
COMPARATIVO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA

M. A. Colantoni*, D. B. de Souza** e J. B. Destro Filho ***

* Graduação em Engenharia Biomédica – Faculdade de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Uberlândia, FEELT/UFU, Uberlândia, Brasil.

** Gestão de Bioengenharia – Hospital de Clínicas de Uberlândia – Universidade Federal de Uberlândia, HC/UFU, Uberlândia, Brasil.

*** Faculdade de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de Uberlândia, FEELT/UFU, Uberlândia, Brasil.

e-mail: marcia_colantoni@yahoo.com.br

Abstract: This paper presents a comparison of the basic operating principles of mechanical ventilation, focusing the performance of flow control valves (medical air and oxygen) in nine mechanical ventilators. Particularly, we analyse the following parameters: Volume Tidal (VT), Volume Minute (VM), Peak Inspiratory Flow (PIF), Peak Inspiratory Pressure (PIP) and Mean Areas Pressure (MAP). Three mechanical ventilators were considered in our study, which used three different brands at the Hospital de Clínicas de Uberlândia, particularly at the Adult Intensive Care Unit (ICU). Calibration and measurements were performed in these equipments at the beginning of April/2011. We constructed tables that list the average values of the errors introduced by equipment in the measurements for the establishment of a performance comparison between different brands of mechanical ventilators, that adopt different flow control approaches. The results were presented in a graph that illustrate the percentage of the average-calibrated equipment found in most parameters assessed.

Palavras-chave: ventilação mecânica, comparação, respirador, descalibração.

Introdução

A ventilação mecânica (VM) ou, como seria mais adequado chamarmos, o suporte ventilatório, consiste em um método de suporte para o tratamento de pacientes com insuficiência respiratória aguda ou crônica agudizada [1].

A VM se faz através da utilização de aparelhos que, intermitentemente, insuflam as vias respiratórias com volumes de ar (volume corrente - VT), os ventiladores mecânicos. O ventilador mecânico é definido como um dispositivo automático conectado às vias aéreas com o objetivo de aumentar ou prover a ventilação do paciente, enquanto o termo respirador é uma

denominação genérica que se destina a designar todo e qualquer equipamento que proporciona ventilação artificial em seres humanos [2].

O movimento do gás para dentro dos pulmões ocorre devido à geração de um gradiente de pressão entre as vias aéreas superiores e o alvéolo, podendo ser conseguido por um equipamento que diminua a pressão alveolar (ventilação por pressão negativa) ou que aumente a pressão da via aérea proximal (ventilação por pressão positiva). Devido à sua maior aplicação na prática clínica, vão ser comentados somente os aspectos relacionados à ventilação com pressão positiva, tanto na forma invasiva como na não invasiva. Neste ar, controla-se a concentração de O₂ (FIO₂) necessária para obter-se uma taxa arterial de oxigênio (pressão parcial de oxigênio no sangue arterial- PaO₂) adequada. Controla-se ainda, a velocidade com que o ar será administrado (pico de fluxo inspiratório - PIF) e também se define a forma da onda de fluxo, por exemplo, na ventilação com volume controlado (VC): “descendente”, “quadrada” (mantém um fluxo constante durante toda a inspiração), “ascendente” ou “sinusoidal” [3].

O número de ciclos respiratórios que os pacientes realizam em um minuto (frequência respiratória – Freq.) será consequência do tempo inspiratório (TI), que depende do fluxo, e do tempo expiratório (TE). O TE pode ser definido tanto pelo paciente (ventilação assistida), de acordo com suas necessidades metabólicas, como através de programação prévia do aparelho (ventilação controlada). O produto da Freq. pelo VT é o volume minuto (VE). Dessa forma, fica claro o que acontece quando fazemos ajustes no aparelho. Por exemplo, se optarmos por ventilar um paciente em volume assistido/controlado, o que temos que definir para o ventilador é o VT e o PIF e, de acordo com a resistência e a complacência do sistema respiratório do paciente, uma determinada pressão será atingida na via aérea. Se, por outro lado, trabalharmos com um ventilador que cicla em pressão, temos que cali-

brar o pico de pressão inspiratória (PPI) e o PIF, avaliando o valor da média da pressão nas vias aéreas (MAP), sendo o VT uma consequência dessa forma de ventilação [4].

