

# VENTILADORES PULMONARES

## ÍNDICE

### I. INTRODUÇÃO

### II. HISTÓRICO

### III. ANATOMIA E FISIOLOGIA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

- III.1. Componentes do sistema respiratório
- III.2. Mecânica pulmonar
- III.3. Propriedades estáticas do sistema respiratório
- III.4. Propriedades dinâmicas do Sistema Respiratório
- III.5. Insuficiência Respiratória

### IV. VENTILADORES

- IV.1. Componentes básicos de um ventilador
- IV.2. O controle básico de um ventilador
  - a. Controles do ventilador
  - b. Ciclo ventilatório mecânico
    - Fase inspiratória:
    - Platô de inspiração
    - Transição inspiração-expiração
    - Fase expiratória:
    - Transição da fase expiratória para inspiratória:
- IV.3. Particularidades dos 4 tipos de ventiladores
  - a. Ventilador para cuidado intensivo – adulto
  - b. Ventilador para cuidado intensivo – pediátrico
  - c. Ventilador para transporte
  - d. Ventiladores portáteis

### V. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UM VENTILADOR MECÂNICO

### VI. PATOLOGIAS ASSOCIADAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA

### VII. TESTES MÍNIMOS DE SEGURANÇA

### VIII. BIBLIOGRAFIA

## I. INTRODUÇÃO

**Ventilação** é o ato mecânico de fornecer ar aos pulmões. Ocorre espontaneamente através da ação da musculatura respiratória que ao contrair, faz surgir um gradiente de pressão entre o meio-ambiente e os pulmões, promovendo a entrada de ar nos pulmões. Na expiração ocorre o relaxamento da musculatura respiratória, inverte-se o gradiente de pressão e o ar sai dos pulmões.

**Ventilador** é um equipamento utilizado para proporcionar a ventilação pulmonar artificial.

O **objetivo dos ventiladores pulmonares** é, de modo geral, prover suporte ventilatório temporário, completo ou parcial, a pacientes que não conseguem respirar por vias normais (insuficiência respiratória) devido a fatores como doenças, anestesia, defeitos congênitos, etc.; ventiladores também são usados para permitir descanso dos músculos respiratórios até que o paciente seja capaz de reassumir a ventilação espontânea.

A insuficiência pode estar associada a uma patologia ou pode ser induzida para se obter analgesia, relaxamento muscular e redução da atividade metabólica, geralmente associados a procedimentos cirúrgicos.

Na maioria dos ventiladores uma fonte de pressão positiva entrega ar para os pulmões do paciente que faz a troca gasosa, e então retira a pressão, para que ocorra a expiração.

A ventilação artificial pode ainda ser feita pela via nasal, oral ou por tubo de traqueostomia.

## II. HISTÓRICO

? século XII: o mecanismo da ventilação pulmonar passa a ser compreendido

? 1555: Versálio introduz a ventilação mecânica artificial empregando um fole para foçar gás para o interior da traquéia de um cão com o tórax aberto

? 1660: Franciscus Sylvius de la Boe observa e estuda os movimentos respiratórios e conclui: “os pulmões não possuem movimento próprio, mas seguem o movimento do tórax e do diafragma. Os pulmões não expandem porque são insuflados, mas são insuflados com ar porque são expandidos”

? 1776: John Hunter contribuiu com uma das mais notáveis tentativas de ventilação mecânica: utilizou um sistema de duplo fole introduzido na traquéia de um cão, montado de modo que um fole bombeava ar ambiente para dentro e o outro bombeava ar para fora dos pulmões (princípio da ventilação com pressão positiva)

? 1820: Carson: estudou a elasticidade dos pulmões

- ? 1864: Jones introduziu o primeiro ventilador de tanque envolvendo o corpo todo (exceto a cabeça). Baseava-se na utilização de pressão negativa para expandir os pulmões (pulmão de aço)
- ? 1876: Woilez desenvolveu o espiróforo aprimorando o pulmão de aço. Acomodava um paciente deitado e possuía um bastão indicador da excursão do movimento torácico para confirmação visual da expansão pulmonar
- ? 1928: Jaquet utilizou a câmara de diferenciação pneumática desenvolvida em 1855 por Willians (para fins terapêuticos),
- ? 1928: Drinder e Shaw introduziram o primeiro pulmão de aço a ser utilizado amplamente. As alterações na pressão do reservatório eram geradas por um ventilador rotativo sob impulsão elétrica
- ? 1931: Emerson construiu um pulmão de aço incorporando novas tecnologias e a custo bem menor: consistia em um cilindro hermético onde era colocado o paciente (cabeça de fora); um fole impulsionado por motor elétrico ou manualmente (no caso de falta de energia elétrica) produzia pressão sub-ambiente dentro do tanque, resultando num gradiente de pressão transpulmonar positiva que facilitava o fluxo de gás para dentro dos pulmões (foi motivado por uma séria epidemia de poliomielite)
- ? 1946: retomada das pesquisas sobre mecânica ventilatória durante a Segunda guerra mundial
- ? 1952: Engström dá início à moderna ventilação mecânica com pressão positiva, durante a epidemia de pólio na Dinamarca (1952) e na Suécia (1953)
- ? 1963: Campbell e Brown realizam o modelamento do sistema respiratório por meio de circuito elétrico analógico
- ? 1964: Peters e Satcy determinaram os parâmetros da mecânica respiratória por meio de computador dedicado
- ? 1968: Terzi e Peters utilizam protótipo construído na Universidade da Carolina do Norte para estudar a mecânica ventilatória
- ? a evolução tecnológica tem atuado no ventiladores mecânicos no sentido de promover maior conforto aos paciente e maior segurança aos médicos, quanto à tomada de decisões no tratamento de pacientes.

### **III. ANATOMIA E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA RESPIRATÓRIO**

#### **III.1. Componentes do sistema respiratório**

Segundo Miller (1986), respiração significa transporte de oxigênio do ar atmosférico até as células do corpo e, em sentido contrário, transporte de dióxido de carbono das células até o ar atmosférico. O sistema respiratório desempenha duas fases

deste processo: ventilação pulmonar, que é a movimentação do ar entre a atmosfera e o alvéolo e difusão de oxigênio e dióxido de carbono entre o ar alveolar e o sangue.

O ar entra no sistema respiratório pelas cavidades do nariz e/ou pela boca, passa pela faringe, pela laringe e pela traquéia. Após atravessar a traquéia (tubo cartilaginoso com diâmetro entre 1,5 e 2,5cm de e 11cm de comprimento), o ar passa para os brônquios (esquerdo e direito) que se subdivide nos bronquíolos, que se estendem até os alvéolos, onde ocorrem as trocas gasosas com o sangue (por processo de difusão passiva).

Estima-se que há centenas de milhões de alvéolos nos pulmões, representando uma superfície com dezenas de  $m^2$  para trocas gasosas (oxigênio sai do alvéolos e passa para o sangue; gás carbônico faz o caminho inverso).

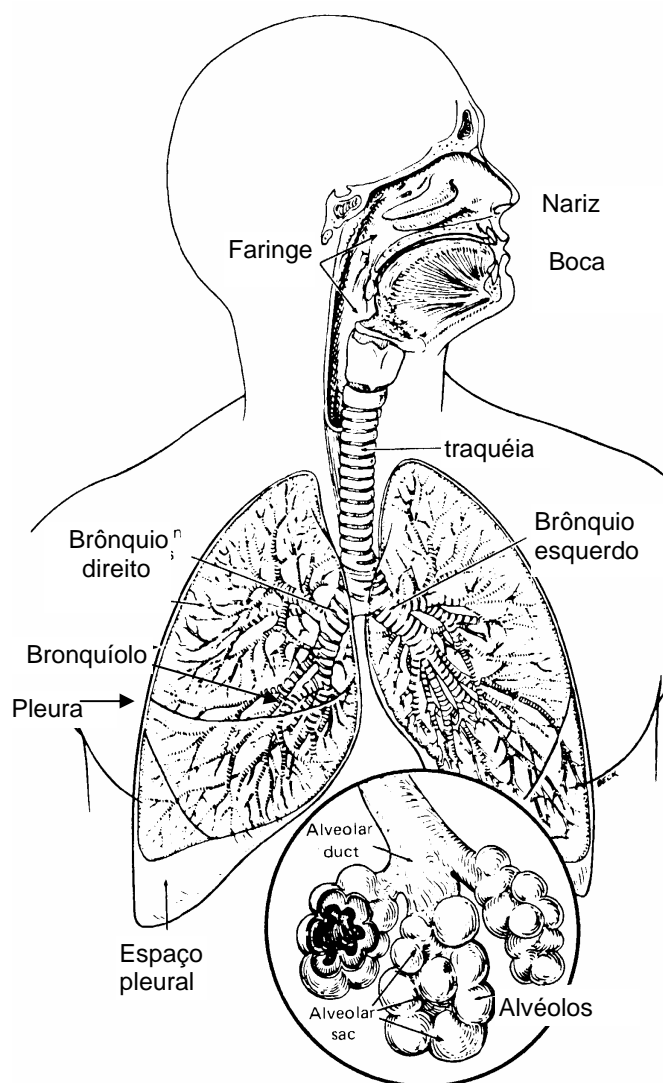


Figura 1. Corte do sistema respiratório mostrando a localização anatômica dos seus componentes (mod. Feinberg, 1986).

Os componentes do sistema respiratório entre a traquéia e os bronquíolos terminais, constituem a **zona de condução**, participam apenas da condução gasosa. Os bronquíolos respiratórios, os ductos e sacos alveolares constituem a **zona respiratória**, onde ocorrem as trocas gasosas.

Os pulmões são revestidos pela pleura visceral, que adere à pleura parietal que reveste a parede interna do tórax, devido à existência de um líquido. Tal líquido fornece o mecanismo de aderência entre as pleuras e funciona como um lubrificante durante o ciclo ventilatório.

### III.2. Mecânica pulmonar

Durante as fases de inspiração e expiração, os pulmões têm papel passivo. **São os músculos diafragma e intercostais interno e externo que promovem a variação do volume da cavidade torácica criando pressões negativa e positiva que movimentam o ar para dentro e para fora dos pulmões.**

**Inspiração:** a inspiração é um processo ativo, no qual o volume do tórax aumenta e cria uma pressão negativa no tórax em relação ao meio exterior, promovendo a entrada do ar atmosférico. O músculo mais importante neste processo é o diafragma.

