



## Redes bayesianas para eleição da ventilação mecânica no pós-operatório de cirurgia cardíaca

*Bayesian networks for the election of mechanical ventilation after cardiac surgery*

Carolina Napoli Macedo Schenekenberg<sup>[a]</sup>, Andreia Malucelli<sup>[b]</sup>, João da Silva Dias<sup>[c]</sup>,  
Marcia Regina Cubas<sup>[d]</sup>

<sup>[a]</sup> Fisioterapeuta, Mestre em Tecnologia em Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde (PPGTS) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, fisioterapeuta do HRPG, docente do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, Ponta Grossa, PR - Brasil, e-mail: carolnapoli@bol.com.br

<sup>[b]</sup> Doutora em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), docente do Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: malu@ppgia.pucpr.br

<sup>[c]</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), docente da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: joao@joaodias.eng.br

<sup>[d]</sup> Doutora em Enfermagem pela Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo (EEUSP), docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia em Saúde (PPGTS) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: m.cubas@pucpr.br

---

### Resumo

**Introdução:** A ventilação mecânica no pós-operatório de cirurgia cardíaca pode trazer algumas complicações respiratórias ao paciente. Para minimizar esse risco é necessária a adaptação correta e rápida do ventilador mecânico. A dificuldade para isso está no número expressivo de variáveis para a regulação do ventilador mecânico e na obtenção de todas essas variáveis. Como o período de ventilação mecânica geralmente não ultrapassa 12 horas, esse tempo deve ser otimizado para que o paciente possa estar em ventilação espontânea o mais rapidamente possível. **Objetivos:** Este trabalho propõe o uso de redes bayesianas (RB) para auxiliar o profissional no momento da decisão, agilizando o atendimento dos pacientes. **Materiais e métodos:** Para o desenvolvimento da RB fez-se necessário o uso de uma base de dados com casos clínicos, a qual se constituiu de 137 casos. A avaliação foi realizada por meio das medidas de validade operacionais de instrumentos, tabelas de contingência e curvas ROC. **Resultados:** Mostraram que a RB

desenvolvida apresentou um adequado desempenho para a eleição da modalidade e parâmetros ventilatórios. **Conclusão:** Os resultados com a RB foram semelhantes aos indicados pela literatura, mostrando assim uma compatibilidade entre o raciocínio humano e o computacional.

**Palavras-chave:** Inteligência artificial. Rede bayesiana. Ventilação mecânica. Cirurgia cardíaca.

### Abstract

**Introduction:** Mechanical ventilation in postoperative cardiac surgery can bring some respiratory complications for the patient. To minimize this risk is necessary for proper and rapid mechanical ventilator. The difficult for that is the large number of variables for adjusting the mechanical ventilator and getting all these variables. As the period of mechanical ventilation, usually not exceed 12 hours, this time must be optimized so that the patient may be in spontaneous ventilation as soon as possible. **Objectives:** This paper proposes the use of Bayesian Networks to assist the professional in the making decision, speeding up the patients care. **Materials and methods:** The development of the RB used a database composed of 137 clinical cases. The evaluation was performed by the instruments operational validity measurement, contingency tables and ROC curves. **Results:** RB presented an adequate performance for the election of the ventilatory modes and parameters. **Conclusion:** The results applying RB were similar to those suggested by the literature, showing consistency between computational and human reasoning.

**Keywords:** Artificial intelligence. Bayesian network. Mechanical ventilation. Cardiac surgery.

## Introdução

Na maioria das vezes, os pacientes em pós-operatório de cirurgia cardíaca necessitam de atenção especial em relação ao sistema respiratório. Habitualmente, esses pacientes fazem uso de ventilação mecânica, pelo fato de estarem sob efeitos de anestésicos, pelas repercussões sistêmicas da técnica cirúrgica e pelo uso de circulação extracorpórea (CEC) durante a cirurgia.

A CEC é indispensável na maioria das cirurgias cardíacas, sendo responsável pelo grande avanço nessa especialidade (1). Durante o emprego da CEC, os pulmões não estão realizando suas funções, pois toda a oxigenação é realizada pela máquina. Isso significa que durante a cirurgia os pulmões encontram-se parcial ou totalmente colapsados (2). Partindo dessa premissa, o comprometimento da função pulmonar é evidente. Além da redução significativa que a CEC proporciona aos pulmões, Guizilini et al. (3) destacam como efeito deletério do uso da CEC a indução de uma resposta inflamatória. Essa resposta inflamatória produz o aumento da permeabilidade endotelial e da lesão parenquimatosa pulmonar, contribuindo para o surgimento de atelectasias, do aumento do *shunt* pulmonar e da redução da complacência e troca gasosa (3, 4).

Além da CEC, os sedativos, que são rotineiramente utilizados em pacientes cirúrgicos ou em terapia intensiva, também interferem no sistema respiratório do paciente. Um dos principais objetivos da anestesia geral é a perda da percepção e o bloqueio da resposta geral ao estímulo. Com isso, ao ser submetida à anestesia geral, a pessoa perde a capacidade de contração da musculatura esquelética e das respostas autônomas (5). Vieira (6) coloca esses fatores como sendo os motivadores da necessidade de ventilação mecânica com entubação traqueal, como resultado do impedimento de qualquer esforço ventilatório por parte do paciente.

A assistência ventilatória mecânica representa parte fundamental dos cuidados pós-operatórios, pois alterações pulmonares têm sido descritas desde os primórdios da cirurgia cardíaca e possuem incidência elevada. Um grande número de pacientes submetidos à cirurgia cardíaca é admitido na Unidade de Terapia Intensiva (UTI), sob efeito de anestésicos, e necessitam de ventilação mecânica por curto período de tempo, que varia de 2 a 6 horas (6, 7).

Para o sucesso da ventilação do paciente no pós-operatório é necessário levar em consideração fatores importantes desse tipo de cirurgia, como a função pulmonar pré-operatória, o tipo e o tempo de manipulação cirúrgica, o uso de CEC, o número

de drenos, as alterações de débito cardíaco e a função do ventrículo esquerdo (7). Todos esses fatores podem interferir na função pulmonar do paciente, causando alterações pulmonares e prejudicando o pós-operatório.