Enfim, a ventilação mecânica é um tratamento altamente complexo que pode salvar a vida ou agravar o estado clínico do paciente. Sendo assim, o ventilador mecânico deve ser extremamente preciso, e dessa forma, torna-se necessário avaliar o princípio de funcionamento do mesmo, para que este possa ser utilizado da melhor forma possível garantindo a segurança do paciente que será ventilado mecanicamente [5].

O objetivo deste trabalho é comparar o princípio de funcionamento de três marcas distintas de ventiladores mecânicos, destacando principalmente os sistemas de controle das válvulas de fluxo de gases (ar e oxigênio) que serão inseridos no paciente.

Não serão mencionadas quais são as três marcas que foram avaliadas devido a questões éticas profissionais que envolvem não prejudicar ou beneficiar nenhuma das Empresas das marcas selecionadas, pois esse não é o foco do trabalho.

Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em parceria com a Gerência de Bioengenharia e o Setor de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) Adulto, pertencentes ao Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU).

No setor de UTI Adulto do HCU são utilizadas três marcas principais até a data do presente estudo, aqui denominadas de Marcas “A”, “B” e “C”. A quantidade de equipamento de cada marca presente no setor varia, sendo a menor quantidade de três aparelhos. Assim, foram delimitadas as características para a seleção dos ventiladores mecânicos: três equipamentos de cada marca, sendo três marcas no total, ou seja, serão avaliados nove ventiladores mecânicos de idade semelhante.

Inicialmente foi realizado estudo do princípio de funcionamento geral dos ventiladores mecânicos juntamente com os sistemas de válvulas de fluxo dos ventiladores mecânicos pertencentes as marcas selecionadas para a realização deste trabalho, devido ao enfoque do trabalho. Para tal foram utilizados os manuais de serviço das marcas correspondentes.

O sistema de válvula de fluxo dos ventiladores da Marca “A” pode ser sintetizado pelo esquema apresentado na Figura 1 [6]:

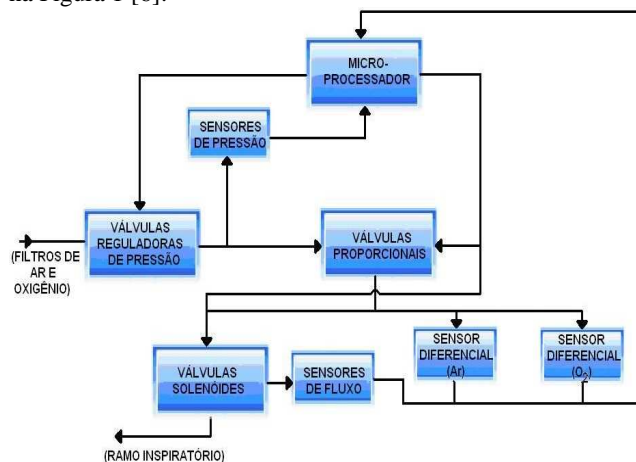


Figura 1: Sistema de Válvulas de Fluxo da Marca “A”.

