



V CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
V NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 22 de agosto de 2008 – Salvador – Bahia - Brasil
August 18 – 21, 2008 - Salvador – Bahia – Brazil

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE AR PARA VENTILADORES MECÂNICOS DE UNIDADES DE TERAPIA INTENSIVA (UTI).

Louise Aracema Scussiato, louisescussiato@ufpr.br¹
Rudmar Serafim Matos, rudmar@demec.ufpr.br²
Eliana Leal Ferreira, elianaleal@yahoo.com.br²
José Viriato Coelho Vargas, jvargas@demec.ufpr.br²
Marcos Carvalho de Campos, mccampos@demec.ufpr.br³
Clariana Cristina Matos, draclariana@brturbo.com.br⁴

¹Departamento de Enfermagem, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR 80060-240, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PGMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

³Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

⁴Consultório Dr^a. Clariana Cristina Matos, Rua José Rietmeyer, 486, sl 5, Curitiba, PR 81530-420, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta a análise e desenvolvimento de um sistema de tratamento de ar para ventiladores mecânicos aplicados para a respiração artificial de pacientes clinicamente críticos em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), com o objetivo de minimizar os problemas hoje encontrados, como hipotermia, hipertemia e condensação de água nas vias aéreas em pacientes ventilados mecanicamente. Isto leva a grande proliferação de germes e bactérias e retardo no tratamento do paciente crítico da UTI. Esses fatos são ignorados por muitos profissionais. Observa-se nos equipamentos existentes que a temperatura e a umidade relativa do ar que entra no paciente normalmente estão fora da faixa do protocolo médico. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que é possível minimizar os efeitos sobre o sistema respiratório em pacientes intubados na UTI, através do controle da temperatura e da umidade relativa do ar que entra no tubo endotraqueal que conduz o ar para o paciente. Isto foi demonstrado conectando um novo equipamento de simples concepção, construído em laboratório, na saída do ventilador mecânico convencional, para condicionar o ar a ser insuflado para o paciente intubado. Os resultados obtidos mostram que o novo sistema de tratamento do ar é capaz de controlar a temperatura e a umidade relativa do ar na saída, dentro da faixa especificada pelo protocolo médico para diferentes condições operacionais.

Palavras-chave: Ventiladores Mecânicos, umidificadores, filtro de ar, umidade relativa, temperatura, hipotermia, hipertermia, respiração artificial.

1. INTRODUÇÃO

Os setores de bioengenharia hospitalar, especificamente no que diz respeito a equipamentos de auxílio à respiração, são demandantes de aperfeiçoamento que permitam condicionar o ar insuflado dentro de faixas pré-estabelecidas de temperatura e umidade relativa. Os ventiladores mecânicos, também chamados de aparelhos para respiração artificial são instrumentos construídos para auxiliar o paciente clinicamente instável ou que se encontra em mau estado geral (sem condições de respirar voluntariamente) a restabelecer sua saúde. O funcionamento desses aparelhos basicamente pode ser descrito como um sistema que se liga à uma rede elétrica, e a duas outras redes de gases: I) ar comprimido – que é responsável por manter o fluxo de ar da máquina para a via respiratória do paciente, via um processo que chamamos de intubação, que pode ser endotraqueal, ou por um ostoma, via traqueostomia, e II) oxigênio – que é responsável, junto com a mistura do ar comprimido, que também se trata de um gás medicinal, em manter a oxigenação dos órgãos e tecidos do paciente. Dentro dessa máquina ocorre a mistura dos gases, que então é repassada ao paciente após passar por um outro sistema acoplado ao aparelho, que é responsável pelo aquecimento e umidificação do ar inspirado, ou tecnicamente dizendo, da fração de ar insuflado para o interior do pulmão do paciente, num tempo pré-determinado, de acordo com a patologia que estiver sendo tratada. Esses aparelhos são utilizados, portanto, tipicamente em unidades de terapia intensiva. A tecnologia desses aparelhos combina princípios de engenharia mecânica, mecatrônica e computacional para o seu funcionamento, porém utilizando apenas um termostato, e não um controle de temperatura e umidade simultaneamente.

Para o indivíduo normal, foi cientificamente mostrado que a temperatura no trato aéreo superior varia em torno de 30 a 33°C, e que a umidade relativa é de aproximadamente 95%, Cid et al., (2001). Com base nesses dados experimentais, o compêndio de Medicina Intensiva de 2004, AMIB (2004), realizou um estudo pormenorizado e concluiu que, em pacientes intubados (que estejam sendo mecanicamente ventilados) as condições do ar insuflado devem estar entre 32 e 34°C de temperatura, bem como entre 80 e 95% de umidade relativa do ar.

Auler e Amaral (1998) mencionam que, de forma rotineira, a interface utilizada entre máquina (ventilador mecânico) e paciente é feita por tubos de silicone, por via de acesso nasal (nariz), oral (boca) e traqueostoma (traquéia).