As alterações pulmonares comumente encontradas na literatura (2, 8, 9) e na prática clínica, referentes à cirurgia cardíaca, são a hipoxemia, a atelectasia e o edema intersticial alveolar. Para evitar essas alterações, são comuns os serviços de cirurgia cardíaca e terapia intensiva utilizarem protocolos de ventilação mecânica para o pós-operatório de cirurgia cardíaca. São encontrados na literatura diversos protocolos, como o protocolo da Universidade de Campinas (10), o protocolo descrito no Critical Care (11), o do Hospital Universitário Clementino Fraga, do Rio de Janeiro (1997), o do Instituto do Coração de São Paulo (Incor) (12) e o do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia (7).

A Universidade de Campinas (Unicamp) utiliza como protocolo do pós-operatório de cirurgia cardíaca iniciar preferencialmente a ventilação mecânica em ventilador a volume. A modalidade deve ser controlada com fração inspirada de oxigênio ( $FiO_2$ ) de 0,9 a 1,0; o volume corrente (VC) deve ser regulado de 12 a 15 mL/kg; a frequência respiratória (FR), de 8 a 12 ipm; e o Peep, de 2 a 5  $cmH_2O$ . Aproximadamente 20 minutos após a regulação inicial do ventilador é necessário coletar exames bioquímicos, em especial a gasometria arterial, para realizar então ajustes necessários na ventilação mecânica (10).

Alguns autores (11) destacam que, para ser iniciada a ventilação do paciente na UTI, deve-se respeitar inicialmente os ajustes utilizados no centro cirúrgico, e apresentam como sugestões de regulação do ventilador utilizar a modalidade assisto-controlada; a  $FiO_2$  de 0,8 a 1,0; o VC de 12 a 15 mL/kg, porém, sem ultrapassar a pressão inspiratória máxima, de 35  $cmH_2O$ ; a FR deve ser suficiente para gerar volume minuto de 120 mL/kg; e o fluxo inspiratório deve estar entre 30 e 40 L/min.

Desde 1997, o Hospital Universitário Clementino Fraga, do Rio de Janeiro, disponibiliza as rotinas do serviço para uso interno, entre elas está um guia de manuseio do paciente em pós-operatório de cirurgia cardíaca, destacando-se a assistência ventilatória. Nesse serviço é utilizada como modalidade ventilatória a modalidade controlada; o VC é calculado com valores de 8 a 10 mL/kg; a  $FiO_2$  é igual a 1,0; a FR, de 10 a 14 ipm; e a Peep, de 3 a 5  $cmH_2O$ . Essa

regulagem é utilizada até a superficialização anestésica, passando então para ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) com ventilação com pressão de suporte (PSV), sendo a FR e a pressão de suporte (PS) reduzidas gradativamente.

De acordo com o Incor (12), inicialmente o ventilador mecânico deve estar regulado na modalidade assisto-controlada a volume, com parâmetros de FR de 12 ipm;  $FiO_2$  de 0,6; VC de 8mL/kg; Peep de 5  $cmH_2O$  e pressão de suporte (PS) de 10  $cmH_2O$  no modo SIMV. Após a instalação da ventilação mecânica no paciente, são solicitadas a avaliação clínica, a radiografia de tórax e a gasometria, para então seguir o protocolo até o desmame e a extubação.

O Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia (7) utiliza como parâmetros iniciais a  $FiO_2$  de 0,4; FR de 12 a 14 ipm; VC de 10 a 12 mL/kg; e Peep de 3 a 5  $cmH_2O$ .

Observa-se que as variáveis citadas pelos protocolos apresentam grande variação na indicação de uso. Consequentemente, variáveis importantes a serem avaliadas durante a eleição da modalidade ventilatória não estão presentes em alguns protocolos de serviço, fazendo com que a tomada de decisão clínica seja baseada em incertezas, o que dificulta a ação do profissional.

Como o período de ventilação mecânica no pós-operatório de cirurgia cardíaca geralmente não ultrapassa 12 horas, esse tempo deve ser otimizado para que mais rapidamente possível o paciente possa estar em ventilação espontânea. Para isso, acredita-se que, reduzindo o número de variáveis, o profissional levará menos tempo para a escolha e esta será mais assertiva, pois será baseada em variáveis previamente selecionadas. Além disso, sistemas computacionais que utilizam técnicas da inteligência artificial (IA) podem ser utilizados para auxiliar os profissionais na eleição da modalidade e parâmetros ventilatórios.

A IA é utilizada na área da saúde na tentativa de minimizar a imprecisão da decisão clínica do especialista, reduzindo a incerteza dos dados. Uma das técnicas de IA que pode ser utilizada com esse intuito é a das redes bayesianas (RB). Essa técnica utiliza a probabilidade para auxiliar o profissional no momento da decisão. Outra característica importante da RB é a capacidade de apresentar ao profissional um resultado, mesmo que o número de variáveis de entrada utilizada seja restrito. Além disso, permite que novos casos sejam inseridos na RB a qualquer momento (13).

Nesse contexto, a RB pode ser uma técnica eficaz em ventilação mecânica, em que muitas vezes existem dados imprecisos. Neste trabalho propõe-se o uso da RB para apoiar o profissional da saúde no momento da eleição do modo e parâmetros ventilatórios para o paciente em pós-operatório de cirurgia cardíaca.

### Redes bayesianas

A rede bayesiana (RB) é um modelo de representação do conhecimento que trabalha com o conhecimento incerto e incompleto, por meio da Teoria da Probabilidade Bayesiana, e utiliza o conhecimento do especialista para representá-lo de forma computacional (13).

Sendo um método probabilístico, a RB apresenta resultados positivos no tratamento das incertezas. Assim, cresce o interesse por sistemas computacionais que empregam a RB para auxiliar na tomada de decisão, podendo ser utilizados no diagnóstico de enfermidades ou mesmo no treinamento durante a formação de profissionais da saúde. Dessa forma, a RB tornou-se uma ferramenta importante na representação do conhecimento e inferência sob condições de incerteza (14).