**Expiração:** é essencialmente passiva, devido às propriedades elásticas dos pulmões: quando a inspiração cessa, a energia elástica acumulada nas suas fibras é usada para retrai-las ao seu comprimento inicial. Uma pressão positiva é criada no interior dos pulmões e o ar é expirado para a atmosfera. Durante a realização de exercícios físicos e a hiperventilação voluntária, a expiração se torna ativa.

#### Níveis pressóricos no sistema respiratório

? **pressão intrapleural ou pleural:** é aquela existente no espaço entre as pleuras visceral (em contato com o pulmão) e parietal (em contato com a cavidade torácica).

? **pressão alveolar:** é a pressão existente dentro dos alvéolos.

Durante a inspiração a musculatura inspiratória se contrai, expandindo o tórax, e a pressão pleural varia de  $-3,5$  a  $-5$  mmHg (aproximadamente). A pressão alveolar diminui causando um fluxo de ar para dentro dos pulmões.

Durante a expiração, com a diminuição do volume do tórax, a pressão pleural fica menos negativa e a pressão alveolar aumenta até ficar superior à pressão atmosférica, causando fluxo de ar para fora dos pulmões.

A variação da pressão intra-alveolar é de  $-3$  mmHg na inspiração e de  $3$  mmHg na expiração.

? **pressão transpulmonar:** caracteriza a diferença de pressão entre os alvéolos e as superfícies externas dos pulmões. É a pressão necessária para vencer as forças

elásticas do pulmão (em condições estáticas) e a resistência das vias aéreas ao fluxo de ar em condições dinâmicas).

### III.3. Propriedades estáticas do sistema respiratório

#### Volumes e capacidades pulmonares

O estudo funcional do pulmão inclui uma avaliação espirométrica que determina volumes e capacidades pulmonares representados na figura 2.

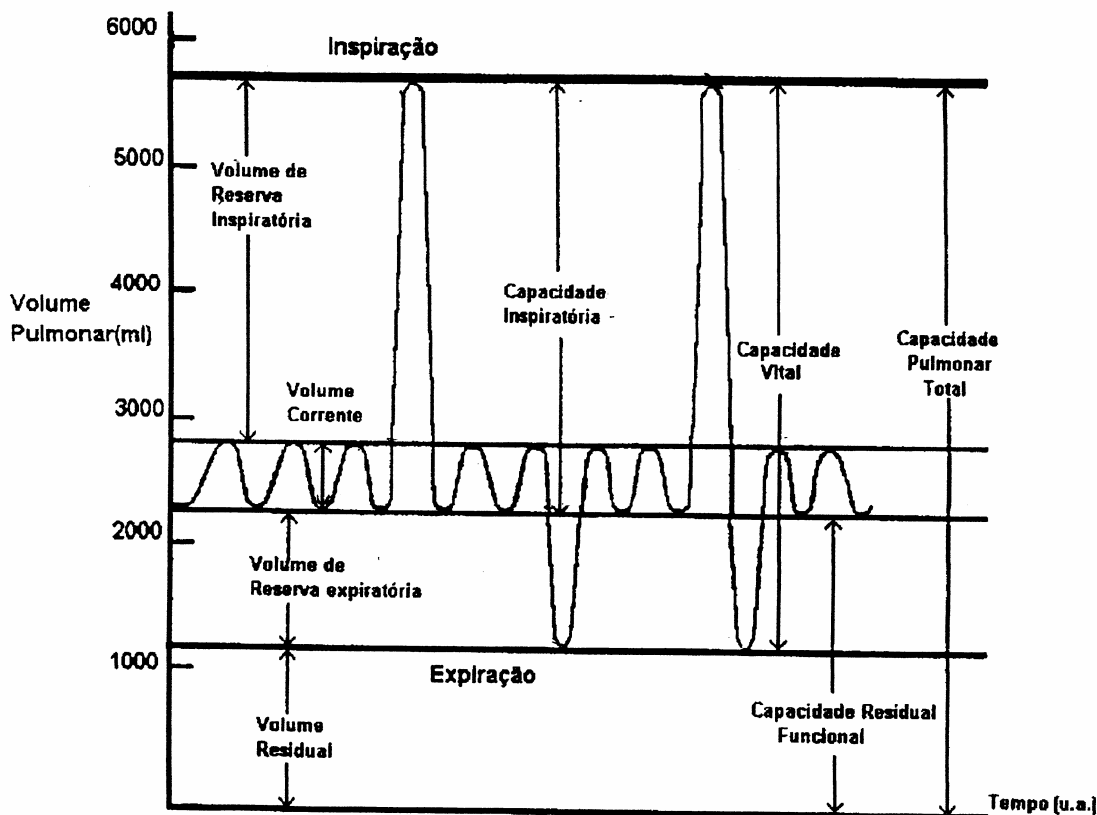


Figura 2. Valores estáticos de volumes e capacidades pulmonares ou função pulmonar humana (para um adulto do sexo masculino).

Medidas realizadas de forma direta (com um espirometro):

Volume corrente: é o volume de ar inspirado ou expirado em cada respiração normal.

Volume de reserva inspiratória: é o volume máximo de ar que pode ser inspirado a partir da posição final da inspiração normal.

Volume de reserva expiratório: é o volume máximo de ar que pode ser expirado a partir da posição final da expiração normal.

Volume residual: é o volume de ar que permanece nos pulmões ao fim de uma expiração máxima.

Capacidade vital: é o volume de gás máximo que pode ser expirado após uma inspiração máxima.

Capacidade pulmonar total: é o volume máximo de extensão dos pulmões com o máximo esforço inspiratório possível.

Capacidade inspiratória: é o máximo volume que pode ser inspirado a partir de um nível expiratório de repouso.

Capacidade residual funcional: é o volume que permanece nos pulmões ao nível expiratório de repouso.

### III.4. Propriedades dinâmicas do Sistema Respiratório

A pressão do sistema respiratório precisa vencer os componentes elásticos e resistivos do sistema respiratório. As **características elásticas (complacência) e resistivas** do sistema respiratório definem o seu comportamento dinâmico.

a. Características elásticas: a elasticidade é a propriedade da matéria que permite a um corpo retornar à sua forma original após ter sido deformado sob a aplicação de uma força. Os componentes elásticos do sistema respiratório são:

complacência pulmonar: é o grau de elasticidade pulmonar; depende do volume e da pressão transpulmonar. Seu valor normal é de 0,2 l/cm H<sub>2</sub>O.

Complacência da caixa torácica (tórax, diafragma, parede abdominal e mediastino): a complacência da caixa torácica representa 34% do valor da complacência pulmonar. Uma complacência elevada implica em ventilação fácil; complacência baixa implica em ventilação difícil.

b. Características resistivas: os componentes que caracterizam a resistência do sistema respiratório são:

resistência das vias aéreas: é a diferença de pressão entre os alvéolos e a boca, por unidade de fluxo aéreo. Representa a resistência das vias aéreas à passagem de fluxo (atrito das moléculas gasosas com as vias aéreas). Num adulto médio: 10cmH<sub>2</sub>O/l/s.

resistência tecidual: causada pelo atrito do deslocamento dos tecidos pulmonares, da caixa torácica, do diafragma e do abdôme.

Num adulto jovem e normal, resistência tecidual representa 20% e a resistência das vias aérea, 80% da resistência pulmonar.

### III.5. Insuficiência Respiratória

Insuficiência respiratória é a incapacidade do pulmão de manter as pressões parciais dos gases sanguíneos ( $O_2$  e  $CO_2$ ) normais. Pode resultar de fatores:

- ambientais;
- pulmonares/ventilatórios: neuro-musculares, restritivos (ppdds elásticas) e obstrutivos (ppdds reistivas)
- pulmonares/alvéolo-capilares: disfuncionais; alteração do quociente ventilação-perfusão

Fatores ambientais incluem a inalação de fumaça e gases tóxicos, como ocorre nos casos de incêndios e em acidentes com produtos químicos.

As lesões restritivas impedem a expansão da caixa torácica, a movimentação do diafragma ou a expansão do pulmão (deformidades do tórax, obesidade).

As lesões obstrutivas dificultam a chegada do ar até os alvéolos por reduzirem a luz das vias aéreas.

Os fatores disfuncionais causam defeitos na difusão e dizem respeito principalmente à alteração da membrana alvéolo-capilar, como no caso da síndrome de bloqueio alvéolo-capilar, onde ocorre espessamento da membrana e alterações da vascularização pulmonar.

#### **Patologias relacionadas à insuficiência respiratória:**

- atelectasia: caracteriza o colapso alveolar. Ocorre devido à obstrução das vias aéreas (por tumor cancerígeno) ou pela falta de surfactante nos alvéolos que diminui a tensão superficial do líquido alveolar.
- edema pulmonar: descreve uma situação de excesso de líquido no pulmões (espaço intersticial e/ou alvéolos), como resultado de infecção crônica e aguda ou obstrução das vias aéreas, causando redução da capacidade de difusão do pulmão.
- pneumonia: processo inflamatório dos pulmões que reduz a área da membrana respiratória e a relação ventilação/perfusão, diminuindo a capacidade de difusão.
- tuberculose: infecção pulmonar causada por bacilos tuberculosos, provocando a formação de lesões fibrosas. Aumenta a espessura e reduz a área da membrana respiratória, reduzindo a capacidade de difusão e aumentando o trabalho respiratório.
- Doenças pleurais como pneumotórax e derrames.

## IV. VENTILADORES

Os ventiladores pulmonares, segundo a divisão da UMDNS (Universal Medical Nomenclature System) e também usadas no ECRI, podem ser classificados em quatro subdivisões: 1. Ventilador para cuidado intensivo – adulto; 2. Ventilador para



cuidado intensivo – pediátrico; 3. Ventilador para transporte; e 4. Ventiladores portáteis.

Todos os tipos de ventiladores possuem características comuns, desejáveis em todos os ventiladores (abordadas a seguir em Componentes básicos de um ventilador), e peculiaridades (que serão abordadas adiante no texto).

#### IV.1. Componentes básicos de um ventilador

Na figura 3 é apresentado um diagrama em blocos mostrando os componentes básicos de um sistema ventilatório.

A mistura gasosa vinda do ventilador pulmonar é entregue ao paciente através do **circuito do paciente (figura 4)**, que contém entre outros componentes, cânulas ou tubos corrugados para a condução do ar, umidificadores, aquecedores, nebulizadores e filtros de bactérias.