Um ventilador mecânico pode controlar o fluxo de gás instantâneo (e daí a mudança de volume do sistema respiratório) ou a pressão instantânea nas vias aéreas, pois, por definição, o ventilador não pode controlar simultaneamente pressão e volume instantâneos. Afinal, a qualquer momento, uma das duas variáveis que não está sendo controlada pelo ventilador pode variar de acordo com as forças passivas e ativas aplicadas pelo paciente.

Tubos endotraqueais com balonete dos tubos traqueais infláveis exercem pressão significativa na parede endotraqueal. Essa pressão pode levar a um dano epitelial e diminuir a velocidade de transporte do muco traqueal, que é um índice de depuração mucociliar.

No indivíduo normal, o condicionamento do ar inspirado (aquecimento, umidificação e filtração) ocorre no trato respiratório superior. Quando utilizada ventilação mecânica, as interfaces dos tubos influenciam de forma direta e indireta no sistema fisiológico normal do indivíduo. Assim os ventiladores mecânicos possuem dispositivos com a finalidade de condicionar o ar insuflado ao paciente. No entanto, esses dispositivos consistem apenas de uma base metálica que recebe calor, sobre a qual se coloca um copo de água. Com a produção de vapor de água a partir do aquecimento do copo, fazendo o fluxo de ar passar sobre o copo, realiza-se a umidificação e aquecimento do ar insuflado. No entanto, não há um controle direto sobre o processo do ventilador. Portanto, observam-se algumas dificuldades decorrentes do uso de tal sistema: o superaquecimento causa uma rejeição de calor importante para as vias aéreas do paciente e isto pode causar a hipertermia localizada, além de um consumo metabólico adicional do paciente para manter a normotermia geral do seu corpo, o que pode provocar disfunções protéicas, enzimáticas, cardíacas e respiratórias, bem como retardo no processo de retirada do ventilador mecânico. Além disso, a válvula inspiratória/expiratória do gás que é conduzido ao paciente não é unidirecional, podendo provocar possível refluxo de ar. As máquinas existentes também não apresentam um termômetro que meça as temperaturas locais nos tubos das interfaces, e sim um termoscópio que apenas registra oscilações da temperatura do ar de insuflamento. Desta forma, a temperatura do ar na saída do tubo que se conecta ao enfermo não é controlada, o que, nos equipamentos convencionais em uso, comumente acarreta lesões endotraqueais, hipotermia, hipertermia, e traumatismos do trato respiratório. A falta de controle da umidade relativa resultante do processo de umidificação provoca a condensação da água no sistema, o que leva a uma proliferação de germes e bactérias, com formação de grande quantidade de secreções, formando tampões mucosos de secreções, mais conhecidos como rolhas, que são responsáveis pela obstrução parcial ou total do tubo endotraqueal (duto que vai desde a cavidade oral até a Carina – parte final da traquéia), o qual conduz o ar insuflado pela máquina para os pulmões. Assim, é necessária uma higienização freqüente dos tubos para evitar traumas pulmonares.

Em suma, a perda excessiva de umidade e calor que pode ocorrer durante a ventilação mecânica predispõe os pacientes a sérios danos nas vias aéreas. A ventilação com gases secos e frios causa desordens das células epiteliais, aumento da viscosidade do muco e restrição da função mucociliar, cujas conseqüências clínicas são hipotermia, atelectasia e hipoxemia. Por outro lado, super-umidificação ou ventilação com gases hiper-térmicos pode causar queimaduras traqueais, alteração nos tecidos superficiais das vias aéreas e desordens nas células epiteliais, cujas conseqüências clínicas são a hipertermia, hiponatremia, atelectasia e hipoxemia. Portanto, é de importância crucial monitorar com precisão o condicionamento do gás ventilatório, especialmente em pacientes de unidade de terapia intensiva submetidos a tratamento prolongado de ventilação mecânica.

As possíveis soluções para os problemas técnicos apresentados, e que ocorrem nos ventiladores mecânicos existentes atualmente, devem necessariamente contemplar um melhor condicionamento dos gases insuflados ao paciente. Para tanto, é necessário realizar controle simultâneo, em tempo real, da temperatura e da umidade relativa dos gases localmente nos tubos da interface que se conecta ao paciente.

Seguindo bases fisiológicas da literatura médica mundial, o objetivo do presente trabalho é prever um equipamento de fácil aplicação diretamente na saída de ar insuflado dos ventiladores mecânicos existentes. O aparelho proposto controla simultaneamente, em tempo real, a temperatura e umidade relativa do ar do tubo da interface máquina/paciente no local de entrada no indivíduo, dentro das faixas recomendadas pelo protocolo da comunidade científica.

Em conseqüência, o aparelho busca evitar os inconvenientes pertinentes ao sistema atual como por exemplo hipotermia, hipertermia, formação de tampão mucoso de secreção, lesão da árvore traqueo brônquica, degeneração citoplasmática nuclear, descamação celular, destruição ciliar, ulceração da mucosa, hiperemia, diminuição da complacência pulmonar, atelectasia, inflamação, cilioestase, e processos infecciosos generalizados, AMIB (2004).

