

A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS VENTILADORES PULMONARES: ANÁLISE DOS REGISTROS DE FALHAS E MANUTENÇÃO DOS VENTILADORES PULMONARES ATENDIDOS PELA FORÇA TAREFA DE ENFRENTAMENTO À PANDEMIA DA COVID-19 NOS ESTADOS DA BAHIA E CEARÁ

MARIA DA CONCEIÇÃO DOS SANTOS
Bacharelado em Engenharia Mecânica
com Habilitação em Automação Industrial

E-mail: Maria.santos1812.mds@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1611-8671>

RESUMO

Os ventiladores pulmonares, muitas vezes mencionados como respiradores pulmonares, são equipamentos de suma importância para suporte da vida do paciente com algum tipo de deficiência respiratória, seja de natureza transitória ou permanente. Com o suporte desses aparelhos, o paciente tem a possibilidade de realizar a ventilação pulmonar de forma artificial, ação tão indispensável para a sobrevivência do corpo humano. Acredita-se que aproximadamente no ano de 1555, surgiram as primeiras demonstrações que a vida poderia ser conservada pela insuflação de ar nos pulmões por intermédio de um balão com ar enquanto o animal estivesse com o tórax aberto. A partir daí, vários métodos e equipamentos de ventilação mecânica foram iniciados e empregados. Ou seja, esses equipamentos sempre tiveram um papel primordial para a manutenção da respiração em pacientes que apresentam alguma deficiência respiratória. Mas essa importância só chegou ao conhecimento geral da sociedade, infelizmente devido à pandemia da COVID-19. Para entendermos a função e o funcionamento dos ventiladores pulmonares e sua interação com o sistema respiratório tornou-se importante um estudo sucinto da anatomo-fisiologia da respiração humana, a apresentação das principais patologias, traumas geralmente relacionados à necessidade de ventilação mecânica e identificar as diferenças entre as terminologias ventilador e respirador em seu contexto. E saber como esses equipamentos funcionam e podem salvar vidas. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a evolução tecnológica dos ventiladores pulmonares no que tange à ocorrência de falhas e soluções através de análises de dados e revisão bibliográfica, resultando num conhecimento dos ventiladores pulmonares, com ênfase as falhas encontradas pelo time dos registros de falhas e manutenção dos ventiladores pulmonares atendidos pela força tarefa de enfrentamento à pandemia da COVID-19 nos estados da Bahia e Ceará com objetivo de aprimorar o entendimento do funcionamento, a calibração e a confiabilidade do uso dos ventiladores pulmonares.

Palavras-chaves: Análise, Falhas, Ventiladores Pulmonares.

ABSTRACT

Respiratory ventilators, also known as lung ventilators, are critical equipment to treat temporary or permanent respiratory conditions. They provide patients with the capacity to breath artificially, therefore keeping a vital function of the human body. The first demonstrations that life could be maintained by insufflating air into the lungs took place in 1555. In these demonstrations, air was pushed into the lungs of animals through an air balloon. From this point, several equipment and techniques were developed and applied. This equipment has had a key role by supporting patient breathing. Such a role, however, has only been widely acknowledged by society because of the coronavirus pandemic. In order to understand how ventilators function and how they interact with the human respiratory system, it is important to briefly study the physiology of human respiration, the main pulmonary conditions, traumas related to the need of mechanical ventilation as well as the differences between ventilators and respirators, how they function and when they may be applied to save lives. The objective of this study is to investigate the technological evolution of respiratory ventilators based on their failures and capacities. This study has been carried out through data analysis and bibliographical review. Data analyzed in this study, in particular maintenance records and failure logs, came from engineers' task-forces that worked on the maintenance of ventilators in the states of Bahia and Ceará during the pandemic. The study findings include details regarding the operation of ventilators, their calibration and their reliability.

Keywords: Analysis, failures, respiratory ventilators.

•

1. INTRODUÇÃO

A área da medicina desde o início do século XIX vem passando por intensas transformações com a introdução de inovações tecnológicas voltadas ao seu meio. Iniciando-se com a descoberta das aplicações médicas do raio-x por Rontgen¹ no ano de 1895, em seguida tivemos a criação do eletrocardiógrafo em 1903, por Einthoven², a evolução tecnológica tem contribuído até os dias de hoje a transformar os ambientes hospitalares antes depósitos de doentes em verdadeiras instituições curativas. Com esses avanços da tecnologia na área da medicina, os serviços voltados à saúde puderam contar com diversos aliados, como instrumentos rotineiros utilizados na terapia, diagnósticos de patologias e até robôs cirúrgicos. Como os robôs cirúrgicos Da Vinci (The Da Vinci Surgical System) do hospital Sírio Libanês - São Paulo.