Como **acessórios** pode-se relacionar misturadores e válvulas reguladoras de pressão.

A **alimentação** pode ser feita via rede elétrica e/ou a bateria na maioria dos equipamentos. A bateria externa pode ser utilizada por períodos curtos, durante interrupção do fornecimento de energia elétrica. Normalmente os ventiladores também possuem uma bateria interna, que pode ser usada (por até 1 hora) se a bateria externa for desconectada, como no caso do paciente ser movimentado de um local para outro. A bateria interna carrega-se automaticamente quando o ventilador é ligado na rede elétrica.

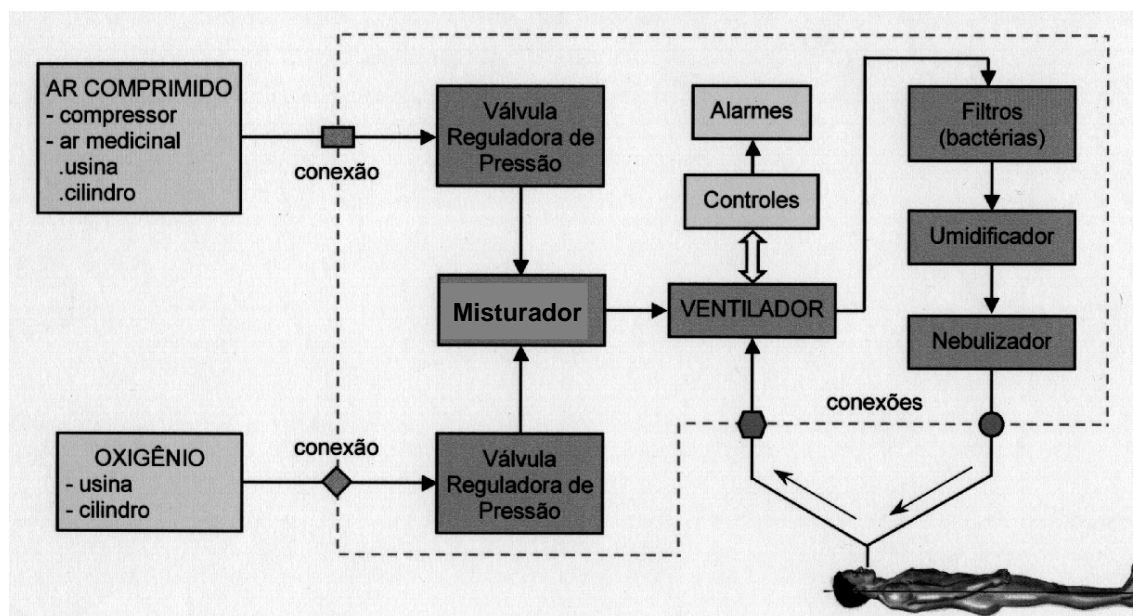


Figura 3. Diagrama em blocos de um ventilador pulmonar básico.

- **válvulas reguladoras de pressão:** são os elementos que fazem a regulação da pressão na entrada do ventilador, dos gases entregues ao paciente. Os gases vêm de fontes como cilindros e/ou usinas a pressões elevadas. Num sistema aberto como o mostrado, o controle de pressão ajusta o nível PIP (pico de pressão inspiratória).
- **misturadores:** são elementos acoplados à entrada de ar dos ventiladores, que têm a função de misturar adequadamente diferentes gases nas concentrações desejadas. Geralmente possui entradas para ar comprimido, oxigênio e nitrogênio. A fração de oxigênio inspirado ( $FiO_2$ ) pode ser ajustada para evitar hipoxemia e hipoxia (valores típicos entre 21% e 100%).

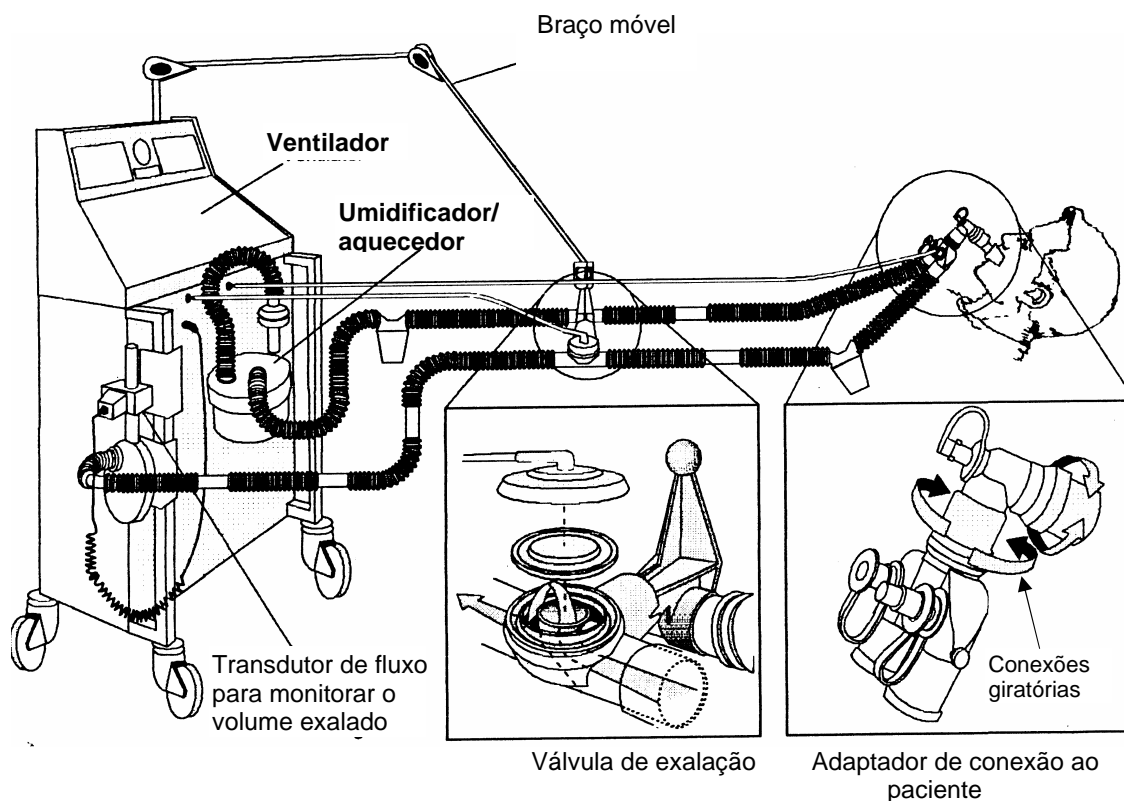


Figura 4. Circuito do paciente (modificado de Health Devices, 1994).

- **filtro de bactérias:** é usado para elevar a qualidade do ar entregue ao paciente têm como objetivo evitar a contaminação bacteriológica do paciente. Deve ser o último componente a ser conectado antes do circuito aéreo do paciente
- **nebulizadores:** são utilizados para administrar drogas pela via respiratória, na forma de aerossol, como por exemplo, broncodilatadores.
- **umidificadores:** são acoplados à saída dos ventiladores para acrescentar vapor d'água ao gás inspirado pelo paciente. São projetados para produzir uma quantidade máxima de vapor de água com uma quantidade mínima

de partículas d'água. São necessários porque a ventilação de pacientes por período prolongado, com ar comprimido ou gases de cilindro e em salas com ar condicionado, geram secreções brônquicas e alveolares mais secas que o normal. A formação de secreções solidificadas pode afetar a resistência das vias aéreas ao fluxo gasoso. A umidificação é feita com água filtrada e de preferência desmineralizada, e deve ser trocada periodicamente para evitar contaminação.

- **válvula de exalação ou expiratória:** o circuito do paciente possui ainda válvulas que permitem que o gás exalado pelo paciente saia para a atmosfera ou para outro circuito fechado. Quando o ar é entregue ao paciente, a pressão positiva precisa forçar o pulmão a receber o ar, e portanto é necessário que a via usada para expiração do ar seja fechada. Essa válvula tem as funções de fechar o circuito de saída na inspiração e abrir o circuito de saída na expiração.
- **alarmes:** os alarmes de um ventilador pulmonar não devem nunca ser permanentemente desabilitados. Servem para monitorar problemas que podem ocorrer durante a operação do equipamento, tais como: apnéia; pressão muito alta ou muito baixa; frequência do ciclo respiratório muito alta ou muito baixa; falta dos gases utilizados; desconexão do circuito ventilatório; bloqueio no circuito respiratório; perda de energia elétrica ou bateria muito fraca.
- **controles:** os controles serão vistos no item “IV.3. O controle básico de um ventilador”.

Os modelos mais completos possuem ainda sensores e interface para computador e através destes é possível monitorar e controlar diversos parâmetros, e também enviar até uma sala de controle e armazenar, as medidas críticas e alarmes e dados sobre o procedimento. Na figura 5 é apresentado um diagrama em blocos de um ventilador microprocessado.