Existem no mercado atualmente outros sistemas que foram criados com o objetivo de aquecimento, ou filtro de barreira para germes e bactérias (impurezas em geral). No entanto, nenhum deles apresenta um sistema de leitura que seja capaz de informar o conteúdo de água no ar insuflado (umidade relativa), o valor da temperatura interna e quanto de calor estão sendo perdidos para o meio. Por isso, há a necessidade de melhorias no sistema de condicionamento do ar que é fornecido ao paciente.

2. APARATO EXPERIMENTAL

A Figura (1) mostra o aparato experimental utilizado no presente trabalho que consiste de um compressor, uma válvula solenóide do tipo “on - off”, para a abertura e fechamento do fluxo de ar conduzido ao paciente, e de um circuito eletrônico temporizador, para controle da válvula solenóide, o qual foi ajustada para energizar a válvula por 1 segundo, abrindo o fluxo de ar para a inspiração, e para 2 segundos, fechando o fluxo de ar para permitir a expiração, conforme o protocolo de ventilação mecânica, II CBVM (2000). Além disso, um pulmão-teste do tipo utilizado normalmente para aferição de ventiladores mecânicos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI), foi acoplado ao sistema para simular o paciente intubado. Um sistema de aquisição de dados computacional foi utilizado para o registro das medições de temperatura e umidade relativa em tempo real. Trata-se de um sistema fabricado pela firma SPIDER, Alemanha.



Figura 1. Aparato experimental.

A Figura (2) mostra a localização dos termistores e sensores de umidade relativa colocados no equipamento. Eles tiveram a finalidade de verificar se o sistema é capaz de controlar a temperatura e umidade relativa do ar dentro das faixas preconizadas pelo protocolo médico. A correta operação dos termostatos e do umidostato no sistema, também foi verificada.

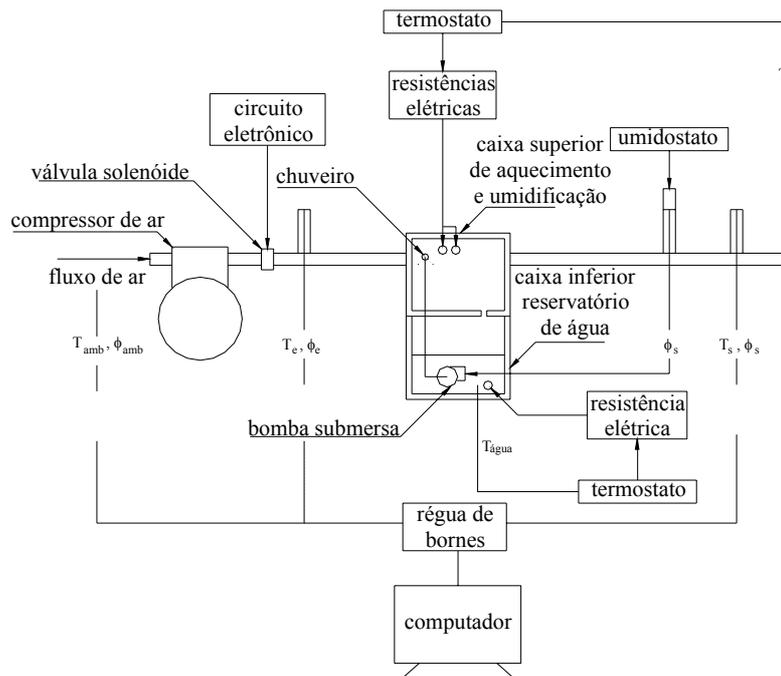


Figura 2. Diagrama esquemático do posicionamento dos termistores e dos sensores de umidade relativa no sistema.

De acordo com estas ilustrações e em seus pormenores, o sistema de aquecimento e umidificação de ar para a ventilação mecânica de pacientes de unidade de terapia intensiva, consiste de duas caixas de acrílico geminadas, divididas em caixa superior de aquecimento e umidificação, que realiza o condicionamento do ar que sai do ventilador mecânico, através dos controles de temperatura e umidade relativa do ar, via um termostato e um umidostato respectivamente, e em uma caixa inferior de reservatório de água, que armazena uma quantidade de água necessária para umidificar o ar insuflado do paciente.