A RB representa a incerteza no conhecimento por meio de grafos acíclicos e direcionados, que representam as dependências probabilísticas entre diversas variáveis (13). É um formalismo que mistura a teoria dos grafos e a teoria da probabilidade e é composto de uma parte qualitativa e outra quantitativa.

### Parte qualitativa da RB

A parte qualitativa da RB representa com nós as dependências que correspondem às variáveis do sistema e seus valores, ligados por arcos direcionados (15). Assim, um arco ligando as variáveis A e B ( $A \rightarrow B$ ), indica que a variável B é a consequência e a variável A é a causa, em uma relação de dependência. A parte qualitativa estrutura o conhecimento antes de qualquer probabilidade numérica ser determinada.

### Parte quantitativa da RB

A parte quantitativa da RB representa os coeficientes das probabilidades condicionais estimadas

de cada valor, *a priori*, das hipóteses diagnósticas. Ela apresenta a probabilidade de o paciente satisfazer um determinado critério (15), podendo ser obtida de duas formas: inserção direta das probabilidades nas tabelas de probabilidades condicionais (TPC) pelos especialistas; ou inserção dos casos diretamente de uma base de dados, nessa situação diz-se que a RB aprende com os casos.

Na área médica, uma RB poderia ser utilizada para determinar probabilisticamente a modalidade ventilatória utilizada para ventilar um paciente em pós-operatório, sendo, por exemplo, os nós de entrada os dados clínicos do paciente, os quais estariam relacionados, por meio dos arcos, com o nó de saída da modalidade ventilatória.

Para se obter uma RB a partir de um conjunto de dados é necessário determinar sua estrutura, graças à grande quantidade de RBs que podem ser originadas a partir de um pequeno número de dados (14). A aprendizagem da RB descobre os relacionamentos entre as variáveis e a força desses relacionamentos. O processo de aprendizado é dividido em duas classes principais (16):

- *algoritmo baseado na busca heurística*: dependente do processo de aprendizagem em relação à ordenação de variáveis;
- *algoritmo baseado no conceito de independência condicional*: define a direção e o sentido dos arcos, por meio da identificação das variáveis que são condicionalmente independentes.

É importante se ter um mecanismo consistente para a ordenação da RB, pois da mesma forma que melhora o processo de aprendizado pode inserir erros na RB (14). Para avaliação da parte qualitativa e da parte quantitativa da RB são utilizadas medidas de validade operacionais de instrumentos (17), as quais identificam o acerto da RB.

### Materiais e métodos

Trata-se de uma pesquisa descritiva, aplicada e avaliativa, operacionalizada em seis fases. As fases de levantamento e seleção das variáveis, elaboração da base de casos clínicos e concepção do padrão ouro são classificadas como descritivas; a fase de construção da RB é classificada como aplicada; e a fase de avaliação da RB é classificada como avaliativa.

Para melhor compreensão do trabalho, faz-se necessário o entendimento do cenário de pesquisa, bem como do processo de trabalho utilizado.

### Caracterização do cenário

A pesquisa teve como cenário a Unidade de Terapia Intensiva (UTI) de um hospital geral localizado no interior do Estado do Paraná. A UTI estudada realiza o atendimento de pacientes adultos no pós-operatório de cirurgia cardíaca e está classificada de acordo com a Portaria n. 466/MS/SVS, de 04 de junho de 1998, como de porte IV, com parceria da Secretaria de Saúde do Estado do Paraná (Sesa), por meio da Central Estadual de Regulação do Sistema Único de Saúde.

A UTI para adultos possui 15 leitos equipados com monitores, respiradores, bombas de infusão, entre outros equipamentos, para o suporte dos pacientes no pós-operatório de cirurgia cardíaca e possui pessoal treinado e habilitado para o atendimento desses pacientes.

### Descrição do processo de atendimento

O processo de atendimento do paciente em pós-operatório de cirurgia cardíaca na UTI estudada é descrito a seguir.

- 1) Assim que o paciente é transferido do centro cirúrgico para a UTI, são solicitados exames bioquímicos e é realizada uma avaliação tanto da mecânica ventilatória (creatinina, tempo de ativação plaquetária, plaquetas, eletrocardiograma, balanço hídrico, pressão arterial de gás carbônico, hemoglobina, glicemia, saturação de oxigênio, relação pressão parcial de oxigênio e fração inspirada de oxigênio) quanto dos sinais clínicos do paciente (frequência respiratória, temperatura, frequência cardíaca, pressão arterial sistêmica, *drive* ventilatório, pressão arterial média, sedação, *glasgow* e drogas vasoativas).
- 2) Após a avaliação, são solicitados os exames bioquímicos e é iniciada a ventilação mecânica. Os exames bioquímicos levam em média 30 minutos para serem recebidos na UTI.
- 3) Após o recebimento do resultado dos exames bioquímicos, é realizado o refinamento da ven-

tilação mecânica, que, de uma maneira geral, se restringe à mudança de alguns parâmetros ventilatórios.

- 4) A partir desse momento, é necessário o acompanhamento (monitoração) do paciente e a verificação de seu estado geral e adaptação com a ventilação mecânica.
- 5) Estando o paciente estável, é iniciado o processo de desmame da ventilação mecânica, aspecto que, neste trabalho, não será abordado.

### Fases do trabalho

Para a operacionalização do projeto, este foi dividido em cinco fases, as quais são descritas a seguir.

#### Fase 1 - Levantamento e seleção das variáveis

O levantamento das variáveis necessárias para a elegibilidade do melhor modo de ventilação mecânica e dos parâmetros ventilatórios, com base no quadro clínico do paciente, foi realizado por meio de consultas a dez profissionais (seis médicos, três fisioterapeutas e uma enfermeira) da área de cardiologia e terapia intensiva; pesquisa em livros e consensos em ventilação mecânica; e estudo de protocolos de serviços de referência em cardiologia.

Foi contabilizado um total de 62 variáveis, as quais foram agrupadas em classes nomeadas de acordo com a característica de utilização. Essas variáveis foram analisadas por profissionais, que selecionaram as consideradas essenciais e indicaram o grau de importância. Considerou-se variável essencial as selecionadas por mais de 80% dos profissionais e que apresentaram grau de importância também maior que 80%.