A Marca “B” possui um sistema de válvula de fluxo equivalente ao apresentado na Figura 2 [7]:

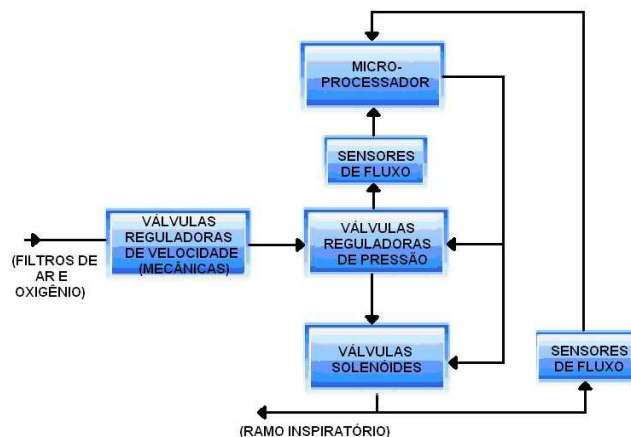


Figura 2: Sistema de Válvulas de Fluxo da Marca “B”.

Já a Marca “C” possui o sistema de válvula de fluxo mostrada na Figura 3 [8]:

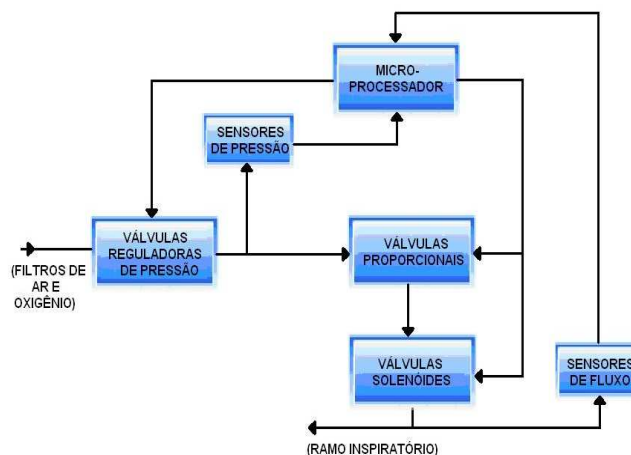


Figura 3: Sistema de Válvulas de Fluxo da Marca “C”.

Ao analisar os esquemas nota-se que o sistema da Marca “A” e da Marca “C” são similares, se diferenciando apenas pela quantidade de sensores de monitoramento das válvulas proporcionais. Já o sistema da Marca “B” apresenta válvulas mecânicas inexistentes nos equipamentos das outras duas marcas.

Após estudo dos princípios de funcionamento com ênfase nas válvulas de fluxo dos equipamentos e tendo em vista o objetivo principal do trabalho – a comparação destes princípios – determinou-se os parâmetros a serem analisados que são: Volume Corrente (VT) e Volume Mínuto (VE); valores de fluxo: Pico de Fluxo Inspiratório (PIF); e valores de pressão: Pico de Pressão Inspiratória (PIP) e Pressão Aérea Média (MAP); ventilando a modo Volume Controlado (VC) que tem por princípio delimitar o volume de gás enviado ao paciente por meio do controle de fluxo segundo os valores pré-programados pelo usuário.

Os ventiladores mecânicos, então, foram submetidos a inicialmente um processo de calibração seguido de aferição dos parâmetros selecionados para a construção das

tabelas de dados. A aferição foi realizada utilizando-se um analisador de fluxo de gases. Terminada a aferição os equipamentos foram devolvidos ao setor.

A partir dos dados aferidos foram realizados cálculos de erro percentual, como mostrado em (1), e de média simples, apresentada em (2), para o estabelecimento de uma comparação. A média foi calculada baseada nos valores de erro percentual obtido por cada equipamento de uma única marca, gerando, assim, o valor médio de erro percentual de cada marca.

$$ERRO (\%) = \frac{(AJUSTE - AFERIÇÃO) \times 100}{AJUSTE} \quad (1)$$

Onde:

Ajuste: valor ajustado pelo usuário no ventilador
Aferição: valor aferido pelo analisador.

$$MÉDIA (\%) = \frac{ERRO1(\%) + ERRO2(\%) + ERRO3(\%)}{3} \quad (2)$$

Onde:

Erro1(%): valor do erro percentual do primeiro equipamento da marca.

Erro2(%): valor do erro percentual do segundo equipamento da marca.

Erro3(%): valor do erro percentual do terceiro equipamento da marca.