A caixa superior de aquecimento e umidificação é um recipiente de acrílico, em formato de prisma retangular, que deve ser acoplada a prótese ventilatória mecânica. A caixa contém duas resistências elétricas, conectadas a fios elétricos, fixadas na parede posterior da caixa em uma janela de inspeção superior, para aquecimento do ar dentro da faixa preconizada de 32 a 34°C, e controlada por um termostato, conectado a fios elétricos cujo sensor de temperatura é colocado no ponto de conexão com uma válvula unidirecional na saída de ar do aparelho proposto, que leva o ar insuflado condicionado ao tubo de silicone que conduz o ar ao orifício de entrada no paciente. Em sua face esquerda, está localizado o orifício de entrada de ar insuflado pelo equipamento de ventilação mecânica. Na mesma janela de inspeção superior é fixado um tubo de cobre pulverizador de água perfurado ao longo de sua parede em uma linha reta lateral com quatro furos equidistantes, que tem a finalidade de aspersão da água de umidificação do ar que provém da caixa inferior de reservatório de água. Um umidostato, conectado a fios elétricos, controla a umidade do ar insuflado através de um sensor de umidade relativa colocado no ponto de conexão com uma válvula unidirecional na saída de ar do aparelho proposto, que leva o ar insuflado condicionado ao tubo de silicone que conduz o ar ao orifício de entrada no paciente, ao lado do sensor de temperatura do termostato. Assim, as resistências elétricas são acionadas pelo termostato em tempo real sempre que houver a necessidade de aquecer o ar insuflado pelo ventilador mecânico, para mantê-lo dentro da faixa preconizada de 32 a 34°C de temperatura. Analogamente, o umidostato aciona uma bomba submersa, conectada a fios elétricos, que bombeia água para a caixa superior de aquecimento e umidificação sempre que houver a necessidade de umidificar o ar insuflado pelo ventilador mecânico, para mantê-lo dentro da faixa preconizada de 80 a 95 % de umidade relativa.

A caixa inferior de reservatório de água, também em formato de prisma retangular, está acoplada à parte de baixo da caixa superior de aquecimento e umidificação, interligada com a mesma. Trata-se de um reservatório contendo água, que é acionado quando o umidostato registra a necessidade de umidificar o ar. Isto é feito através de uma bomba submersa, que bombeia, pulveriza e recircula a água na caixa superior de aquecimento e umidificação, por onde passa o ar de suprimento ao paciente, através de um tubo plástico conectado a um tubo de cobre pulverizador de água. Há uma válvula unidirecional (filtro barreira) colocada na saída da caixa para bloquear o possível refluxo de secreções endotraqueais, e permitir somente o fluxo de ar de suprimento ao paciente. Adicionalmente, dentro da água do reservatório, é colocada uma resistência elétrica, conectada a fios elétricos, para aquecimento da água que é acionada por um termostato que controla a temperatura da água no reservatório, a fim de que o ar insuflado seja mantido dentro da faixa preconizada de 32 a 34°C de temperatura. A água do reservatório é mantida em um nível pré-estabelecido através de um registro de entrada de água. Um registro de saída de água permite o esvaziamento do reservatório de água, para limpeza e manutenção. Para limpeza e manutenção das duas caixas, utiliza-se a janela de inspeção superior e uma janela de inspeção inferior.

Com base na descrição apresentada. O aparelho controla através de um termostato e de resistências elétricas a temperatura do ar insuflado pelo ventilador mecânico e a ser fornecido ao paciente. Ao mesmo tempo também realiza o controle da umidade relativa do ar insuflado pelo ventilador mecânico através da pulverização de água no fluxo de ar que passa através da caixa superior de aquecimento e umidificação. Ambos os controles, temperatura e umidade relativa, são feitos simultaneamente, em tempo real, a partir de medições dos valores dessas grandezas físicas no ponto de conexão com a válvula unidirecional na saída de ar do aparelho proposto, que leva o ar insuflado devidamente condicionado ao tubo de silicone que conduz o ar ao orifício de entrada no paciente.

As medições de temperatura e umidade relativa do ar de entrada e saída provenientes dos sensores foram realizados com o sistema de aquisição de dados computacional, consistindo de um tipo específico de programa (manual SPIDER, 2002). Os dados provenientes dos sensores foram processados para unidades de temperatura (K) e umidade relativa (%). Os valores foram obtidos para verificar se as temperaturas e umidades relativas medidas se encontravam dentro da faixa de valores preconizada pelo protocolo médico, AMIB (2004). Desta maneira, as medidas provenientes dos 3 termistores e 3 sensores de umidade utilizados nos experimentos foram realizadas dentro de um mesmo segundo. O programa também gerava arquivos dos dados numéricos medidos para cada teste, para posterior processamento gráfico.

Os sensores térmicos utilizados neste estudo foram termistores ou sensores semicondutores. Eles são compostos de manganês, níquel e óxido de cobalto, os quais são misturados em proporções iguais, obtendo a forma de uma pequena esfera de 2,4 mm de diâmetro. Os termistores são não lineares, quando comparados com outros sensores de temperatura que são lineares, como por exemplo, os sensores condutores de platina e tungstênio. A relação entre a resistência e a temperatura em um termistor é bem correlacionada pela equação:

$$R = R_0 \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (1)$$

onde,

- R = resistência elétrica do termistor, Ω
- R_0 = resistência elétrica do termistor à temperatura padrão, Ω
- β = constante do termistor, K
- T = temperatura do termistor, K
- T_0 = temperatura padrão do termistor, K

Os termistores foram calibrados em laboratório para determinar seus limites intrínsecos de precisão ("Bias limits"). Para tanto, os termistores foram mergulhados em um banho térmico de temperatura constante de marca Hakke, modelo CD30. Um total de 64 medições de temperatura foi realizado a níveis 0, 10, 20,...,100°C. O maior desvio padrão dessas medições foi de 0,001°C e, portanto o limite intrínseco de cada termistor foi estabelecido como $\pm 0,001^\circ\text{C}$, o que é coerente com o limite intrínseco de precisão listado em um manual de instrumentação Dally et al. (1993).