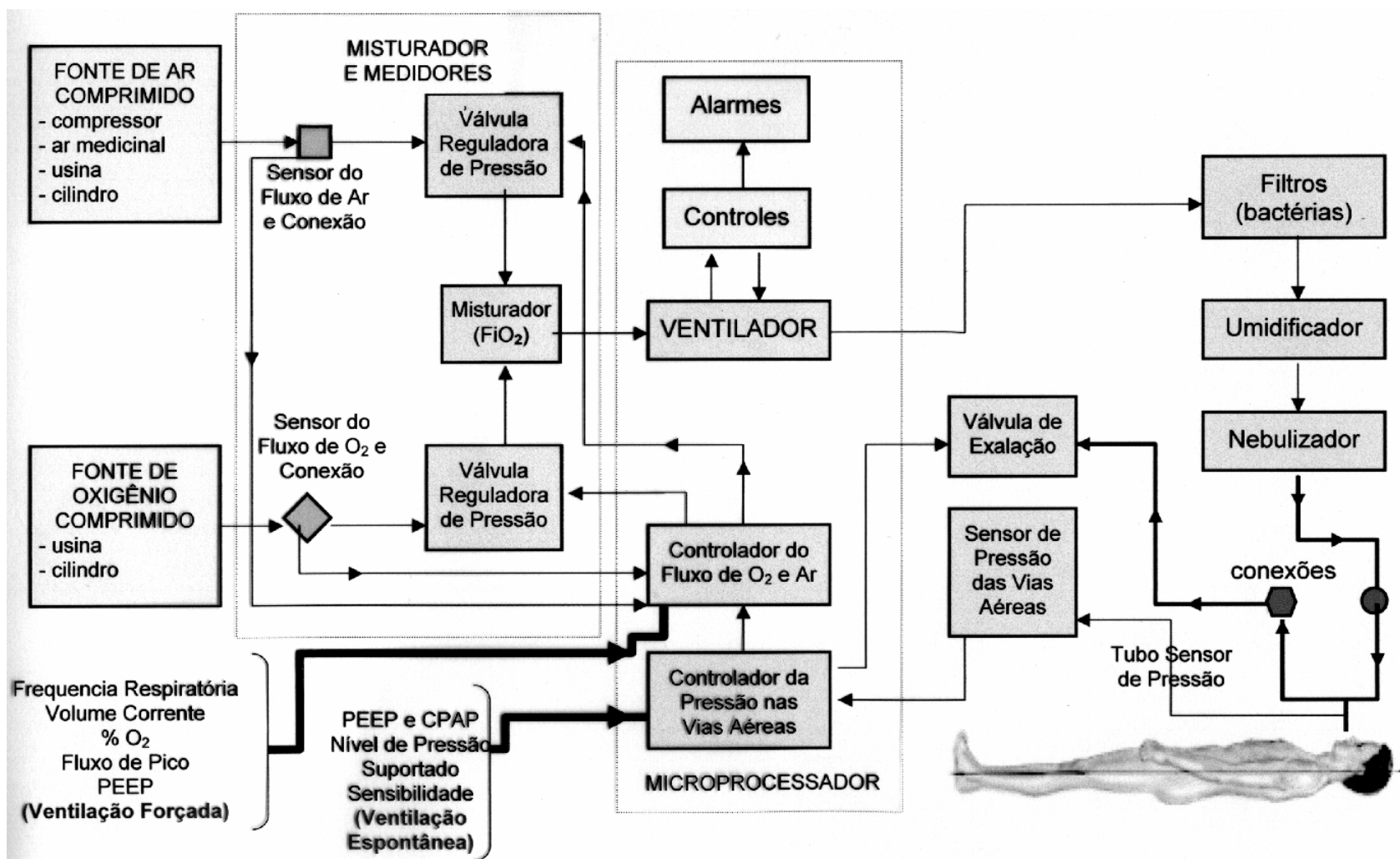


Figura 5. Diagrama em blocos de um ventilador microprocessado.

## IV.2. O controle básico de um ventilador

Para que o ventilador seja configurado a fornecer uma certa curva de ventilação, vários parâmetros devem ser configurados, como a duração das fases inspiratória e expiratória (taxa I:E), o tipo de forma de onda desejada, o volume de ar entregue, o volume-minuto desejado e o nível de PEEP (pressão positiva mantida no final da expiração).

Na figura 6 são comparadas a forma de onda da ventilação espontânea e uma forma de onda usada na ventilação forçada com pressão positiva.

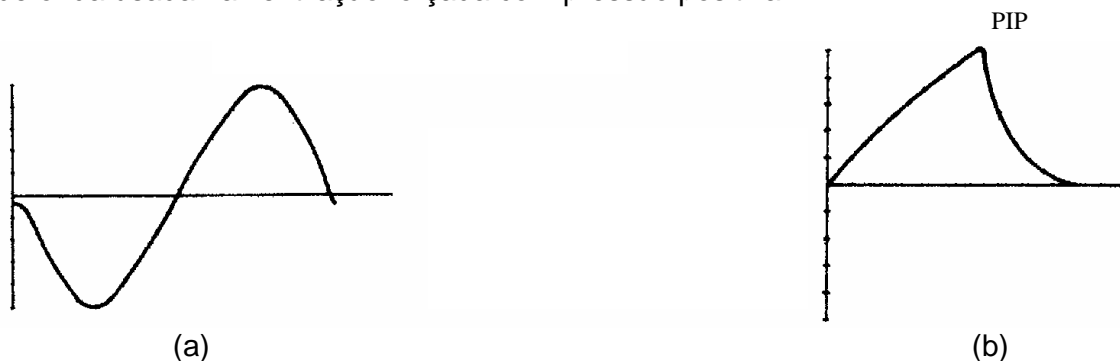


Figura 6. (a) Durante a ventilação espontânea, a pressão cai abaixo do zero atmosférico durante a inalação e sobe acima do zero atmosférico durante a expiração. (b) Durante a fase de pressão positiva, que corresponde à inalação, a pressão sobe acima do zero e cai a zero durante a expiração (PEEP = zero).

### a. Controles do ventilador

Os circuitos de controle são responsáveis pela maneira com que o paciente será ventilado. Basicamente os ventiladores possuem os seguintes controles:

#### ? **fluxo e/ou pressão e/ou volume:**

fluxo: ajusta o valor do pico de fluxo de ar a ser enviado pelo equipamento (l/min);

pressão: ajusta o pico de pressão a ser atingida. Num sistema fechado, o gás flui até PIP ser atingido, e então é desligado, sendo que a válvula de exalação permanece fechada durante o tempo inspiratório. Se um vazamento causar um decréscimo no nível de pressão, o fluxo pode ser re-iniciado até o PIP ajustado ser atingido. A unidade mais utilizada é a centímetros de água (cmH<sub>2</sub>O);

volume: ajusta o volume de ar a ser enviado ao paciente, geralmente apresentado em ml.

? **freqüência respiratória:** determina o número de ventilações geradas por minuto

? **relação I:E** (razão entre o tempo de inspiração e o de expiração)

? **tempo de inspiração:** controla o tempo disponível para inspiração, medido em segundos

? **tempo de expiração:** determina o tempo de expiração, medido em segundos

? **pausa inspiratória**: pode ser determinada em unidade de tempo (s) ou em percentual do tempo expiratório. Fecha as válvulas de inspiração e de expiração, fazendo com que o fluxo seja nulo

? **sensibilidade** (determina o nível de esforço que o paciente deve fazer para disparar um ciclo respiratório. O ventilador pode ser sensível a nível de pressão – medido em centímetros de  $H_2O$  – ou a um fluxo – medido em litros por minuto.

? **PEEP**: Positive End Expiratory Pressure. Este controle, ativo nas respirações controladas ou assistidas, ajusta um nível de pressão positiva ao final da expiração ( $cmH_2O$ ).

? **CPAP**: Continuous Positive Airway Pressure: controle ativo nas respirações espontâneas, mantém um nível de pressão positiva durante todo o ciclo ventilatório ( $cmH_2O$ ).

? **modalidades de ventilação** (abordadas em Transição da fase expiratória para inspiratória, do item IV.2)

Os tipos de controle dos mecanismos de funcionamento e/ou das válvula de saída, podem ser:

- **mecânico**: utiliza polias reguladoras, alavancas. Foi utilizado inicialmente nos ventiladores operados manualmente.
- **pneumático**: utiliza pressão de gás comprimido ou combinado com o oxigênio, para operar injetores, venturis, pistões e válvulas eletro-mecânicas.
- **por fluxo**: utiliza fluxo de gás para operar chaves de pressão
- **elétrico**: utiliza chaves eletro-mecânicas para controlar a operação do ventilador
- **eletrônico**: usa dispositivos eletrônicos (diodos, transistores, amplificadores operacionais, microprocessadores). O oxigênio é usado como forma de terapia e não como fonte de energia primária. Assim, em caso de falha no sistema de fornecimento de  $O_2$ , o equipamento continuará a funcionar, fornecendo gás atmosférico (concentração de  $O_2 = 21\%$ ). A pressão positiva pode ser obtida a partir de um pistão deslocado com o auxílio de um motor elétrico.

## **b. Ciclo ventilatório mecânico**

Na figura 7 é mostrada a curva com os padrões de pressão inspiratória e expiratória e componentes do ciclo respiratório durante ventilação mecânica

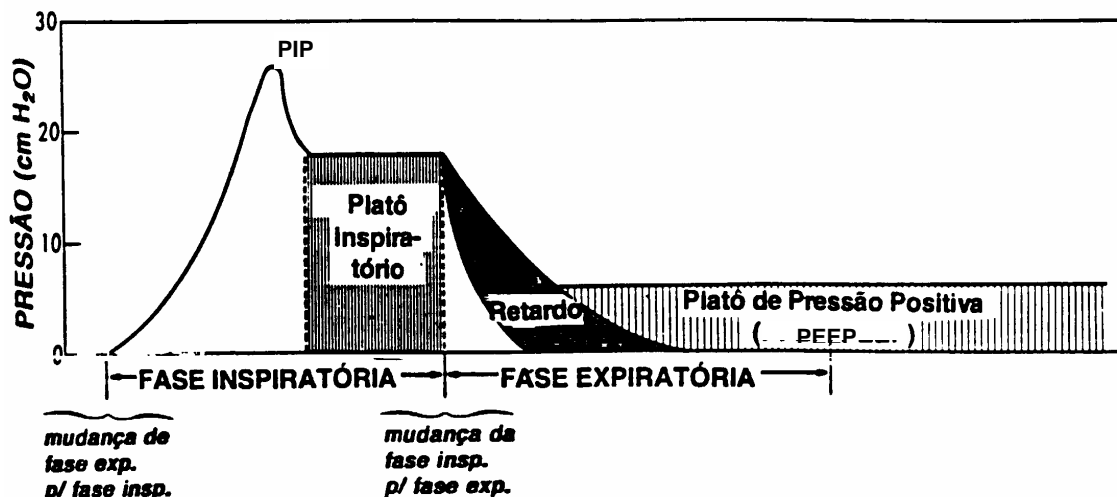


Figura 7. Componentes do ciclo ventilatório mecânico. PIP é o pico da pressão inspiratória e PEEP é o nível de pressão positiva no final da inspiração (modificado de Miller, 1989).

A interação entre as características dos componentes do ventilador e as vias respiratórias do paciente produz curvas de pressão (figura 7), fluxo e volume dependentes desta interação.