Ao final dos cálculos iniciou-se o processo de comparação entre as marcas que se deu por meio da construção de tabelas das porcentagens médias de erro dos equipamentos de cada marca e de um gráfico comparativo que possibilitam uma melhor visualização dos resultados.

Resultados

Os resultados obtidos na aferição foram sintetizados nas Tabelas de 1 a 3, que mostram as porcentagens médias de erro obtida em cada marca.

Tabela 1: Porcentagens Médias de Erro apresentados pela Marca "A".

Parâmetros Aferidos	Primeira Aferição
VT (ml)	2,72
VE (LPM)	0,43
PIF (LPM)	0,80
PIP (cmH2O)	1,94
MAP (cmH2O)	2,19

Tabela 2: Porcentagens Médias de Erro apresentados pela Marca "B".

Parâmetros Aferidos	Primeira Aferição
VT (ml)	1,88
VE (LPM)	0,07
PIF (LPM)	0,52
PIP (cmH2O)	1,62
MAP (cmH2O)	1,20

Tabela 3: Porcentagens Médias de Erro apresentados pela Marca "C".

Parâmetros Aferidos	Primeira Aferição
VT (ml)	5,31
VE (LPM)	3,37
PIF (LPM)	0,88
PIP (cmH2O)	1,01
MAP (cmH2O)	4,33

Para uma melhor análise comparativa entre as marcas desenvolveu-se o gráfico da Figura 4, construído a partir das tabelas apresentadas anteriormente para avaliação da calibração do equipamento.

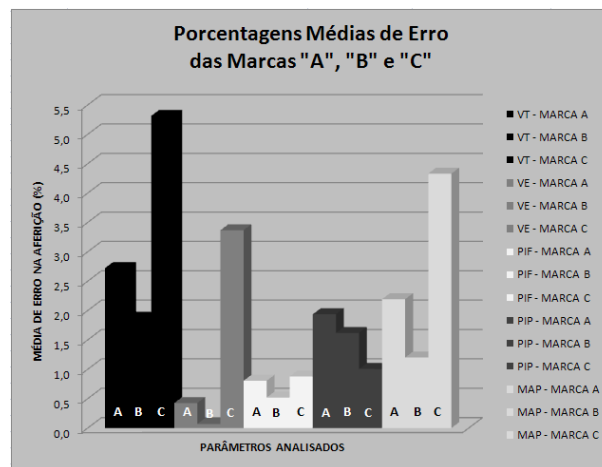


Figura 4: Porcentagens Médias de Erro das Marcas "A", "B" e "C".

Discussão

O gráfico da Figura 4 permitem uma comparação entre as Marcas "A", "B" e "C" com relação a calibração inicial dos equipamentos avaliados. Nota-se que a Marca "C" apresentou valores médios de erro na calibração bem maiores que as outras duas marcas para os parâmetros de volume e pressão média, assim os valores apresentados pelos equipamentos desta marca são aceitáveis, porém menos confiáveis que os apresentados pelos aparelhos das Marcas "A" e "B". Tal fato pode ter decorrência do sistema de controle de fluxo proposto pela Marca "C" que não apresenta

sensores de fluxo para ar e oxigênio separados logo após as válvulas proporcionais, e sim apenas os sensores de fluxo total que monitoram o fluxo que está sendo enviado para o paciente.

As Marcas “A” e “B” alcançaram resultados semelhantes, sendo que a Marca “B” apresentou as melhores porcentagens de calibração em relação as outras marcas para os parâmetros de volume e fluxo: VT, VE e PIF. Um motivo para tal ocorrência pode ser o fato de a Marca “A” possuir válvulas proporcionais eletrônicas monitoradas por sensores de fluxos um para ar e outro oxigênio que realizam o processo de mistura de gases, enquanto a Marca “B” possui válvulas reguladoras de velocidades ajustáveis mecânicas para realizar tal processo. O ajuste eletrônico tende a ser mais complexo.