Os sensores de umidade relativa são do tipo capacitivo, modelo SC-500, fabricados pela empresa Ohmic Instruments Co., EUA. Seu limite intrínseco de precisão é de $\pm 2\%$, apresentando alta confiabilidade e repetibilidade. O sensor permite a leitura direta da umidade relativa, através de uma saída de voltagem, com comportamento aproximadamente linear, definida pela equação:

$$V_{su} = -0,00009 \phi^2 + 0,0323 \phi + 0,581 \quad (2)$$

onde,

- V_{su} = voltagem, V
- ϕ = umidade relativa, %

As Figuras (3a) e (3b) mostram respectivamente os termistores de alta precisão e os sensores de umidade relativa utilizados neste trabalho. Os sensores foram ligados ao sistema de aquisição de dados para a verificação do correto funcionamento do aparelho de aquecimento e umidificação.



Figura 3a. Termistor.

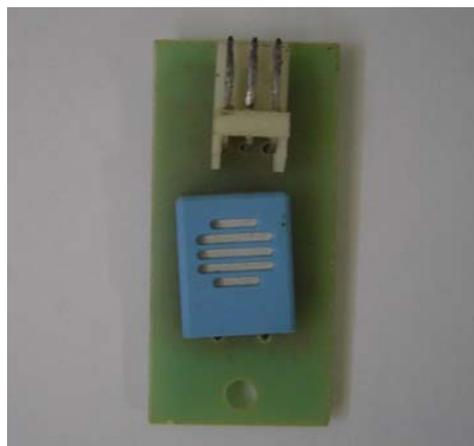


Figura 3b. Sensor de umidade relativa.

A conduta adotada para testar o sistema de aquecimento e umidificação de ar desenvolvido foi a de verificar se o mesmo é capaz de condicionar o ar de insuflamento proveniente do ventilador mecânico, entregando-o ao paciente intubado dentro das faixas recomendadas pelo compêndio de terapia intensiva AMIB (2004), com temperatura entre 32 e 34°C, e umidade relativa entre 80 a 95%. Para tanto, criou-se no laboratório equipamento auxiliar para simular o ventilador mecânico e o paciente intubado na UTI.

Conforme apresentado anteriormente no texto, o ventilador mecânico da UTI foi simulado por um sistema auxiliar composto de um compressor, mangueira, válvula solenóide "on-off" e um circuito eletrônico temporizador. O paciente intubado foi simulado por um pulmão-teste de borracha.

Essa decisão de simular o paciente intubado e de não utilizar seres humanos neste trabalho foi para evitar riscos desnecessários, uma vez que nesta fase inicial da pesquisa, o principal objetivo é o de demonstrar a funcionalidade mecânica do novo sistema. Em trabalhos futuros, em seqüência a esta pesquisa, o sistema deverá ser testado em seres humanos.

O procedimento de teste consistiu da colocação do sistema de tratamento de ar entre o ventilador mecânico simulado e o pulmão-teste. Assim, o sistema pode tratar o ar proveniente do compressor e entregá-lo ao pulmão-teste nas condições desejadas.

Após o início dos testes, aguardou-se a estabilização da temperatura e umidade relativa do ar saindo do sistema e

entrando no pulmão-teste. Após a estabilização, verificou-se a temperatura e umidade relativa do ar medidas pelo sistema de aquisição de dados automaticamente pelo computador. Para garantir a confiabilidade dos resultados, os sinais produzidos pelos sensores foram também medidos por um multímetro, observando-se a concordância das medições feitas automaticamente pelo computador com os dados medidos manualmente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições experimentais foram iniciadas com o sistema de tratamento de ar desligado e os sensores de temperatura e umidade equalizados. A seguir o sistema foi ligado começando a atuar o sistema de aquecimento e umidificação. O termostato de aquecimento do ar foi ajustado para 36°C, o termostato de aquecimento da água foi ajustado para 45°C, temperatura esta um pouco acima da temperatura do ar visando compensar as perdas de calor para o meio externo, o umidostato foi ajustado para 85%. Os gráficos a seguir apresentam as medições experimentais realizadas em laboratório, via aquisição de dados computacional. Os dados medidos pelo computador foram convertidos em valores numéricos de temperatura e umidade relativa do ar de entrada e saída do sistema.

Os gráficos mostram o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar em três pontos do sistema. O primeiro ponto selecionado foi a entrada de ar no sistema, que corresponde à saída de ar do ventilador mecânico tradicional. O segundo ponto selecionado foi a saída de ar no sistema proposto, i.e., após o tratamento do ar ter sido realizado pelo sistema. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente também foram medidas. O objetivo foi o de verificar se o sistema proposto efetivamente é capaz de produzir os efeitos desejados, i.e., fazendo com que o ar a ser inspirado pelo paciente atinja as faixas recomendadas pelo protocolo médico.