Mas regressando ao início da década de 70, tivemos relatos de graves acidentes nos ambientes hospitalares, por falhas em dispositivos elétricos e mecânicos, foi exposta toda uma problemática envolvendo a utilização de equipamentos médicos. Foram apontadas evidências de aproximadamente 1.200 (mil e duzentos) vítimas anualmente eletrocutadas por equipamentos médicos, durante procedimentos de diagnóstico e terapia em hospitais americanos, Mesmo não tendo rigor estatístico suficiente, esses fatos chamaram a atenção dos profissionais da área da saúde e a sociedade dos Estados Unidos na época, induzindo-os a adotar normas técnicas de segurança e a implantarem métodos de verificação periódica de aparelhos médicos instalados em seus hospitais. Implementação dessas prescrições obrigatórias resultou na criação de um novo profissional nos ambientes de saúde, o engenheiro clínico.

Esses profissionais passaram gradualmente a se envolver com outros aspectos da utilização de tecnologia nos hospitais, a princípio designados para lidar com as questões emergentes da segurança elétrica. Daí a engenharia clínica passou

¹ **Wilhelm Conrad Rontgen:** Foi um físico e engenheiro mecânico alemão. Em 8 de novembro de 1895, produziu e detectou radiação electromagnética nos comprimentos de onda correspondentes aos atualmente chamados raios-x. Por essa descoberta recebeu seu primeiro Nobel de Física, em 1901.

² **Willem Einthoven:** Foi um médico neerlandês, recebeu o Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1924.

a cooperar na compra, análise técnica, manutenção corretiva e preventiva dos aparelhos médicos, buscando através da minimização de custos, elevar a eficiência dos processos relacionados a esses equipamentos.

A definição da função do engenheiro clínico dentro dos hospitais e das instituições de saúde é o gerenciamento de tecnologia médica no que se refere ao planejamento das atividades.

As primeiras atividades de engenharia clínica no Brasil foram identificadas no começo da década de 80. Mas conhecido com o nome de engenharia hospitalar, vários grupos de trabalho administravam diversos serviços e executavam a manutenção corretiva.

A evolução tecnológica dos aparelhos para auxílio das funções vitais como circulação sanguínea e respiração, deu a possibilidade de sobrevivência aos pacientes vítimas de acidentes e doenças graves. Onde podemos citar os ventiladores pulmonares como um exemplo da categoria desses equipamentos, oferecendo suporte na ventilação do aparelho respiratório do paciente e utilizado largamente nas rotinas de tratamento intensivo nos hospitais, clínicas e ambulâncias.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo trazer novas concepções no que se refere ao entendimento do funcionamento, a calibração e a confiabilidade do uso dos ventiladores pulmonares.

1.2 Específicos

- Avaliar através dos registros de falhas e manutenção dos ventiladores pulmonares, seu funcionamento e calibração dos estados da Bahia e Ceará;
- Descrever a interação do aparelho respiratório humano como os ventiladores pulmonares;
- Relatar as falhas encontradas pelos times de reparos feitos nos ventiladores pulmonares pela força tarefa devido à pandemia da COVID-19 nos estados da Bahia e Ceará;

1.3 Justificativa

A evolução tecnológica dos ventiladores pulmonares, ao mesmo tempo em que amplia as chances de intervenção e monitoração a pacientes graves, em tratamento eletivo ou de urgência em insuficiência respiratória nos ambientes hospitalares, clínicos e ambulâncias que prestam serviços de assistência médica e aumenta a segurança da ventilação. Portanto, traz para a equipe envolvida crescentes desafios e dificuldades em conhecer e ampliar todos os recursos disponibilizados. Pode-se dizer então, que nem toda inovação tecnológica é acompanhada de benefício no cuidado do paciente. Muitas inovações tecnológicas que envolvem os ventiladores pulmonares foram pouco apreciadas e ensaios comparativos que mostrem essas diferenças significativas são raros. A inovação pode ser deletéria em alguns casos, quando utilizada sem preparo adequado e a experiência necessária. Dessa maneira, acreditamos que a escolha de ventiladores pulmonares para hospitais, clínicas e ambulâncias que prestam serviços de assistência médica a esses pacientes vão muito além da escolha baseada em alguns aspectos diferenciados presentes em um ou outro equipamento. O preparo e o treinamento da equipe são determinantes. Como o suporte e manutenção que devem ser ofertados aos hospitais, clínicas e ambulâncias que prestam o serviço (CORNIALI, 2020).