Conclusão

Em síntese, no contexto da metodologia apresentada, que envolve uma amostra de equipamentos baixa, os aparelhos das Marcas “A” e “B” apresentam maior confiabilidade em termos de operar de acordo os parâmetros programados pelo usuário, do que os aparelhos da Marca “C”, ou seja, os ventiladores mecânicos da Marca “C” possuem um pior desempenho funcional se comparados aos aparelhos das outras duas marcas.

O fato dos equipamentos da Marca “C” terem apresentado valores de porcentagem média de erro tão elevados – em relação as outras duas marcas –, é possivelmente oriundo da falta de sensoramento do fluxo proveniente das válvulas proporcionais que dosam a quantidade de oxigênio e ar que serão enviados ao paciente de forma eletrônica. Na Marca “A” nota-se esse controle via sensores de fluxo que são utilizados afim de limitar o fluxo de oxigênio e ar separadamente e, posteriormente, de ambos misturados quando enviados ao paciente. Assim, tem-se sensores que controlam o fluxo de ar antes da mistura com o oxigênio (inicial), o fluxo de oxigênio inicial e o total, que é enviado ao paciente. Na Marca “B”, por ser um processo de mistura de ar e oxigênio de forma mecânica, não há necessidade deste sensoriamento, e possivelmente por este fato a calibração foi mais eficaz.

Trabalhos futuros que sigam metodologia similar proposta, porém com um número maior de aferições no decorrer do tempo para avaliar o desempenho do ventilador mecânico após sua utilização por um determinado período, seriam de extrema valia para uma melhor avaliação do princípio de funcionamento básico de ventilação mecânica, cujo intuito é garantir o desempenho esperado dos ventiladores mecânicos para que o paciente ventilado tenha uma terapia correta e de sucesso. Além disso, é fundamental aumentar a quantidade de equipamentos aferidos para se alcançar uma representatividade estatística adequada a uma aplicação clínica.

Agradecimentos

À toda a Gestão de Bioengenharia, em especial o setor de Eletrônica e os técnicos que trabalham neste, e aos integrantes do Setor de UTI Adulto pelo auxílio as dúvidas e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- [1] Carvalho, C. R. R. ; Toufen JR. C. ; Franca, S. A. *Ventilação mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias*. III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica, Jornal Brasileiro de Pneumologia, 33(Supl 2): S 54 – S70, 2007.
- [2] Barbas, C.S.V.; Rothman, A.; Amato, M.B.P.; Rofrigues Jr., M. *Técnicas de assistência ventilatória*. In: Knobel, E. *Condutas no paciente grave*. São Paulo. Atheneu, 1994. p.312-346.
- [3] Torres M. L. A. ; Bonassa, J. *Princípios básicos da ventilação mecânica*. In: Bonassa, Jorge. *Princípios básicos de ventiladores artificiais*. 1 ed. São Paulo: Roca Ltda, 2002, v. 1, p. 1-51.
- [4] Toufen JR, C.; Carvalho, C. R. R.; *Ventiladores Mecânicos*. III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica, Jornal Brasileiro de Pneumologia, 33(Supl 2): S 71 – S91, 2007.
- [5] Howman, S. F. *Mechanical Ventilation: A Review and Update for Clinicians*. Hospital Physician, Dezembro, 1999.
- [6] Referência A – *Manual de Serviço da Marca “A”*. Disponibilizado na Biblioteca da Gerência de Bioengenharia, com permissão do responsável pelo setor. Acessado em: 02/06/11.
- [7] Referência B – *Manual de Serviço da Marca “B”*. Disponibilizado na Biblioteca da Gerência de Bioengenharia, com permissão do responsável pelo setor. Acessado em: 02/06/11.
- [8] Referência C – *Manual de Serviço da Marca “C”*. Disponibilizado na Biblioteca da Gerência de Bioengenharia, com permissão do responsável pelo setor. Acessado em: 02/06/11.