A Figura (4) mostra o comportamento da temperatura do ar ambiente, T_{amb} , do ar de entrada, T_e , e do ar tratado de saída, T_s , entregue ao pulmão-teste. A temperatura ambiente e de entrada foram aproximadamente iguais durante todo o teste, sendo registrada no início em 26°C.

A temperatura de saída atingiu a faixa de 32 a 35°C a partir do instante $t = 1000$ s, sob a ação das resistências de aquecimento. Até o final do teste, $t = 3600$ s, a temperatura do ar de saída permaneceu dentro da faixa recomendada.

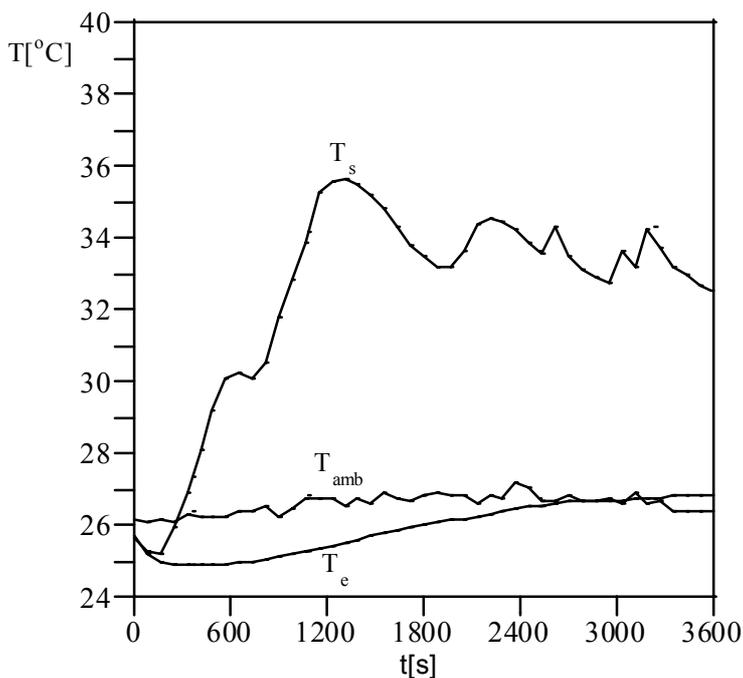


Figura 4. Comportamento das temperaturas para atingirem a faixa de operação.

A Figura (5) mostra o comportamento da umidade relativa do ar ambiente, ϕ_{amb} , do ar de entrada, ϕ_e , e do ar tratado de saída, ϕ_s , entregue ao pulmão-teste. A umidade relativa na saída atingiu a faixa de 80 a 95% a partir do instante $t = 1000$ s, sob a ação do umidificador. Até o final do teste, $t = 3600$ s, a umidade relativa do ar de saída permaneceu dentro da faixa recomendada.

Nota-se que a umidade relativa do ar ambiente era de 56% no início do teste. A medida que o teste prosseguiu, a umidade relativa de entrada caiu e estabilizou a partir de $t \sim 500$ s em um patamar de cerca de 20%. Isto ocorreu porque o compressor do ventilador mecânico provoca a condensação da água existente no ar, portanto, fazendo com que a umidade do ar de entrada no sistema seja bastante menor que a do ar ambiente.

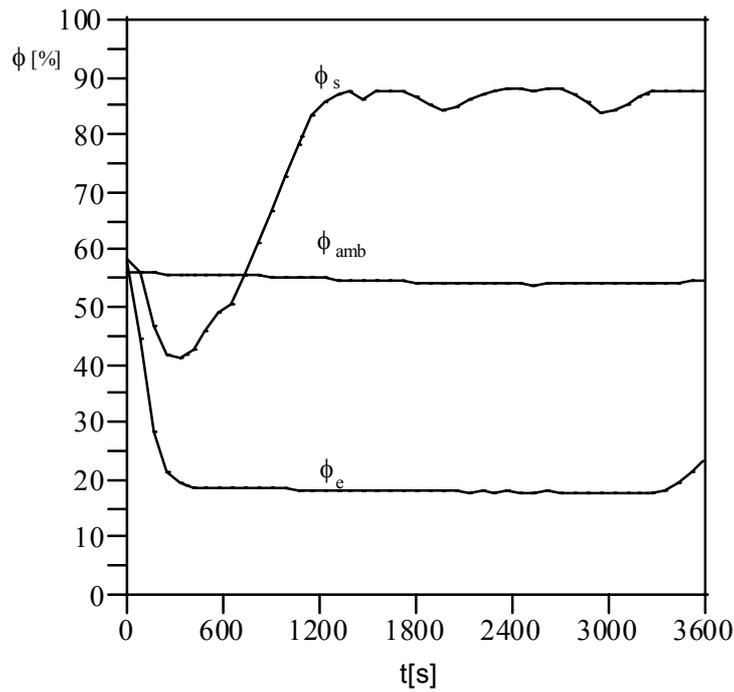


Figura 5. Comportamento das umidades para atingirem a faixa de operação.