O passo inicial para a escolha de um ventilador pulmonar está em entender as características do hospital, clínica, UPA (Unidade de Pronto Atendimento), UTI em que será utilizado o equipamento e como a equipe pretende ventilar seus pacientes. O método de ventilação deve ser escolhido de acordo com evidências clínicas, pela experiência da equipe, embasada em protocolos específicos e principalmente na fisiopatologia do problema pulmonar a ser tratado (Jornal Brasileiro de Pneumologia, on-line version ISSN 1806-3756).

Segundo a Fisioterapeuta de uma das Unidades de Pronto Atendimento (UPA) da cidade de Alagoinhas, Bahia, Julia Peixoto, os ventiladores pulmonares são equipamentos de suma importância na intervenção e monitoração a pacientes graves, em tratamento de insuficiência respiratória. Não sendo uma exclusividade à pandemia da COVID-19.

Por esses motivos pretende-se estudar inovações relacionadas à ocorrência de falhas e soluções. Mas, que visem racionalizar investimentos, reduzir custos, e aumentar ainda a qualidade desses equipamentos.

1.4 Metodologia

Tendo em vista demonstrar o sistema ventilador-paciente, buscou-se um estudo minucioso através de pesquisa em livros e artigos científicos: a anatomofisiologia do aparelho respiratório humano e os dispositivos de funcionamento dos ventiladores pulmonares.

Foi realizada uma pesquisa junto aos profissionais de saúde da área de terapia intensiva para entender o funcionamento, a necessidade de novas tecnologias quanto ao uso desses equipamentos.

Através de análise de normas técnicas que constam prescrições de segurança e atuação relacionadas com os ventiladores pulmonares, nos proporcionou um ganho de conhecimentos técnicos valiosos.

Para o desenvolvimento do projeto conceitual, foram feitas entrevistas com alguns engenheiros e profissionais responsáveis pela manutenção dos ventiladores pulmonares pela força tarefa dos estados da Bahia e Ceará que são referências neste trabalho.

Trabalho de campo: Devido a pandemia da COVID-19, o trabalho de campo foi realizado através de vídeos conferências, mensagens e áudios via whatsapp, ligações telefônicas e visitas obedecendo todas medidas de segurança a UPA do bairro de Santa Terezinha, Alagoinhas, Bahia para tratarmos de assuntos mais complexos com os profissionais de saúde e conhecer de perto os ventiladores pulmonares utilizados na unidade, o bate-papo foi relacionado a toda gama da ventilação artificial dos equipamentos presentes, preparação e treinamento da equipe, suporte e manutenção foram cruciais para compreensão do tema tratado. Após entrevistas e bate-papos com alguns engenheiros clínicos ficou notório a importância desses profissionais nas unidades hospitalares e complementou o material para as definições das diretrizes de cada fase desse trabalho e assim concluir essa etapa da pesquisa.

2. ANATOMIA E FISIOLOGIA DA RESPIRAÇÃO HUMANA

Este capítulo foi baseado no livro Textbook of Medical Physiology.

Uma das substâncias primordiais para o funcionamento das células do corpo é o oxigênio (O_2), onde o mesmo é combinado quimicamente com outros nutrientes, provenientes dos alimentos, com a finalidade de liberar energia. Por sua vez, essa energia é utilizada para impulsionar a contração muscular, a secreção dos sucos gástricos, a condução de sinais pelas fibras nervosas e a síntese de diversas substâncias essenciais para o crescimento e as funções celulares. O dióxido de carbono (CO_2) forma-se da combinação do oxigênio com as demais substâncias que deve ser expelido do interior das células.

Os organismos unicelulares e alguns pluricelulares fazem suas trocas gasosas por uma difusão simples com o ambiente, mas a partir de certa massa de biosistema esse processo torna-se insuficiente para atender o propósito biológico. Então, surge a necessidade da existência do aparelho respiratório, que age em conjunto com o aparelho circulatório, desenvolvendo a função de adquirir oxigênio (O_2) do ambiente, conduzindo até aos tecidos e acometer dióxido de carbono (CO_2) dos mesmos para o ambiente.

O oxigênio (O_2), uma vez conduzido a todas as células do corpo, é captado e conduzido à mitocôndria³.

Segundo o médico fisiologista Guyton⁴, o desenvolvimento respiratório pode ser dividido em quatro etapas:

- **Processo ventilação pulmonar** - A entrada e saída de ar dos pulmões;

³ Mitocôndria: Organela citoplasmática existente em todas as células. Nela acontece a glicólise aeróbica, onde seis moléculas de O_2 e uma de glicose usam-se e dão início a um processo que em síntese, produz energia (ATP), CO_2 e H_2O .