Para descrição desta interação, são estabelecidas 4 funções para o ventilador:

1. insuflar os pulmões
2. decidir quando parar de inflar
3. esvaziar os pulmões
4. decidir quando insuflar novamente

A estas funções correspondem 4 fases do ciclo ventilatório:

1. fase inspiratória e platô inspiratório
2. transição inspiração-expiração
3. fase expiratória
4. transição expiração-inspiração

**Fase inspiratória:** o fluxo gasoso inspiratório é estabelecido quando existe um gradiente de pressão entre a entrada das vias aéreas e o alvéolos, através de geradores de fluxo ou de pressão (constante ou não)

O **gerador de fluxo constante** produz um fluxo gasoso a uma razão uniforme durante toda a fase inspiratória. Para manter o fluxo constante apesar de alterações na pressão das vias aéreas, este gerador é impulsionado por uma fonte de gás sob alta pressão (3 a 35 lb/pol<sup>2</sup>) com um mecanismo a válvulas (solenóide) para regular o fluxo. Quanto maior o gradiente, menos provável que variações na resistência pulmonar alterem as características do fluxo.

Um **gerador de fluxo não-constante** produz razões de fluxo que variam durante a inspiração, mas a variabilidade de fluxo é constante de respiração para respiração.

Pode ser obtido com um pistão sob impulsionamento rotativo que produz um padrão inspiratório semelhante a uma senoide positiva.

Os **geradores de pressão constante** sustentam uma pressão uniforme durante toda a fase inspiratória, independente das mudanças na resistência pulmonar. A pressão impulsora do ventilador é ajustada para igualar-se à pressão máxima inspiratória (PIP) para aplicar o volume corrente. A saída de gás diminui à medida que a pressão nas vias aéreas se aproxima da pressão de impulsão, produzindo um padrão de desaceleração.

Os **geradores de pressão não constantes** desenvolvem pressão variável durante a inspiração, mas o padrão se repete de respiração para respiração.

**Platô inspiratório:** um platô estático representa um período com fluxo zero de inspiração mecânica, em que a válvula de exalação é mantida fechada. Em seguida, a pressão nas vias aéreas volta à linha básica. É produzido com um gerador ciclado por tempo e uma válvula de alívio de pressão ajustável.

**Transição de fase inspiratória para expiratória:** Três mecanismos principais terminam a fase inspiratória dos ventiladores:

- **Ventiladores ciclados a pressão** – terminam a fase inspiratória quando uma pressão pré-determinada é alcançada. Cessa o fluxo gasoso e uma válvula se abre permitindo a exalação. Condições de resistência alta das vias aéreas podem impedir que volumes adequados sejam atingidos.
- **Ventiladores ciclados a volume** – encerram a fase inspiratória após fornecer um volume pré-determinado de gás ao circuito de ventilação. Podem ocorrer perdas de volume em função da resistência das vias aéreas, da PIP e da complacência. Resistência alta e/ou complacência baixa podem produzir exalação prolongada, já que o volume selecionado não será atingido. O volume corrente pode ser obtido por gás comprimido em uma câmara de pistão.
- **Ventiladores ciclados a tempo** – encerram a fase inspiratória após um dado intervalo de tempo. As fases da ciclagem ventilatória são determinadas pelos tempos inspiratório e expiratório; pelo tempo inspiratório e pelo ciclo ventilatório total; ou pelo tempo inspiratório como porcentagem do ciclo total. O volume corrente fornecido é determinado pelo tempo inspiratório e pelo fluxo inspiratório.

**Fase expiratória:** a expiração mecânica começa quando a válvula de exalação se abre. A pressão pode retornar rapidamente à referência (atmosférica) ou pode ser despressurizada gradualmente para fornecer resistência à expiração, provocando um retardamento do fluxo gasoso, mantendo as vias aéreas periféricas abertas. Pode ainda permanecer pressurizada em nível baixo para fornecer **Pressão positiva expiratória final (PEEP)**. É obtida mantendo-se uma pressão residual na válvula de exalação durante a fase expiratória mecânica. Quando a pressão expiratória iguala-se à PEEP, a expiração cessa e os pulmões permanecem pressurizados em um volume maior que o de repouso (figura 8).



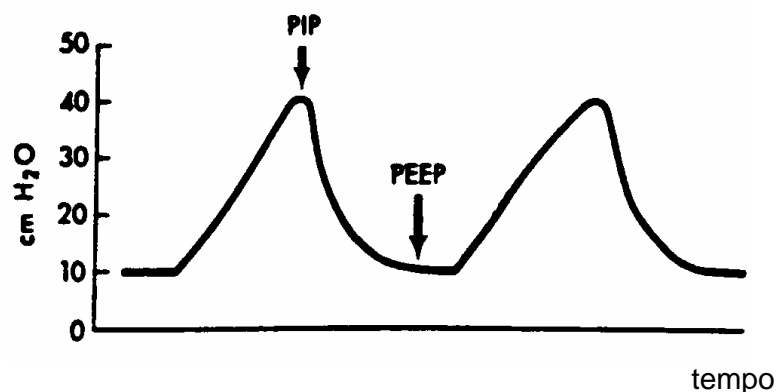


Figura 8. Curva de pressão x tempo com uso de PEEP.

A indicação básica da PEEP é a hipoxemia, ou seja, situações onde é impossível manter uma oxigenação adequada sem usar altas concentrações de oxigênio, como nos casos de edema pulmonar severo, que não melhora frente a tratamentos convencionais, insuficiência respiratória aguda.

A PEEP não deve ser usada em casos em que a hipoxemia não for devida a um “shunt” intrapulmonar, como nos casos de infisema pulmonar, asma brônquica e pneumotórax, enquanto o paciente não estiver com o dreno de tórax.

#### Transição da fase expiratória para inspiratória:

- **Ventilação controlada** - O ventilador fornece o gás necessário numa determinada frequência respiratória selecionada, sem que o paciente possa interagir com o ventilador. É utilizada quando o paciente (sedado ou inconsciente) não tem condições de respirar espontaneamente.
- **Ventilação assistida** - Nessa modalidade, o equipamento monitora a tentativa de respiração do paciente. Quando o paciente produzir um esforço igual ou maior que a sensibilidade selecionada no equipamento, o ventilador fornece a ventilação. O acionamento se dá por uma mudança na pressão do circuito do paciente, geralmente uma queda na pressão, indicando o início da inspiração espontânea (figuras 9 e 10).

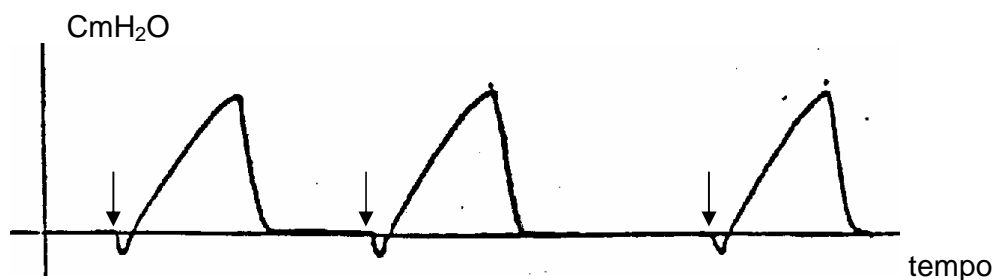


Figura 9. O início da inspiração espontânea é indicado pela queda de pressão.

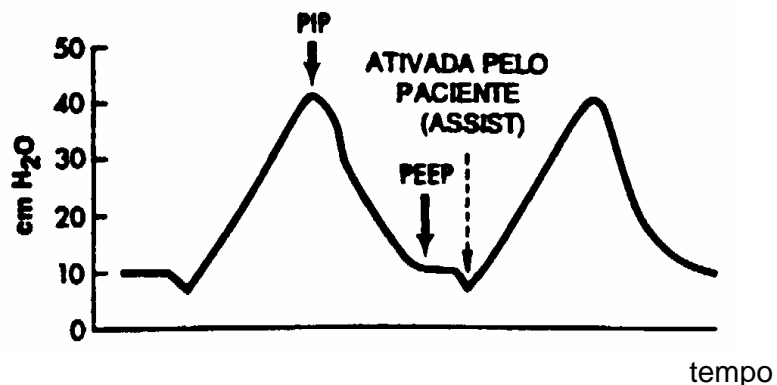


Figura 10. Ventilação assistida e uso de PEEP.

- **Ventilação assistida-controlada** - Quando o ciclo assistido não ocorre, o disparo por tempo é deflagrado, garantindo uma respiração mínima (figura 11).

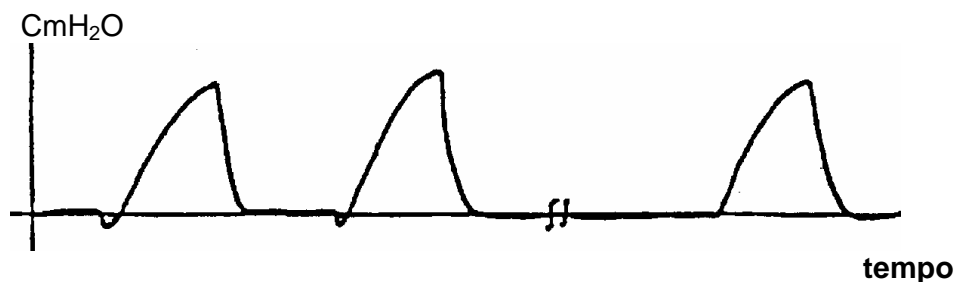


Figura 11. O ciclo ventilação de ventilação controlado ocorre quando nenhuma tentativa de respiração espontânea acontece dentro de um dado intervalo de tempo.

- **Pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP)** - Consiste na manutenção de pressão positiva ou acima da pressão atmosférica, nas vias aéreas durante todo o ciclo respiratório em pacientes com ventilação espontânea. A CPAP é indicada quando se deseja uma melhora da relação ventilação/perfusão, desde que o paciente tenha condições de respirar espontaneamente. Pode ser usada no tratamento de bebês, dispensando a intubação traqueal, mas pode causar pneumotórax. Causa muito desconforto e a máscara facial é de difícil manutenção, além de poder haver escape de ar.
- **Ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV)** - Na ventilação mandatória intermitente sincronizada, o paciente desencadeia o volume corrente obrigatório a intervalos regulares, mas pode respirar espontaneamente entre os intervalos. Quando é detectado que o paciente não fez a respiração espontânea, então ele age como no modo assistido. A ventilação espontânea é feita no próprio circuito do ventilador, através de um sistema de válvulas, sendo intercalada com ciclos mandatórios de

respiração. A ventilação mandatória intermitente IMV foi introduzida em 1971 no tratamento da síndrome de angústia neonatal e foi posteriormente popularizada como método mais eficiente de desmamar pacientes adultos da ventilação mecânica, pois permite ao paciente exercitar gradualmente seus músculos respiratórios.