Todos os profissionais possuíam atuação superior a cinco anos na área de terapia intensiva, com participação direta e/ou indireta na monitoração dos pacientes críticos, por prontuários e/ou acompanhamento ventilatório e estado do paciente.

#### Fase 2 - Elaboração da base de casos clínicos

Para o desenvolvimento e avaliação da RB faz-se necessária a elaboração de uma base de casos

clínicos. Com o intuito de se ter casos reais, foi solicitada a base de dados, com casos clínicos da UTI estudada, a qual foi manipulada por funcionários do hospital, que forneceram uma base de dados secundária. Dessa base de casos foram utilizados 137 registros referentes ao pós-operatório de cirurgia cardíaca, entre 2006 e 2008.

Algumas dessas variáveis, principalmente as relacionadas à ventilação mecânica, estavam ausentes, por não ser rotina do serviço o registro desses dados. Foi necessário então o preenchimento dos valores ausentes para ser possível o treinamento, testes e avaliação da RB. Esse preenchimento foi realizado pelos especialistas.

### Fase 3 - Concepção do padrão ouro

Dos 137 casos da base de casos clínicos, foram selecionados 30 casos de maneira aleatória, para a concepção do padrão ouro (PO), repassados para quatro especialistas (envolvidos na fase 1), que analisaram os casos apresentados. A resposta para os casos clínicos foi realizada de maneira isolada por especialista. Posteriormente, os casos foram analisados, sendo selecionados os que não apresentavam as mesmas respostas. Foram então reunidos novamente os especialistas, que dessa vez discutiram em conjunto os casos clínicos selecionados e chegaram a um consenso em relação a cada caso.

Os especialistas selecionados para participar dessa etapa atuavam há mais de dez anos na área de terapia intensiva, possuíam o título de médico especialista e participação direta na monitoração dos pacientes críticos e acompanhamento ventilatório.

### Fase 4 - Construção da RB

Para a elaboração tanto da parte qualitativa quanto da parte quantitativa foi utilizado o Shell Netica. Para a criação da parte qualitativa da RB foram inseridas as 30 variáveis essenciais, com as faixas de valores correspondentes. Já para a inserção no Shell Netica foram agrupadas as seis variáveis relacionadas a modalidades ventilatórias em uma variável denominada modalidade.

A parte quantitativa foi criada com os 107 registros da base de casos clínicos, sendo retirados os casos utilizados para o PO.

### Fase 5 - Avaliação da rede bayesiana

A avaliação foi realizada por meio das medidas de validade operacionais de instrumentos e foram criadas as tabelas de contingência ou tabela  $2 \times 2$  (17).

Para a construção da tabela  $2 \times 2$  foi necessária a comparação dos 107 casos clínicos da RB com os 30 casos clínicos do PO. Foi gerada uma tabela denominada "tabela\_PO  $\times$  RB\_ variável estudada", na qual foram avaliados os resultados gerados pela RB e comparados com o PO. Foi considerado o valor 1 quando a variável era encontrada tanto no caso clínico da "tabela\_PO  $\times$  RB" como no caso clínico do PO; e valor 0 quando haviam resultados diferentes entre a "tabela\_PO  $\times$  RB" e o PO da variável estudada.

Os valores resultantes da comparação foram transportados ao *software* MedCalc®. Esse *software* foi utilizado para a elaboração da *receiver operating characteristic curve* (curva ROC) e obtenção do ponto de corte (18). Com isso, pode-se verificar o grau de acerto da RB.

## Resultados e discussão

Os resultados foram organizados de acordo com os passos metodológicos: resultados referentes às variáveis essenciais; descrição da parte qualitativa da RB; descrição da parte quantitativa da RB; avaliação das RBs modalidade e parâmetros ventilatórios e da sensibilidade de cada nó de saída em relação aos nós de entrada.

### Variáveis essenciais

Foram selecionadas 35 variáveis como sendo essenciais à prática da ventilação mecânica, as quais foram distribuídas em classes denominadas: sinais clínicos (SC), exames bioquímicos (EB), mecânica respiratória (MR), ventilação mecânica (VM).

A partir da seleção das variáveis foi possível verificar que 27 variáveis das 62 citadas pela literatura, principalmente pelo II e III Consensos Brasileiro de Ventilação Mecânica, não são utilizadas no cenário descrito. Os profissionais relataram que a falta de tempo hábil, de equipamentos e de materiais foram fatores que justificaram o não uso da variável.

A redução do número de variáveis faz com que a escolha da técnica e parâmetros ventilatórios realizada

pelo profissional diminua a possibilidade de erros, apoie o profissional na tomada de decisão e, conseqüentemente, aumente a agilidade do processo.

As variáveis consideradas essenciais para a eleição do melhor modo e parâmetros ventilatórios para o pós-operatório de cirurgia cardíaca foram utilizadas para a construção da parte qualitativa e quantitativa da RB.

#### Parte qualitativa da RB

A parte qualitativa da RB foi construída com as 30 variáveis essenciais. As variáveis foram divididas em nós de entrada e nós de saída, sendo 24 nós de entrada e 6 nós de saída. Como existiam seis variáveis correspondentes ao modo ventilatório, estas foram agrupadas em um único nó de saída, denominado modalidade. Isso facilita o manuseio da RB, pois como o paciente utiliza apenas um modo ventilatório não há necessidade de criar nós diferentes para cada variável, como foi feito com as variáveis relacionadas aos parâmetros ventilatórios.

Os nós de entrada correspondentes à avaliação dos sinais clínicos são: FR, temperatura (T), frequência cardíaca (FC), pressão arterial sistólica (PAS), escala de coma de Glasgow, droga vasoativa (DVA), sedação, pressão arterial média (PAM) e *drive* ventilatório. Já os nós de entrada correspondentes aos exames bioquímicos são: creatinina, tempo de ativação de protrombina (TAP), plaquetas, saturação arterial de oxigênio (SatO<sub>2</sub>), relação entre pressão arterial de oxigênio e fração inspirada de oxigênio (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>), balanço hídrico, hemoglobina, eletrocardiograma (ECG), glicemia e pressão arterial de gás carbônico (PaCO<sub>2</sub>).