Uma outra condição comumente observada na prática em UTI foi simulada, i.e., a parada do sistema por um curto espaço de tempo. Em intervalos de tempo $t = 600$ s, o sistema foi desligado e religado, simulando assim o funcionamento intermitente do sistema.

A Figura (6) apresenta os resultados obtidos para as temperaturas com o funcionamento intermitente do sistema de tratamento de ar. Observou-se que a temperatura do ar de saída permaneceu na faixa de 33 a 35°C mesmo durante o tempo em que o sistema foi desligado. Quando o sistema foi religado, a temperatura do ar de saída estabilizou rapidamente na mesma faixa até o fim do teste.

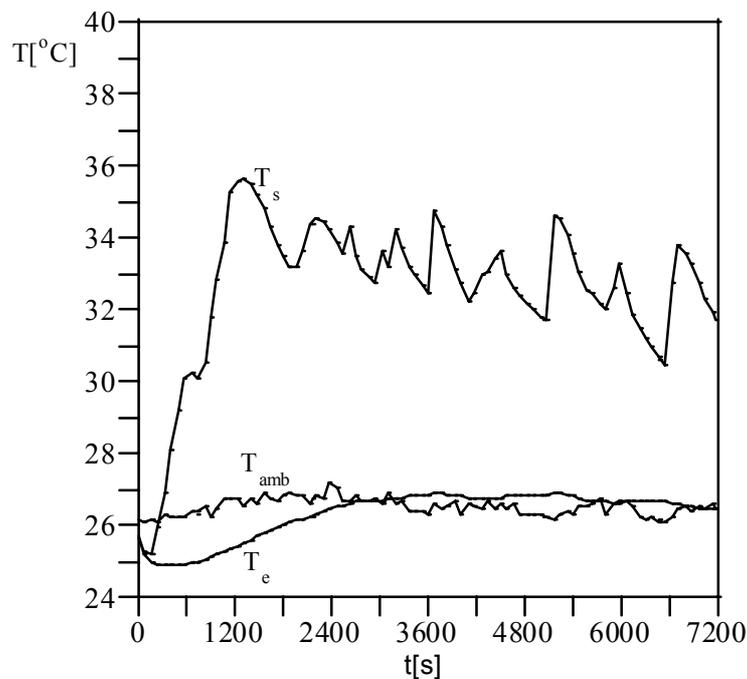


Figura 6. Comportamento das temperaturas para o funcionamento intermitente do sistema de tratamento de ar.

A Figura (7) apresenta os resultados obtidos para as umidades com o funcionamento intermitente do sistema de tratamento de ar. Observou-se que a umidade relativa na saída permaneceu na faixa de 80 a 95% mesmo durante o

intervalo de parada. Somente a umidade relativa na entrada subiu rapidamente devido a parada do fluxo de ar seco proveniente do compressor, resultando em uma elevação temporária da umidade relativa, na entrada.

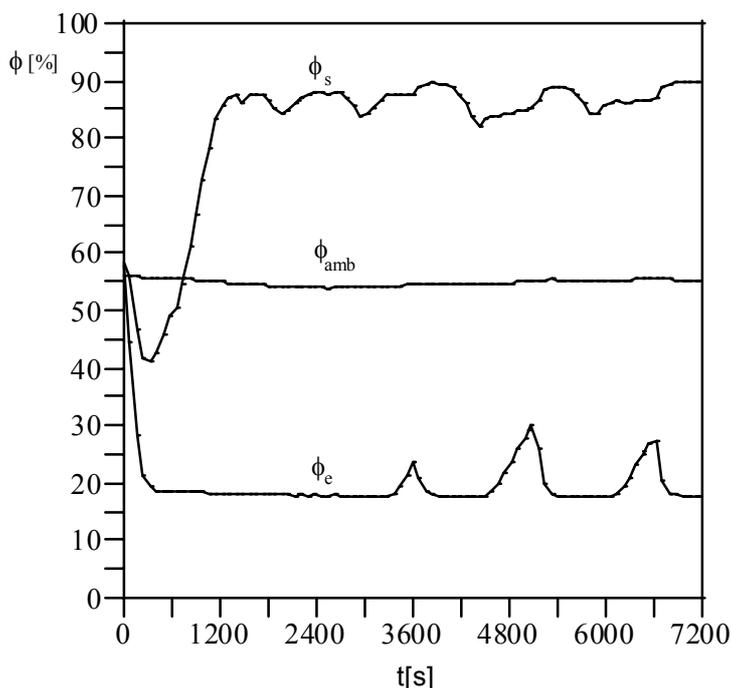


Figura 7. Comportamento das umidades para o funcionamento intermitente do sistema de tratamento de ar.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, um sistema de aquecimento e umidificação foi proposto, com o objetivo de minimizar os problemas hoje encontrados, como hipotermia, hipertermia e condensação de água no sistema de distribuição de ar inspirado por pacientes ventilados mecanicamente. Isto leva a uma proliferação de germes e bactérias e retardo no tratamento pela má difusão e perfusão dos gases, da temperatura e umidade do ar para o paciente crítico intubado, dados que por muitos profissionais são ignorados.