- **Ventilação minuto-mandatória (MMV)** – Com esta técnica, de se aumentar mecanicamente a respiração espontânea, o paciente tem 1 volume-minuto (VM) pré-selecionado. O paciente respira espontaneamente tanto quanto possível e o restante é fornecido automaticamente pelo ventilador. Isto é obtido dirigindo-se um fluxo gasoso constante para dentro de um cilindro. Se não ocorrer nenhuma inalação deste gás, o cilindro se enche, deslocando um pistão até que atinja o volume corrente selecionado, quando o pistão é forçado para baixo, inserindo o volume de gás no paciente. À medida que o volume minuto espontâneo (VM) do paciente aumenta, o pistão leva mais tempo para atingir o nível no qual o volume corrente é desencadeado. A frequência ventilatória mecânica é progressivamente reduzida à medida que o VM espontâneo aumenta.
  
- **Ventilação com pressão de suporte (pressão assistida)** – Consiste no oferecimento de nível pré-determinado de pressão positiva e constante nas vias aéreas do paciente, aplicada apenas durante a fase inspiratória, após o ventilador “reconhecer” o início de uma inspiração espontânea. Difere da ventilação controlada, pois o término da fase inspiratória não é controlado pelo tempo, mas sim por fluxo, de forma que o próprio paciente controla seu tempo de inspiração. A fase inspiratória termina quando o fluxo cai a 25% do pico máximo no início da inspiração. Tem o objetivo de “aliviar” uma inspiração muito trabalhosa para a musculatura respiratória, ficando a cargo do paciente o controle do tempo, fluxo e volume inspirados, bem como da própria frequência respiratória. O volume corrente e o fluxo inspiratório são consequência do nível de pressão suporte empregado, da impedância (complacência e resistência) e do esforço muscular do doente. A seguir são apresentadas duas figuras: na figura 12 são comparados os modos de ventilação de suporte e controlada. Na figura 13 evidencia-se o controle por fluxo da pressão de suporte.

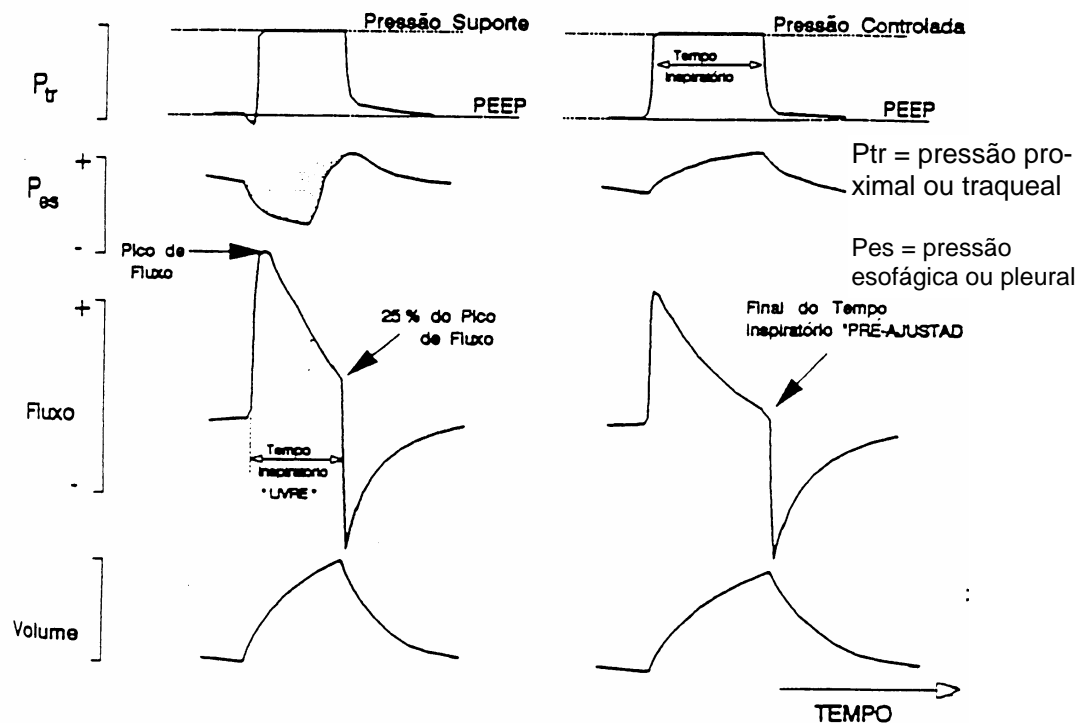


Figura 12. Curva de pressão, fluxo e volume nos modos de ventilação de suporte e controlada.

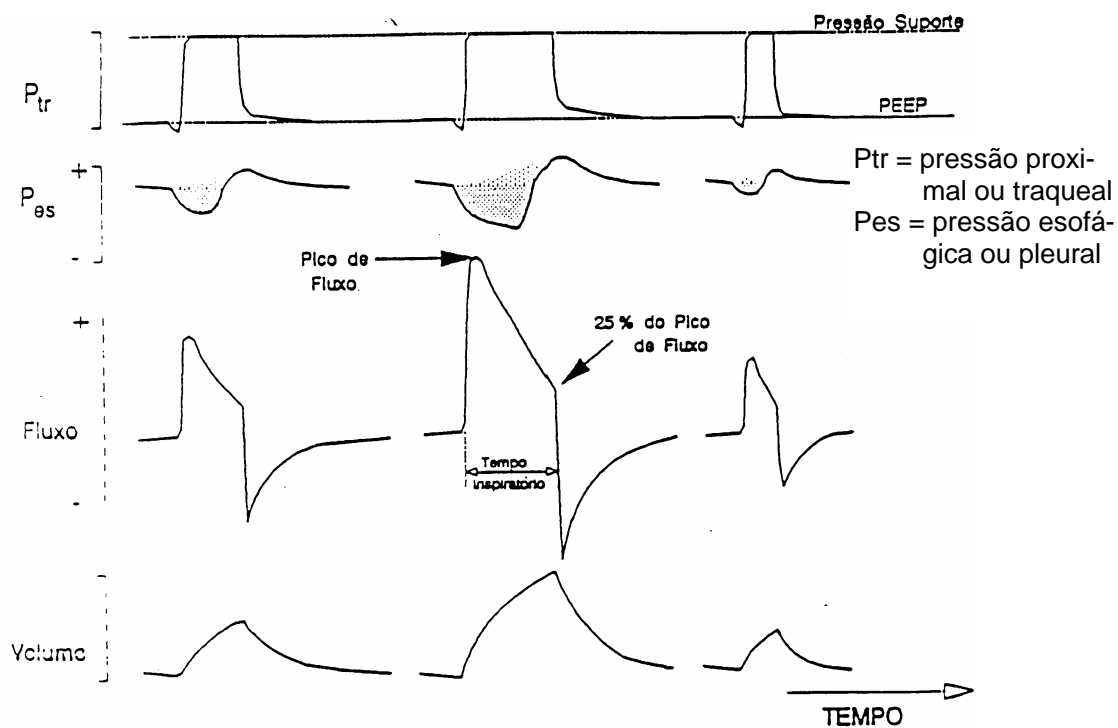


Figura 13. Controle por fluxo da pressão de suporte. A fase inspiratória termina quando o fluxo atinge 25% do pico máximo.

### IV.3. Particularidades do 4 tipos de ventiladores

#### a. Ventilador para cuidado intensivo – adulto



Ventiladores para cuidado intensivo, tipicamente consistem em um circuito flexível de respiração, um sistema de controle, uma fonte de gás, umidificador e aquecedor de gás, monitores/sensores e alarmes. Normalmente está associado a monitor de funções vitais (através de interfaces de comunicação). O próprio fabricante disponibiliza monitor (display) para acoplar ao ventilador.

A maioria dos ventiladores é microprocessada e regula a pressão, o volume ou o fluxo de gás para fornecer a pressão positiva de ventilação, assim como a fração parcial inspirada de oxigênio ( $\text{FiO}_2$ ).

O ar e o oxigênio podem vir de válvulas instaladas na parede (50 libras por polegada quadrada, psi) e o fluxo do gás para o paciente é regulado através de válvula. Alguns equipamentos reduzem a pressão inicial e depois regulam para entregar ao circuito de respiração. A mistura ar/oxigênio pode ser feita internamente ao ventilador ou num misturador apropriado (acessório).

Durante a inspiração, a válvula de exalação ou expiratória é mantida fechada para manter a pressão no circuito de respiração e nos pulmões.

O gás chega até o paciente e a exalação retorna, através do circuito de respiração, tubulação dupla flexível (corrugada). Após a fase de inspiração, a válvula de exalação se abre e o gás exalado é liberado no ambiente. A longo do circuito de respiração são instalados umidificador, aquecedor, coletor de vapor de água condensado, nebulizadores de drogas, sensores, etc.

Os controles são usados para selecionar o modo e os parâmetros de ventilação, tais como volume corrente, frequência respiratória, períodos inspiratório e expiratório,

forma de onda, volume minuto (volume inspirado por minuto), pico de fluxo, pico de pressão e valor de PEEP.

Alguns modelos dispõem de controle manual para o paciente disparar uma ventilação quando necessitar,

Ventiladores de cuidados intensivos controlam CPAP e PEEP através de restrição do fluxo na válvula de exalação.

O ventilador pode ser usado para fornecer inspirações profundas ou suspiros, em que são liberados volumes maiores que o corrente (150%) a intervalos regulares. Este modo de ventilação quase não é mais utilizado, devido ao perigo de barotrauma.

Os ventiladores para cuidados intensivos dispõem de todos os modos de operação e controle, e possui numeroso alarmes, para se ajustar às mais variadas necessidades de um paciente de UTI.

As variáveis que são normalmente monitoradas num ventilador de UTI são:

- indicação contínua de pressão das vias aéreas, assim como valor de pico, valor médio e linha de base de pressão;
- taxas de respiração espontânea e forçada (mecânica);
- taxa I:E;
- concentração de oxigênio;
- volumes exalados (espontâneo e mecânico) e acumulado por minuto (volume minuto exalado)

Quando disponível, no monitor ("display") são mostradas as curvas de pressão e volume ou fluxo no tempo, e os cálculos de parâmetros da mecânica pulmonar (complacência, resistência), a partir das variáveis monitoradas, para acompanhamento do progresso do paciente.