Temos também os nós de entrada que correspondem à mecânica respiratória, que são: volume corrente (VC), Peep, fluxo inspiratório (fluxoinsp), pressão inspiratória máxima (Pimax) e volume minuto. Já os nós de saída correspondentes à modalidade e parâmetros da ventilação mecânica são: modalidade, frequência respiratória (FR1), volume corrente (VC1), fluxo inspiratório (fluxoinsp1), fração inspirada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>) e Peep (Peep1).

Os nós de entrada são os valores que serão modificados durante a inclusão de cada novo caso clínico. Neste estudo, as variáveis de entrada referem-se aos valores apresentados pelo paciente pós-operatório de cirurgia cardíaca no momento de sua chegada

à UTI, e que irão interferir nos nós de saída. Estes referem-se aos valores da modalidade e parâmetros ventilatórios que serão apresentados pela RB, de acordo com os valores de entrada.

Pode-se dizer que existe uma relação direta entre os nós de saída e os nós de entrada, por exemplo, variáveis como sedação e drogas vasoativas interferem diretamente na eleição da modalidade ventilatória do paciente pós-operatório de cirurgia cardíaca. Pacientes fazendo uso de sedação e/ou altas doses de drogas vasoativas têm como indicação o uso de modos ventilatórios controlados, pois, além de não apresentarem autonomia respiratória, apresentam instabilidade hemodinâmica.

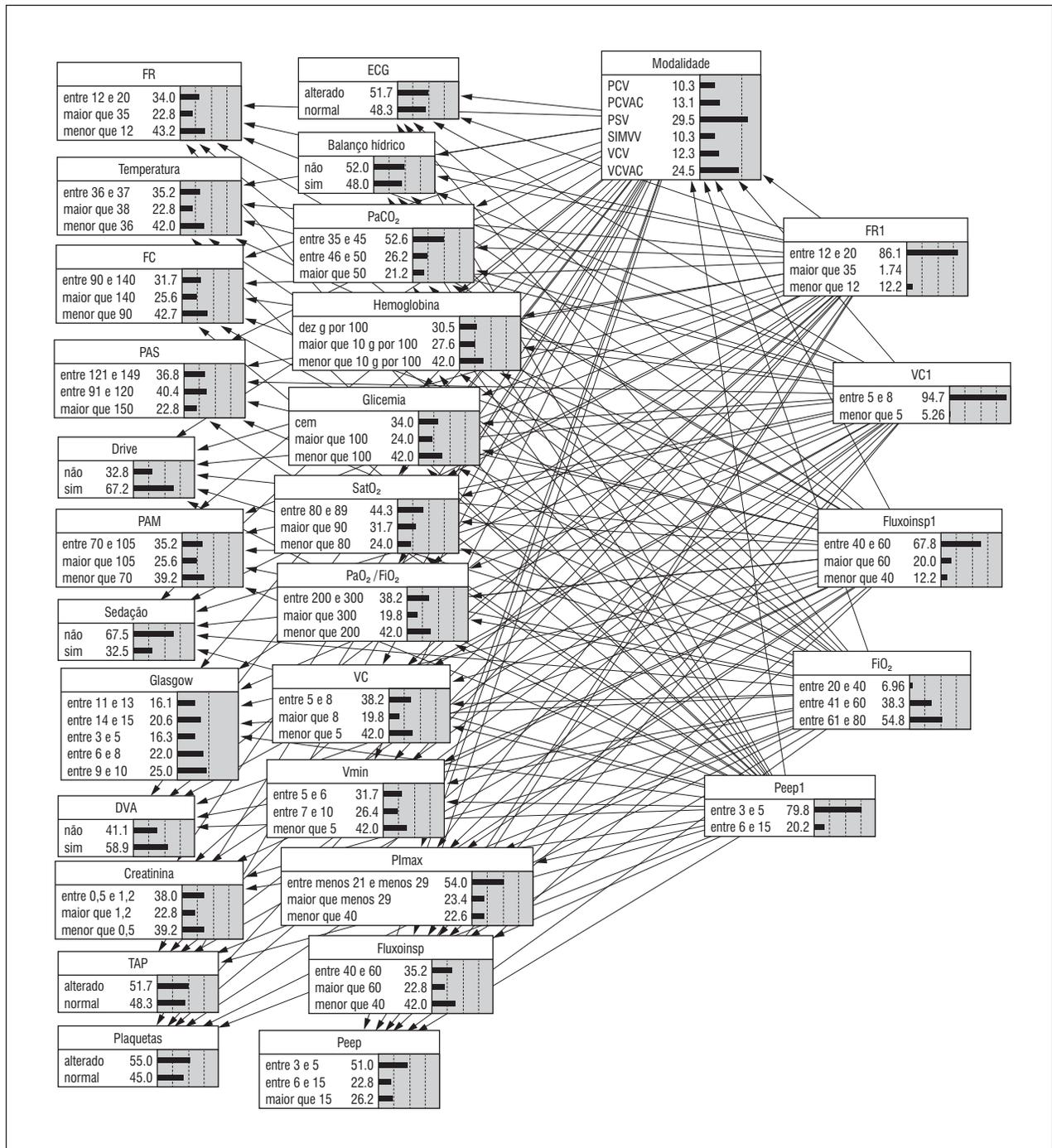
A parte qualitativa da RB apresenta os nós de entrada referentes às classes de variáveis sinais clínicos, exame bioquímico e mecânica respiratória, assim como os nós de saída referentes aos modos e parâmetros ventilatórios. Os arcos representam o relacionamento entre os nós de entrada e saída. Com a parte qualitativa e a base de casos clínicos foi implementada a parte quantitativa da RB.

#### Parte quantitativa da RB

Para a implementação da parte quantitativa da RB foram utilizados os casos clínicos descritos na metodologia. A representação da parte quantitativa da RB pode ser observada na Figura 1.

Com a parte quantitativa da RB, pode-se analisar o perfil dos pacientes em pós-operatório de cirurgia cardíaca da base de casos clínicos da UTI estudada. Observa-se, no nó modalidade, que em 29,5% dos casos foram utilizados o modo ventilatório pressão de suporte (PSV), sendo essa modalidade recomendada pelo III Consenso de Ventilação Mecânica e pelo protocolo do Incor, como sendo a ideal para o período pós-operatório, principalmente após algumas horas da chegada do paciente na UTI, pois nesse período o paciente já apresenta redução da ação anestésica. Para o período imediato à chegada do paciente na UTI é recomendado o modo assisto-controlado.

