FiO₂: _____

Mecânica Respiratória Peak: _____ V exp: _____ P plateau: _____ Vol insp.: _____ Vol exp.: _____
 Vol min: _____ R insp.: _____ R exp.: _____ C dyn: _____ C stat: _____ RSBI: _____ WOB: _____

Gasometria pH: _____ PaO₂: _____ PaCO₂: _____ Bicarb.: _____ BE: _____ SpO₂: _____ Outro: _____
Capnógrafo Média PetCO₂ (3 mens.): _____ CO₂ waveform: _____ CO₂ insp.: _____ CO₂ médio: _____

Intercorrências: _____

Até 2 horas após a extubação da VMI**Data:** _____

Permanece em Ventilação Espontânea () Sim () Não
 Ventilação Mecânica Não Invasiva _____
 Suporte Adicional de O₂ – Tipo _____ Quant.: _____

Monitoração Temp.: _____ FC: _____ PAM.: _____ PA: _____ SpO₂: _____ FR: _____ FiO₂: _____

Gasometria pH: _____ PaO₂: _____ PaCO₂: _____ Bicarb.: _____ BE: _____ SpO₂: _____ Outro: _____
Capnógrafo Média PetCO₂ (3 mens.): _____ CO₂ waveform: _____ CO₂ insp.: _____ CO₂ médio: _____

Intercorrências: _____

24 horas após a extubação da VMI

Data: _____

Permanece em Ventilação Espontânea	() Sim () Não
Ventilação Mecânica Não Invasiva	_____
Suporte Adicional de O ₂ – Tipo	_____ Quant.: _____

Monitoração	Temp.: _____ FC: _____ PAM.: _____ PA: _____ SpO ₂ : _____ FR: _____ FiO ₂ : _____
--------------------	--

Gasometria	pH: _____ PaO ₂ : _____ PaCO ₂ : _____ Bicarb.: _____ BE: _____ SpO ₂ : _____ Outro: _____
Capnógrafo	Média PetCO ₂ (3 mens.): _____ CO ₂ waveform: _____ CO ₂ insp.: _____ CO ₂ médio: _____

Intercorrências:	_____
-------------------------	-------

48 horas após a extubação da VMI

Data: _____

Permanece em Ventilação Espontânea	() Sim () Não
Ventilação Mecânica Não Invasiva	_____
Suporte Adicional de O ₂ – Tipo	_____ Quant.: _____

Monitoração	Temp.: _____ FC: _____ PAM.: _____ PA: _____ SpO ₂ : _____ FR: _____ FiO ₂ : _____
--------------------	--

Gasometria	pH: _____ PaO ₂ : _____ PaCO ₂ : _____ Bicarb.: _____ BE: _____ SpO ₂ : _____ Outro: _____
Capnógrafo	Média PetCO ₂ (3 mens.): _____ CO ₂ waveform: _____ CO ₂ insp.: _____ CO ₂ médio: _____

Intercorrências:	_____
-------------------------	-------

AVALIAÇÃO FINAL

SUCESSO EXTUBAÇÃO VMI () Sim () Não

Motivo: _____

OUTROS: _____

ANEXOS

ANEXO A – Requerimento de Desempenho e Segurança do Capnógrafo



DECLARATION

According to all items of ISO 21647:2004, we have passed all the test contents below, we declare that the performance of module EtCO₂ RSD OA1000 can meet the requirements of ISO 21647



- 4 General requirements and general requirements for tests
- 4.101 Other test methods
- 4.102 Acceptance criteria
- 5 Classification
- 6 Identification, marking and documents
- 6.1 Marking on the outside of equipment or equipment parts
- 6.3 Markings of controls and instruments
- 6.8.2* Instructions for use
- 6.101* Test for legibility
- 7 Power input
- 8 Basic safety categories
- 9 Removable protective means
- 10 Environmental conditions
- 10.1 Transport and storage
- 10.2.2 Power supply
- 14 Requirements related to classification
- 20 Dielectric strength
- 21* Mechanical strength
- 21.101 Shock and vibration
- 21.102 Shock and vibration for transport
- 22 Moving parts
- 23 Surfaces, corners and edges
- 24 Stability in normal use
- 26 Vibration and noise
- 33 Infra-red radiation
- 36* Electromagnetic compatibility
- 38 Marking and accompanying documents
- 43* Fire prevention
- 43.101 RGM used in conjunction with oxidants
- 44 Overflow, spillage, leakage, humidity, ingress of liquids, cleaning, sterilization, disinfection and compatibility
- 44.3 Spillage
- 44.7 Cleaning, sterilization and disinfection
- 47 Electrostatic charges
- 48 Biocompatibility
- 50 Accuracy of operating data
- 51 Protection against hazardous output
- 51.101* Measurement accuracy
- 51.102 Total system response time
- 51.103 Indication of gas readings units of measure
- 51.104 Indication of operating mode
- 52 Abnormal operation and fault conditions
- 53 Environmental tests
- 57 Mains parts, components and layout
- 57.3 Power supply cords
- 58 Protective earthing — terminals and connections
- 59 Construction and layout
- 101 Additional requirements specifically related to respiratory gas monitors
- 102 Alarm systems

ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa de Seres Humanos.



Curitiba, 11 de novembro de 2011.

Carmen Caroline Rasera
Pesquisadora Responsável

Prezada Senhora,

Comunicamos que as pendências solicitadas por essa Comissão referente ao projeto de pesquisa intitulado **Análise Quantitativa da Pressão de Dióxido de Carbono Expirada Como Índice Preditivo de Sucesso na Retirada da Ventilação Mecânica Invasiva**, registro no CEP 1011-11, avaliado em reunião plenária em 31 de outubro, foram atendidas e chegou-se ao seguinte parecer: : **foi aprovado** e está de acordo com as normas éticas estabelecidas pela Resolução 196/96 do Ministério da Saúde.

Lembramos que conforme as normas da CONEP/MS o pesquisador deverá enviar ao CEP relatórios trimestrais sobre o andamento do estudo, bem como a qualquer tempo e a critério do pesquisador em caso de relevância. Salientamos ainda, a necessidade de relatório completo ao final do estudo.

Atenciosamente

Prof. Dr. Luiz Antonio Munhoz da Cunha
Coordenador do Comitê de Ética em
Pesquisa de Seres Humanos - HPP

COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA
HOSPITAL PEQUENO PRÍNCIPE



ASSOCIAÇÃO HOSPITALAR DE PROTEÇÃO À INFÂNCIA DR. RAUL CARNEIRO

Hospital Pequeno Príncipe / Hospital de Crianças César Pernetta / Faculdades Pequeno Príncipe / Instituto de Pesquisa Pelé Pequeno Príncipe
Rua Desembargador Motta, 1070 • Curitiba • PR • Brasil • CEP 80.250-060 • tel.: + 55 41 3310.1010 • fax: + 55 41 3225.2291 • info@hpp.org.br
www.pequenoprincipe.org.br • CNPJ: 76.591.569/0001-30 / Inscrição Estadual: isento / Inscrição Municipal: 5.002.035.943-2