## **b. Ventilador para cuidado intensivo – pediátrico e neonatal**



**Ventiladores pediátrico e neonatal de cuidado intensivo** fornecem suporte ventilatório para bebês prematuros ou doentes que não conseguem respirar normalmente.

**Ventiladores ciclados a tempo** encerram a fase de inspiração ao fim de um intervalo de tempo pré-determinado, mas também são limitados a pressão: se um dado nível de pressão é alcançado, ele é mantido até o final da fase inspiratória. Justamente por isto, este é o modo mais adequado de controle da ventilação neonatal/pediátrica.

**Os pulmões dos bebês geralmente apresentam baixa complacência, volumes correntes pequenos, resistência alta nas vias aéreas e frequência respiratória elevada.**

Durante a ventilação ciclada a tempo, o fechamento temporizado da válvula de exalação desvia o fluxo de gás para o paciente. Alguns modelos apresentam fluxo de gás por demanda. O modo de demanda fornece um fluxo de gás para o paciente e um fluxo contínuo para compensar vazamentos no sistema e respiração fraca.

O **ventiladores pediátricos de cuidado intensivo** podem trabalhar com frequência convencional e/ou elevada.

A ventilação convencional mimetiza a respiração espontânea, tanto em frequência quanto em volume corrente.

Os ventiladores de alta frequência respiratória fornecem pequenos volumes correntes a uma pressão média constante nas vias aéreas e em frequências mais altas que as produzidas nas arfadas mais rápidas, evitando os dois extremos, alto e baixo, de volume pulmonar. Este tipo de ventilação permite controle independente de pressão arterial parcial de dióxido de carbono e de oxigênio. Seu uso ainda é alvo de estudos e seus defensores apontam redução da depressão circulatória e de barotrauma, o que melhora a troca gasosa em algumas crianças.

Um **sistema de ventilação neonatal** consiste basicamente em um circuito de respiração, um sistema de umidificação, mecanismos de controle, sensores/monitores e alarmes associados e fontes de gás e ar comprimido.

O circuito de ar é composto por tubos/cânulas de baixo calibre (? 1cm ou 3/8”) e conectores associados. Os controles são usados para determinar o modo de operação (assistido, controlado, assistido/controlado, IMV e SIMV, os 3 primeiros não são usados em neonatos) e as variáveis da ventilação. Tanto o modo IMV quanto o SIMV, além do suporte ventilatório, são frequentemente usados para o desmame da criança do ventilador.

**Ventiladores de cuidados intensivos** têm controles do tipo CPAP e PEEP regulados pelo fechamento da válvula de exalação durante a inspiração. CPAP aplicada nasal ou nasofaringealmente é utilizada em crianças que respiram espontaneamente e não precisam ventilação mecânica, com decréscimo da complacência pulmonar e colapso alveolar (componentes da doença da membrana hialina). Pode também abrir e reduzir a resistência das vias aéreas e por auxiliar na redistribuição do fluido intersticial, melhora a difusão de oxigênio através da membrana alveolar. PEEP mantém os pulmões expandidos para evitar colapso alveolar.

Alguns **ventiladores infantis** apresentam ventilação sincronizada pelo paciente (PTV): sensores (de impedância- do movimento torácico ou abdominal; de pressão ou fluxo) sentem quando a criança inicia um esforço de respiração espontânea e sincronizam a ventilação mecânica com a respiração da criança. Este modo contribui para reduzir o tempo de permanência na ventilação mecânica, mas deve ser utilizado com cuidado, devido à dificuldade de detecção precisa do esforço de respiração espontânea.

A razão I:E inversa (por ex, 2:1), em que o tempo de inspiração é maior que o de expiração, tem sido usado para reduzir o enfraquecimento de neonatos, prevenindo o colapso dos pulmões. Como é usada raramente, os equipamentos possuem alarme/aviso para quando este modo é setado. Não está disponível em todos os equipamentos.

### c. Ventilador para transporte



Os **ventiladores de transporte** são unidades ventilatórias de dimensões e peso reduzidos, e são projetados especificamente para uso em intervalos curtos de tempo, como em ambulâncias, na movimentação interna no hospital, no resgate de vítimas expostas a ambientes tóxicos, etc.

Possuem um número menor de alarmes (nível baixo de  $O_2$  e de bateria), já que o paciente está acompanhado de médico ou enfermeiro capacitado, e geralmente permitem apenas o modo controlado de operação, que fornece o gás necessário numa determinada frequência respiratória selecionada, sem que o paciente (sedado ou inconsciente) possa interagir com o ventilador. São alimentados por baterias recarregáveis, sendo que os modelos para uso militar também permitem alimentação na bateria do carro. Dependendo do modelo, pode ter alarmes numerosos (falha de energia, pressão nas vias aéreas alta ou baixa, falta de PEEP, etc) e operar no modo SIMV.



#### d. Ventiladores portáteis



Ventiladores portáteis proporcionam suporte ventilatório prolongado para pacientes que não necessitam de cuidados críticos complexos, podendo ser utilizados na casa do paciente, em situações de emergência, transporte em distâncias curtas, etc. Devem ser mais robustos que os de uso mais complexo, para permitir sua utilização em ambientes abertos, sob condições diversas de temperatura .

Pacientes que necessitam de suporte ventilatório por período prolongado incluem adultos e crianças com deficiência ou perda total das funções ventilatórias causadas por doenças neuromusculares, doenças pulmonares obstrutivas e restritivas crônicas, lesões da coluna, assim como recém-nascidos prematuros.

A maioria dos ventiladores portáteis são fáceis de operar e não possuem controles complexos como os de UTIs (adulta e neonatal), mas possuem mais alarmes, monitoramento e flexibilidade de operação que os ventiladores de transporte. Podem ser alimentados pela rede ou por bateria (interna ou externa) e incluem os controles apropriados para selecionar o modo de operação e alarmes.

Os ventiladores portáteis fornecem ar ambiente apenas ou enriquecido com  $O_2$  (vindo pequenos cilindros) ao ramo inspiratório do circuito de respiração, onde ele é umidificado e aquecido antes de ser entregue ao paciente. O ar é impulsionado para o circuito de respiração através de pistão acionado por motor. O  $O_2$  pode ser também fornecido direta e continuamente ao circuito de respiração.

Tubos de conexão mais flexíveis e resistentes são usados, para reduzir a tração na traquéia (a cânula de traqueostomia é a rota mais usual para a entrada do ar) e uma válvula de expiração próxima à conexão do paciente facilita sua instalação e remoção. Alguns modelos permitem ventilação nasal através de máscara facial para utilização noturna.

Ventiladores portáteis monitoram a pressão do ar nas vias aéreas e possuem alarmes para valores mínimo e máximo de pressão. A pressão é monitorada na conexão do paciente, o que produz medidas mais precisas que em outros pontos do circuito de respiração. A maioria dos problemas que ocorrem com esse tipo de ventilador de devem a falta de cuidado com a limpeza e trocas de tubos ou de erros do operador. Permitem os modos de operação assistido-controlado e SIMV, e pode operar ciclado a volume, tempo ou pressão.

## **V. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DE UM VENTILADOR MECÂNICO**

Com o objetivo de se preservar a microestrutura pulmonar e atender as demandas ventilatórias dos pacientes, as características mais importantes a serem analisadas em um ventilador mecânico são:

- sua capacidade de gerar pressão ou fluxo rapidamente;
- fluxo máximo disponível para a respiração assistida e/ou espontânea (pacientes em uma condição desconfortável podem exigir um pico de fluxo instantâneo de até 200l/min)
- bom nível de sensibilidade e rapidez de disparo
- baixo nível de resistência interna a ser vencida pelo paciente durante a inspiração nos modos espontâneo e assistido, principalmente em níveis baixos de suporte ventilatório
- disponibilidade de vários modos de ventilação
- sistema de segurança para os diferentes modos de ventilação assistida, caso o paciente entre em apnéia
- sistemas de alarme e monitorização disponíveis

## **VI. PATOLOGIAS ASSOCIADAS À VENTILAÇÃO MECÂNICA**

Algumas patologias estão associadas ao uso de ventiladores mecânicos. As mais comuns são:

1. **Pneumonia:** a pneumonia associada a ventilação (PAV) é o problema mais comum no uso de ventiladores de cuidado intensivo. É desencadeada por um edema inicial que eleva a umidade do pulmão. Pode ocorrer devido a falha no sistema de umidificação, insuficiência cardíaca e baixa diurese. Pode ser prevenida com a troca constante do circuito de respiração e com o dreno de secreção subglótica e intubação oral em vez de nasal.
2. **Atelectasia:** atelectasia difusa é outra complicação comum em pacientes submetidos a ventilação mecânica e ocorre quando o paciente recebe um volume corrente muito próximo ao normal (6 a 8 l/min) durante um longo período de tempo. Atelectasia localizada é geralmente provocada por secreções retidas ou obstrução das vias aéreas por corpo estranho, ou por introdução do tubo no brônquio direito.
3. **Intoxicação por oxigênio:** ocorre se o nível de oxigênio for superior a 21% por um período prolongado, ou por níveis maiores em períodos menores. A administração de oxigênio em concentrações iguais ou maiores que 60% por mais de 48 horas, causa dispnéia progressiva, tosse, dor retroesternal, diminuição da complacência pulmonar e hipoxemia.
4. **Barotrauma pulmonar:** os altos picos de pressão gerados pela ventilação mecânica podem contribuir para a indução de alterações cardiovasculares e respiratórias. A ocorrência de barotrauma é mais comum em pacientes submetidos a ventilação por pressão positiva contínua. É caracterizada por

pneumotórax, pela ruptura dos alvéolos e até pelo vazamento de ar pelos bronquíolos, o que pode acarretar um quadro de enfisema intersticial, com o aumento da resistência das vias aéreas e menor eficiência dos músculos respiratórios.