Nos nós de saída referentes a parâmetros observa-se que a faixa de valores do nó frequência respiratória (FR1) entre 12 e 20 ipm representou 86,1% dos casos; o nó volume corrente (VC1) nos valores entre 5 e 8 L/min representou 94,7% dos casos; o fluxo inspiratório (fluxoinsp1) representou 67,8% de utilização nos valores entre 40 e 60



**Figura 1** - Representação quantitativa da rede bayesiana

Fonte: Dados da pesquisa.

L/min; a Peep1 representou 79,8% de uso entre 3 e 5 cmH<sub>2</sub>O; e a fração inspirada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>) entre 61 e 80% representaram 54,8% dos casos.

Protocolos de serviços de referência, como o Incor, utilizam valores para os parâmetros de ventilação mecânica semelhantes aos encontrados com a RB. No Incor são utilizados valores iniciais de VC em

torno de 8 mL/kg, sendo reduzidos assim que possível para até 4 ou 5 mL/kg; FR igual a 12 ipm; FiO<sub>2</sub> menor que 60%; Peep com valores em torno de 5 cmH<sub>2</sub>O; e uma pressão de suporte de 10 cmH<sub>2</sub>O, tanto para o modo PSV como para o modo SIMV (12). Isso mostra que a RB apresenta um bom desempenho, pois os mesmos resultados mostrados pela literatura foram

encontrados na RB, tornando-se uma boa técnica para apoiar e agilizar a decisão médica (19).

### Avaliação da RB

Para a avaliação do desempenho da RB foi comparado o padrão ouro (PO) com os resultados gerados pela RB (20). Para tal avaliação foram realizados os seguintes cálculos: sensibilidade, especificidade, probabilidade de falso negativo (PFN), probabilidade de falso positivo (PFP) e valores preditivos positivo e negativo (VPP, VPN) (21, 22). Para a realização desses cálculos foi necessária a criação das tabelas  $2 \times 2$  para cada nó de saída, que mostra o número de acertos da RB com relação ao PO.

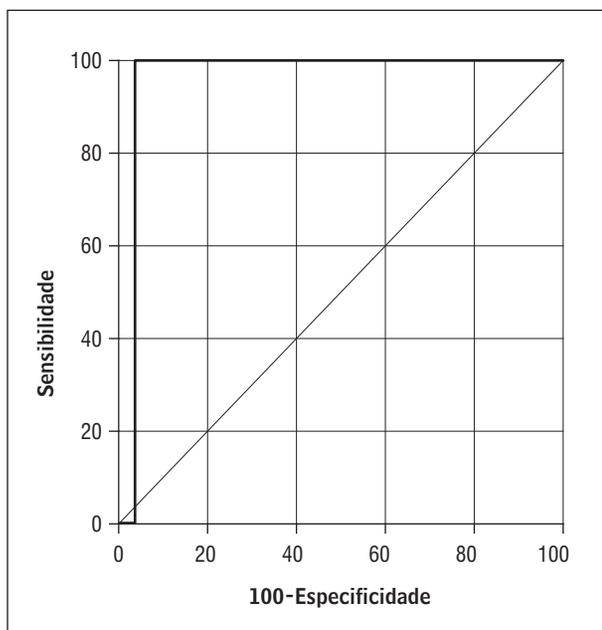
Os resultados dos 30 casos do PO apresentados pela RB foram inseridos no *software* MedCalc®, o qual gerou valores referentes aos testes diagnósticos. A RB alcançou valor ótimo para a especificidade, indicando que a RB não utiliza a modalidade VCVAC, quando esta realmente não é utilizada. Dos 26 casos em que a RB indicou o não uso da modalidade, todos corresponderam ao PO.

Observando-se, porém, a sensibilidade da RB para o nó de saída VCVAC nota-se que a RB indicou o uso da modalidade para quatro casos clínicos, enquanto o PO indicou apenas três. Para melhorar a sensibilidade da RB é preciso aumentar o número de casos clínicos com indicação para o uso da modalidade VCVAC.

Foram realizados, com o *software* MedCalc® (23), os testes diagnósticos para todos os nós de saída e serviram como base para gerar as curvas ROC e os pontos de corte para cada nó de saída.

Para o nó de saída modalidade foram geradas seis curvas ROC, uma para cada modo ventilatório contido nesse nó, e ainda cinco curvas ROC para cada nó de saída referente aos parâmetros ventilatórios, totalizando 11 curvas ROC. O Gráfico 1 representa a curva ROC para o nó de saída modalidade VCVAC.

O Gráfico 1 mostra a curva muito próxima do ponto ótimo, que é o ponto onde os valores de especificidade e sensibilidade atingem 1. Na curva ROC do nó de saída modalidade VCVAC nota-se que houve a discordância entre alguns casos da RB e do PO, pois a especificidade está um pouco afastada do zero, fazendo com que a curva se afaste do ponto ótimo, porém, o desempenho da RB foi adequado, pois a maioria dos casos da RB estão de acordo com o PO.



**Gráfico 1** - Curva ROC do nó de saída, modalidade VCVAC versus PO

Fonte: Dados da pesquisa.

### Avaliação da sensibilidade dos nós de saída em relação aos nós de entrada

A avaliação da sensibilidade das variáveis de entrada para cada variável de saída foi realizada com o auxílio do Shell Netica, sendo geradas tabelas de sensibilidade para cada nó de saída.

Ao analisar o comportamento das variáveis, foi possível observar qual delas interfere mais na determinação do valor do nó de saída. A Tabela 1 mostra que o valor da sensibilidade da variável  $\text{PaCO}_2$  é 0,1563, o que significa que a indicação da modalidade ventilatória está intimamente relacionada com essa variável.