A partir da discussão apresentada, caracterizou-se o estudo-da-arte dos equipamentos de aquecimento e umidificação existentes em ventiladores mecânicos utilizados atualmente. Observa-se que nesses equipamentos o controle da umidade relativa do ar a ser insuflado no paciente não é eficaz. Desta maneira, caracteriza-se a necessidade do surgimento de novos sistemas que realizem o controle de temperatura e umidade relativa do ar de saída do ventilador mecânico de forma mais efetiva.

O sistema de tratamento de ar utilizado neste trabalho foi capaz de manter o ar suprido ao paciente intubado, dentro das faixas de temperatura e umidade relativa preconizadas pelo protocolo médico AMIB (2004).

Conforme os resultados obtidos, conclui-se que é possível minimizar os efeitos sobre a função respiratória em pacientes intubados, através de um controle de temperatura e umidade relativa do ar de entrada para o tubo endotraqueal instalado no paciente. Isto foi demonstrado a partir da conexão de um novo equipamento de simples concepção, proposto neste trabalho, para realizar o condicionamento do ar na saída de ar do ventilador mecânico convencional.

Outros protótipos também foram construídos e avaliados em laboratórios no decorrer da execução deste trabalho, como por exemplo, a substituição do sistema de umidificação por pulverização de água quente atual, por um sistema de umidificação a vapor d'água que mostrou ser mais eficiente para umidificação, no entanto neste sistema, foi mais difícil o controle da temperatura devido a condensação do vapor pela ação do ar comprimido formando gotículas de água quente onde a temperatura na saída às vezes chegava a atingir 45°C.

Finalmente, é importante ressaltar que, a necessidade de demonstrar a eficácia do equipamento através de estudos em seres humanos é crucial, sob o ponto de vista ético e legal. Somente após a realização desses experimentos é que terão sido demonstradas a viabilidade e aplicabilidade do sistema em seres humanos. Esta é a sugestão mais importante para o prosseguimento deste trabalho. Nessa seqüência deste estudo, aspectos como assepsia, manutenção, desempenho, consumo extra de energia, entre outros, deverão ser analisados.

5. REFERÊNCIAS

- AMIB (Associação de Medicina Intensiva Brasileira), 2004, "Compêndio de Medicina Intensiva", capítulo 24.
Auler, C. Jr., e Amaral, G., 1998, "Assistência ventilatória mecânica", Editora Atheneu, Rio de Janeiro.

Cid, M., 2001, "Ventilação mecânica da fisiologia a prática clínica", Editora Revinter, Rio de Janeiro.

Dally, M., Riley W. F., McConnell K. G., 1993, "Instrumentation for Engineering Measurements", Wiley, New York, pp. 425.

II CBVM (Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica), maio de 2000, "Journal de pneumologia", 26 (supl 2), pp. 66.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF AN AIR TREATMENT SYSTEM FOR INTENSIVE CARE UNIT MECHANICAL VENTILATORS.

Louise Aracema Scussiato, louisescussiato@ufpr.br¹

Rudmar Serafim Matos, rudmar@demec.ufpr.br²

Eliana Leal Ferreira, elianaleal@yahoo.com.br²

José Viriato Coelho Vargas, jvargas@demec.ufpr.br²

Marcos Carvalho de Campos, mccampos@demec.ufpr.br³

Clariana Cristina Matos, draclariana@brturbo.com.br⁴

¹Departamento de Enfermagem, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR 80060-240, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PGMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

³Departamento de Engenharia Mecânica, PGMEC, Universidade Federal do Paraná, C.P. 19011, Curitiba, PR 81531-990, Brasil

⁴Consultório Dra. Clariana Cristina Matos, Rua José Rietmeyer, 486, sl 5, Curitiba, PR 81530-420, Brasil

Abstract: *This work presents the analysis and development of an air treatment system for mechanical ventilators applied to the artificial breathing of Intensive Care Units (ICU) clinically critical patients, with the objective of minimizing the problems currently found, such as hypothermia, hyperthermia and airways water condensation, in patients ventilated mechanically. This leads to great proliferation of germs and bacteria, and delays the treatment of the critical ICU patient. Those facts are neglected by many professionals. It is observed in the existent equipments that the temperature and relative humidity of the air entering in the patient are usually out of medical protocol ranges. According to the results presented in this paper, it is possible to minimize the effects on the respiratory system of intubated patients in the ICU by controlling the temperature and relative humidity of the air at the input of the endotracheal tube that conducts the air to the patient. This was demonstrated by connecting a new equipment, built in laboratory, to the output of the conventional mechanical ventilator, of simple conception, herein considered, to condition the air to be insufflated to the intubated patient. The obtained results show that the new air treatment system is capable to control the air output temperature and relative humidity within medical protocol specified ranges for several different operating conditions.*

Keywords. *Mechanical ventilators, humidifiers, air filter, barrier filter, air relative humidity, temperature, hypothermia, hyperthermia, artificial breathing.*