5. Lesão traqueal: é uma das complicações mais comuns e sérias da intubação endotraqueal; é provocada pela pressão do “cuff” insuflado sobre a mucosa traqueal. A laringoscopia após períodos de intubação até 48 horas revela graus variados de inflamação e edema na epiglote e cordas vocais. Períodos de intubação mais prolongados podem causar ulcerações e até necrose na entrada da laringe.
6. Hipoventilação: pacientes em ventilação mecânica podem inesperadamente hipoventilar e desenvolver hipoxemia e hipercabia decorrentes de falhas nos ventiladores, desconexão acidental, vazamentos no circuito de respiração ou obstrução do tubo endotraqueal. Pode ocorrer também por um súbito aumento da demanda ventilatória sem alteração do volume minuto, como em estados febris, convulsões, aumento do espaço morto devido a embolia pulmonar, etc. Nos ventiladores de uso pediátrico e neonatal, a alta resistência das vias aéreas da criança, e o diâmetro reduzido da tubulação, pode causar uma diferença grande entre a pressão proximal (medida pelo manômetro no ventilador ou colocado no circuito de ventilação) e a pressão alveolar, levando à hipoventilação do paciente.
7. Hipotensão: a pressão positiva do ventilador produz uma redução do retorno venoso ao coração e uma queda do débito cardíaco, podendo causar queda na pressão arterial. O uso da IMV permite que o paciente respire espontaneamente nos intervalos do ventilador, restabelecendo as relações normais de pressão intratorácica.
8. Complicações gastrointestinais: úlceras agudas no estômago e no duodeno são relativamente comuns em pacientes sob ventilação mecânica, geralmente causadas pelo “stress” produzido pela doença. Também é comum a distensão abdominal devido à injeção do volume corrente nos pulmões, e ao “cuff” do tubo endotraqueal mal insuflado.
9. Lipoperoxidação dos lipídios dos pulmões: pode ocorrer por formação de uma toxina - dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) - durante a inalação de óxido nítrico (NO), um potente vasodilatador pulmonar usado em cuidado intensivo pediátrico e neonatal, em condições envolvendo hipertensão pulmonar e problemas com a relação perfusão/ventilação. Deve-se utilizar as concentrações mais baixas possíveis de NO e de O<sub>2</sub>.

Nota: existem vários tipos de tubos e cânulas endotraqueais: sem e com “cuff”, de pressão alta e baixa:

- tubos sem “cuff”: só podem ser usados em crianças até 12 anos. Não podem ser usados com ventiladores ciclados a pressão e instalação de PEEP; não mantêm um volume corrente adequado; podem ser deslocados facilmente.

- tubos com “cuff” auto-insuflante/desinsuflante: possuem orifício na face interna que faz comunicação do “cuff” com o interior do tubo endotraqueal. Insufla-se automaticamente durante a inalação; protege a traquéia, mas não previne a aspiração; dificulta a manutenção do volume corrente constante; e propicia o deslocamento do tubo endotraqueal.
- Tubos com “cuff” de alta pressão: são facilmente introduzidos nas situações de emergência, porém a alta pressão pode causar necrose traqueal precocemente. Não devem ser usados além de 1 semana.
- Tubos com “cuff” de baixa pressão e alto volume: ocluem as vias aéreas de modo satisfatório, ao mesmo tempo que exercem um mínimo de pressão na mucosa traqueal, desde que sejam insuflados corretamente (quantidade de ar para ocluir a traquéia). São os tubos que causam menos complicações.

## VII. TESTES MÍNIMOS DE SEGURANÇA

Para evitar ou minimizar os problemas decorrentes da utilização de ventiladores mecânicos, é necessário conhecer o funcionamento do equipamento, utilizar equipamentos confiáveis operados por pessoal treinado, realizar inspeção pelo menos semestralmente e verificar seu estado operacional antes de cada uso.

Após cada uso o ventilador deve ser testado para verificação de seu desempenho antes que seja utilizado no próximo paciente. Idealmente deve ser feito o procedimento de verificação operacional completa, estabelecido pelo hospital e geralmente baseado nas recomendações do fabricante.

Nos equipamentos microprocessados o auto-diagnóstico é realizado em poucos minutos. Nos equipamentos mais antigos, que não possuem diagnóstico automático, a verificação operacional tem de ser feita manualmente, podendo demorar até uma hora. Como nem sempre há tempo disponível para a verificação completa entre as utilizações do ventilador, pelo menos um procedimento mínimo deve ser realizado. O procedimento mínimo reduz o tempo de verificação para menos de 20 minutos, e deve ser usado apenas quando não há tempo suficiente para o procedimento completo, e não como rotina.

A seguir são listados os **procedimentos mínimos de verificação operacional de ventiladores**, conforme indicados no Guidance Article da Health Devices (1997, vol. 26, nos. 9-10, pp 383 e 384).

**Alarme de perda de bateria:** com o equipamento ligado (mas não em uso no paciente), desconecte momentaneamente e reconecte a fonte de energia. A bateria de reserva e os alarmes de desconexão devem funcionar apropriadamente.

**Teste de lâmpadas:** as lâmpadas são testadas de acordo com o procedimento indicado pelo fabricante.

**Alarmes visual e audível:** desconecte as entradas de oxigênio e de ar separadamente para verificar os alarmes correspondentes. Usando um pulmão de teste fazer a checagem dos alarmes de pressão baixa, volume exalado baixo e de apnéia (desconectando momentaneamente o circuito); checar o alarme de pressão alta (ocluidando o circuito) e o de relação I:E (criando uma situação de razão inversa).

**Pressão proximal nas vias aéreas e PEEP:** selecionar o nível de PEEP desejado e ciclar o ventilador num pulmão de teste. O manômetro deve ciclar e retornar para a linha de base apropriada. Desconectar momentaneamente o ramo inspiratório do circuito e checar o “zero” do manômetro ( $\pm 1$  cm H<sub>2</sub>O).

**Teste de vazamento:** podem ser feitos dois tipos de teste: (1) ocluir a conexão para o paciente, selecionar níveis máximos para pressão alta e volume corrente e mínimos para pico de fluxo e frequência, e iniciar a ventilação. O manômetro deve indicar a pressão máxima selecionada e disparar o alarme; (2) selecionar pausa inspiratória  $\geq 2$  s (se possível) e PEEP = 0 e verificar se a pressão do platô inspiratório não “flutua” mais do que 10%.

**Modos:** selecionar um modo de operação e verificar (usando um pulmão de teste) a ventilação estabelecida conforme o ventilador cicla.

**Frequência de ventilação entregue e medida:** contar o número de inspirações que ocorrem num intervalo cronometrado. A diferença entre os valores obtido, programado e mostrado no “display” (se houver) deve ser no máximo  $\pm 1$  respiração por minuto.

**Volume entregue e medido (corrente, de suspiro e minuto):** Usar um dispositivo externo (por exemplo um expirômetro) para medir volume exalado. Ciclar a máquina conectada a um pulmão de teste e comparar os volumes exalados. Disparar manualmente um suspiro (se possível) e medir o volume exalado. As medidas devem estar dentro de  $\pm 5\%$  dos valores programados.

**Sensibilidade:** colocar o ventilador no modo assistido. Apertar e soltar o pulmão de teste: deve ocorrer uma inspiração quando a pressão cair abaixo do nível de sensibilidade escolhido.

**Calibração de oxigênio:** expor o sensor de O<sub>2</sub> ao ar ambiente (21%) e ao O<sub>2</sub> da parede (100%), e calibrá-lo. As leituras devem indicar um valor com diferença máxima entre + e - 3% do valor de teste. Programar uma concentração de O<sub>2</sub> e verificar se a concentração medida pelo sensor está entre + e - 6% do valor inicial.

**Nebulizador:** ligar o nebulizador e verificar se existe fluxo na saída do mesmo a cada ciclo inspiratório. Quando estiver sendo usado no paciente, verificar se o volume de solução restante é adequado para as taxas de ventilação e I:E estabelecidas.

**Filtros:** os filtros de inspiração (se houver) e de expiração devem ser trocados a cada novo paciente e periodicamente durante a permanência do paciente no ventilador, de acordo com o procedimento do hospital.

**Umidificador:** medir periodicamente a temperatura e a vazão da água para o umidificador, durante a ventilação, para verificar se está apropriada.

**Alarmes na condição de operação remota (se existir):** estabelecer uma condição de alarme (pressão baixa, por exemplo) e verifique se ocorre a notificação do alarme na localização remota.

Os **ventiladores microprocessados** possuem programas residentes de auto-checagem e diagnóstico. Para se ter uma idéia dos testes de auto-checagem e diagnóstico de equipamentos microprocessados, a seguir são listados os **procedimentos automático e estendido** de um ventilador da família 7200 da Bennett:

- **Procedimento automático:** Normalmente a cada vez que é energizado, o ventilador executa automaticamente rotinas que avaliam sua integridade elétrica e que são capazes de detectar falhas na parte eletrônica. Os testes são executados de maneira a recrutar a cada vez, um número maior de componentes, possibilitando identificar um componente defeituoso.
- **Procedimento estendido:** Este procedimento é deflagrado voluntariamente, e analisa mais completamente a parte de “hardware”. Em conjunto com as rotinas do procedimento automático, avalia a integridade operacional do ventilador, verificando o funcionamento das partes pneumáticas, da memória RAM alimentada por bateria, do ventilador de “back up”, dos controles e indicadores do painel de controle frontal. Também calcula a complância do sistema, a área da válvula de exalação e detecta possíveis vazamentos. Deve ser executado quando um novo paciente vai ser acoplado ao ventilador, quando o circuito do paciente é substituído, quando o ventilador passa por manutenção, ou para auxiliar o pessoal técnico a localizar partes defeituosas.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

Chatburn, R. L. (1991). A new system for understanding mechanical ventilators, Respiratory care, vol. 36, no. 10.

Dupuis, Y. G. (1992). Ventilators: Theory and Clinical Application, 2<sup>nd</sup> edition, Mosby Year Book Inc, St. Louis, USA.

Health Devices (1994), Breathing Circuits for critical care ventilators. Vol. 23, no. 4, pp 104-107.

Miller, R. D. (1989). Tratado de anestesia, vol. 3, cap. 63, Editora Manole, SP, Brasil.

Moreira, C. M. M. (1996). SIMVEP Simulador de ventilação pulmonar, Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, SP.

Ventilators, Intensive Care (1999). ECRI, Health care Product Comparison System (HPS)

Ventilators, Transport (1999). ECRI, Health care Product Comparison System (HPS)

Ventilators, Portable (1999). ECRI, Health care Product Comparison System (HPS)

Ventilators, Intensive Care, Neonatal/Pediatric (1999). ECRI, Health care Product Comparison System (HPS)