Takeuchi (24) já relata que os valores de  $\text{PaCO}_2$  podem determinar a modalidade ventilatória no momento da indicação da ventilação mecânica em pacientes no período pós-operatório. Da mesma forma, Alvarez (25), o III Consenso de Ventilação Mecânica (26) e o II Consenso de Ventilação Mecânica (27) apontam o resultado do exame como um dos fatores que interferem na regulação da ventilação mecânica.

A variável Pimáx, com valor de sensibilidade 0,14, aparece na segunda linha da Tabela 1, o que significa que é a segunda variável que mais interfere na determinação do valor do nó de saída. Entretanto, cabe ressaltar que essa variável não aparece entre

as mais importantes na literatura pesquisada. Isso pode ser explicado pelo fato de alguns pacientes já chegarem à UTI com certa autonomia ventilatória, o que torna a força dos músculos inspiratórios uma variável importante para a determinação da modalidade ventilatória. Como um exemplo desse caso, se um paciente apresenta *drive* ventilatório preservado, porém fraqueza da musculatura inspiratória (diafragma e intercostais), esse paciente não sustentará a ventilação espontânea e será necessária a escolha de um modo controlado de ventilação.

Nota-se, ainda, na Tabela 1, que alguns valores, como da variável creatinina, aparecem com o valor muito baixo, indicando pouca influência na eleição da modalidade ventilatória. Isso ocorre porque, quando há alteração nos valores da creatinina, não há alteração na ventilação, não havendo necessidade de mudança da modalidade ventilatória. Contudo, essa variável é relevante para eleição da modalidade quando não ocorre resposta satisfatória ao seu tratamento, ocasionando complicações da ventilação.

Como parte dos resultados da avaliação dos nós de saída em relação aos nós de entrada, obteve-se a classificação das variáveis de entrada em ordem crescente de sensibilidade, denominada "Rank".

Para o nó de saída "fluxoinsp1" (Tabela 2), a classe que teve maior relevância foi a classe exames bioquímicos (EB), com 29,62%, seguida de mecânica respiratória (MR), com o valor muito próximo de 29,05%. O fluxo inspiratório é dependente do grau de esforço muscular respiratório, ou seja, um fluxo baixo representa maior esforço do paciente para a realização da inspiração. Sendo assim, pode-se justificar a maior importância para as variáveis da classe mecânica respiratória (24).

Entre o grupo de exames bioquímicos, a PaCO<sub>2</sub> é inversamente proporcional à ventilação alveolar e esta por sua vez determina o fluxo com o tempo inspiratório. A PaCO<sub>2</sub> aumentada gera a diminuição da ventilação alveolar e redução do fluxo inspiratório (24). Além da PaCO<sub>2</sub>, a hemoglobina também determina o fluxo inspiratório, pois as concentrações muito baixas de hemoglobina podem levar a um aumento do fluxo inspiratório pela presença de hipoxemia.

Para o nó modalidade, a classe de sinais clínicos (SC) na coluna do "Rank" (Tabela 3) representa 38,05% de interferência na eleição da modalidade, sendo então as variáveis relacionadas aos sinais clínicos as de maior relevância durante a eleição da modalidade ventilatória para o pós-operatório de

cirurgia cardíaca. Esse resultado é apoiado pelo protocolo do Incor, que coloca como prioridade na avaliação da ventilação mecânica no pós-operatório a avaliação clínica seguida de gasometria (12).

**Tabela 1** - Tabela de sensibilidade do nó de saída modalidade

Sensibilidade da 'modalidade'	
Variável	Sensibilidade
PaCO <sub>2</sub>	0,1563
Pimáx	0,14358
Peep	0,12903
Fluxoinsp1	0,09246
SatO2	0,08456
PAM	0,06882
Hemoglobina	0,06394
FC	0,0584
Creatinina	0,04981
...	...

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 2** - Avaliação da sensibilidade para o nó de saída fluxoinsp1

Fluxoinsp1			
Classe	N. var	% Var	Rank
EB	8	26,67	29,62
MR	5	16,67	29,05
SC	11	36,66	27,30
VM	6	20	14,03
	30	100	100

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 3** - Avaliação da sensibilidade para o nó modalidade

Classe	N. var	% Var	Rank
EB	8	26,67	24,26
MR	5	16,67	19,48
SC	11	36,66	38,05
VM	6	20	18,19
	30	100	100

Fonte: Dados da pesquisa.

Na avaliação dos nós de saída FiO<sub>2</sub>, FR1 e VC1, a maior influência também é da classe SC, o que mostra que os sinais clínicos possuem maior importância durante a avaliação. Os protocolos utilizados na pesquisa e o III Consenso de Ventilação Mecânica já relatam que o exame físico do paciente interfere diretamente na escolha da ventilação mecânica, tanto para a modalidade quanto para os parâmetros ventilatórios.

## Conclusões

Foi observado que muitas variáveis citadas pela literatura como necessárias para a eleição de modalidade e parâmetros ventilatórios não são utilizadas na prática clínica. Para o cenário estudado, foi encontrada como justificativa a falta de equipamentos, de materiais e de tempo hábil para a coleta das variáveis.

A falta de tempo se deve à grande quantidade de pacientes na UTI e à alta complexidade destes. Isso impossibilita o uso de todas as variáveis, sendo necessária uma seleção das consideradas essenciais. Contudo, encontrou-se uma diversidade de protocolos de uso de ventilação mecânica em pós-operatório de cirurgia cardíaca, com uma disparidade em relação a quais variáveis devem ser utilizadas. Este estudo propõe variáveis essenciais para a eleição de modalidades e parâmetros ventilatórios.

Com o estudo foi possível, também, analisar a importância e a prioridade das variáveis essenciais na eleição da modalidade e parâmetros ventilatórios. Assim, é possível que a avaliação do paciente e a tomada de decisão sejam mais assertivas, reduzindo o tempo gasto e padronizando as decisões.

A análise dos resultados mostrou que a RB desenvolvida nesta pesquisa apresentou um adequado desempenho para a eleição da modalidade e parâmetros ventilatórios. Os resultados com a RB foram muito semelhantes aos resultados indicados pela literatura, mostrando assim uma compatibilidade entre o raciocínio humano e o computacional. A RB pode ser utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão (29) para os profissionais da saúde, podendo o seu uso nas rotinas clínicas agilizar o atendimento dos pacientes, pois auxiliarão o profissional no momento de tomada de decisão sobre qual a modalidade mais adequada.

Cabe ressaltar que a RB é um suporte à decisão do profissional e em nenhum momento substituirá

o especialista (30). Isso pode ser destacado neste trabalho com os resultados que indicam o grupo das variáveis de sinais clínicos como o grupo de maior importância na escolha do modo e parâmetros ventilatórios. Sabe-se que os sinais clínicos são variáveis que exigem a presença do profissional junto ao paciente para a sua verificação. Dessa forma, fica explícita a importância da permanência do profissional na UTI e a avaliação à beira do leito.

Graças ao aumento do número de cirurgias cardíacas no Brasil e às particularidades desses pacientes no período pós-operatório, há necessidade de pesquisas na área de ventilação mecânica em cirurgia cardíaca. Sugere-se a inclusão de um capítulo sobre cirurgia cardíaca, no Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica, porque atualmente este não contempla especificidades da área.

## Referências

1. Brasil LA, Mariano JB, Santos FM, Silveira AL, Melo N, Oliveira NG, et al. Revascularização do miocárdio sem circulação extracorpórea: experiência e resultados iniciais. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2000;15(1):6-15.
2. Pryor JA, Webber BA. *Fisioterapia para problemas respiratórios e cardíacos.* 2a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2002.
3. Guizilini WJ, Gomes WJ, Faresin SM, Bolzan DW, Alves FA, Catani R, et al. Avaliação da função pulmonar em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio com e sem circulação extracorpórea. *J Vasc Bras.* 2005;(3):310-6.
4. Wachter SB, Johnson K, Albert R, Syroid N, Drews F, Westenskow D. The evaluation of a pulmonary display to detect adverse respiratory events using high resolution human simulator. *J Am Med Inform Assoc.* 2006;13(6):635-42.
5. Gomes W, Paez RP, Alves FA. Revascularização da artéria marginal com uso da artéria torácica interna direita pediculada retroaórtica sem circulação extracorpórea. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2005;17(1):33-8.
6. Vieira JE, Silva B, Garcia D. Padrões de ventilação em anestesia. Estudo retrospectivo. *Rev Bras Anestesiol.* 2002;52:756-63.
7. Drummond GB. The abdominal muscles in anesthesia and after surgery. *Br J Anaesth.* 2003;91(1):73-80.

8. Malbouisson LMS, Brito M, Carmona MJC, Auler JOC. Impacto hemodinâmico de manobra de recrutamento alveolar em pacientes evoluindo com choque cardiogênico no pós-operatório imediato de revascularização do miocárdio. *Rev Bras Anestesiologia*. 2008;58:112-23.
9. Umeda IIK. Manual de fisioterapia na cirurgia cardíaca. São Paulo: Manole; 2004.
10. Renault JA, Costa-Val R, Rossetti MB. Fisioterapia respiratória na disfunção pulmonar pós-cirurgia cardíaca. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008;23(4):562-69.
11. Ambrozini ARP, Cataneo AJM. Aspectos da função pulmonar após revascularização do miocárdio relacionados com risco pré-operatório. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2005;20(4):408-15.
12. Lima RC, Kubrusly LF, Nery AC, Pinheiro BB, Brick AV, Souza DSR, et al. Diretrizes da cirurgia de revascularização miocárdica, valvopatias e doenças da aorta. *Arq Bras Cardiol*. 2004;82(suppl 5):1-20.
13. Prado F. Pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca: guia para intensivistas, anesthesiologistas e enfermagem especializada. São Paulo: Atheneu; 1996.
14. Civetta JM, Taylor RW, Kirby R. *Critical care*. Philadelphia: JB Lippincott Company; 1992.
15. Auler JR, Oliveira E. Pós-operatório de cirurgia torácica e cardiovascular. São Paulo: Artmed; 2004.
16. Russell S, Norving P. *Inteligência artificial*. Rio de Janeiro: Campus; 2004.
17. Mattos NP. Sistema de apoio à decisão para planejamento em saúde. [dissertação]. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2003.
18. Neves HRA. Sistema especialista para determinar elegibilidade e prioridade em transplante de medula óssea. [dissertação]. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2001.
19. Mello LC. Descoberta de conhecimento em banco de dados e RB. [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre; 2001.
20. Traleski R. Otimização de um algoritmo de estimativa de distribuição na tarefa de distribuição de características. [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005.
21. Shortliffe EH, Perreault LE. *Medical informatics: computer applications in health care and biomedicine*. 2nd ed. New York: Springer; 2001.
22. Griner PE. Selection and interpretation of diagnostic tests and procedures. *Annals of Internal Medicine*. *Ann Intern Med*. 1981;94:555-600.
23. Medcalc®: versão 8.1.1.0 demo. Windows 98/NT/Me/2000/XP. Copyright© 1993-2007 Frank Schoonjans. [acesso em 15 jun. 2007]. Disponível em: <http://www.medcalc.br>
24. Takeuchi M, Sedeek KA, Schettino GPP, Suchodolski K, Kacmarek RM. Peak pressure during volume history and pressure-volume curve measurement affects analysis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164(7):1225-30.
25. Alvarez CA. Monitorización de la ventilación mecánica: gasometría y equilibrio acidobásico. *Sociedad Española de Cuidados Intensivos Pediátricos*. *An Pediatr Madri*. 2003;59(3):252-85.
26. Alvarez CA. III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. *J Pneumol*. 2007;33(Supl 2):54-70.
27. Alvarez CA. II Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. *J Pneumol*. 2000;26(2):1-68.
28. Scanlan CL, Wilkins RL, Stoller JK. *Fundamentos de terapia respiratória de Egan*. 7th ed. São Paulo: Manole; 2000.
29. Zweig MH, Campbell G. Receiver operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*. 1993;39:561-77.
30. Patmann S, Sandersoni D, Blackmore M. Physiotherapy following cardiac surgery: is it necessary during the intubation period? *Aust J Physiother*. 2001;47(1):7-16.

Recebido: 18/05/2011  
Received: 05/18/2011

Aprovado: 19/06/2011  
Approved: 06/19/2011