⁴ Arthur Clifton Guyton, autor do livro Textbook of Medical Physiology (No Brasil tratado de Fisiologia Médica), se tornou o livro-base do estudo de fisiologia nas escolas de medicina.

- **Processo de difusão** - Ocorre à troca de oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂) entre o ar que atinge os alvéolos e a corrente sanguínea, através da membrana capilaralveolar (MCA);
- **Processo de circulação sanguínea** – É o transporte dos gases pelo sangue para os tecidos do corpo;
- **Processo de Regulação** – É o controle da ventilação pelo sistema nervoso.

2.1 Respiração Pulmonar

A respiração pulmonar é o processo de movimento de entrada e saída de gases pelas vias do sistema respiratório.

2.1.1 Como é Formado o Aparelho Respiratório

O aparelho respiratório é constituído pelo nariz, epiglote, traquéia e pulmões. Sendo que os três primeiros formam a via aérea superior. Onde o nariz é responsável pelo aquecimento, umidificação e limpeza do ar inspirado. Tendo uma estrutura categórica no que se refere à eficiência, no interior do nariz o ar respirado entra em contato com o muco nas paredes das fossas nasais, e são extraídas as partículas sólidas do gás inspirado. A traquéia se ramifica em brônquios, vias aéreas somente de condução, que vão passando por separações sucessivas até formar p bronquíolo terminal. Na sequência é o ácino, constituído por bronquíolos respiratórios, duelos alveolares, sacos alveolares e alvéolos. Podemos dizer que é onde acontecem as trocas gasosas propriamente ditas, sendo amplamente vascularizado pelos capilares alveolares.

Os pulmões são revestidos por duas membranas, denominadas pleuras parietal e visceral, as mesmas não tem uma ligação rígida, havendo apenas uma pressão negativa que as mantém unidas.

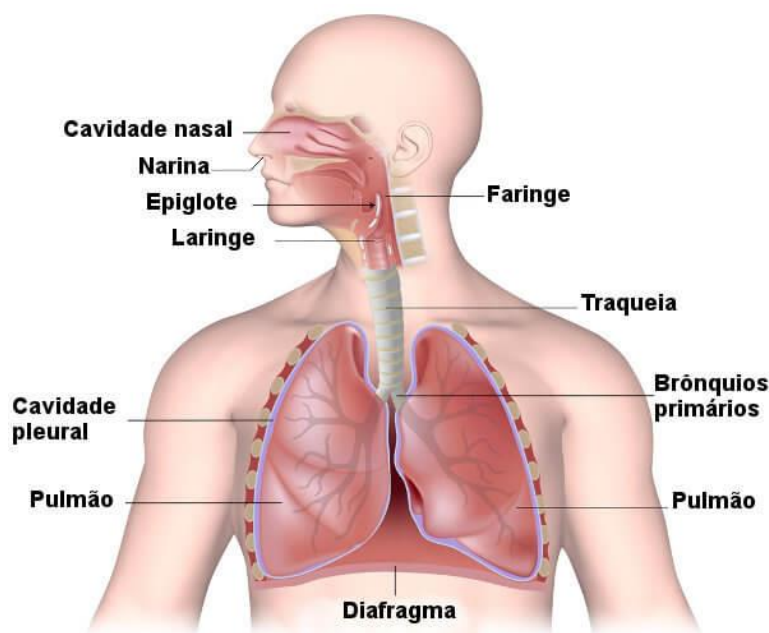


Figura 1 – SISTEMA RESPIRATÓRIO

Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/biologia/sistema-respiratorio.htm>,
acessado em 25/10/2020 as 18h06.

2.1.2 Ciclo Respiratório

O ciclo respiratório é dividido em duas fases: entrada de gases nos pulmões (inspiração) e a saída de gases dos pulmões (expiração).

Ocorre na inspiração uma contração do principal músculo da respiração, o diafragma, com localização abaixo dos pulmões, de modo simultâneo a elevação da caixa torácica pela ação dos músculos intercostais externos. Consequentemente, ocorre uma dilatação do tórax, que devido a sua ligação com os pulmões através da pressão negativa 10 pleuras⁵, gerando um aumento no volume pulmonar. A pressão alveolar (pressão pulmonar interna) se torna negativa, pressionando a entrada de gases, que acontece através das vias aéreas superiores. Enquanto na expiração o relaxamento do diafragma e dos músculos intercostais causa uma diminuição do volume torácico. Dessa forma, a pressão alveolar se torna positiva e o ar é expelido do interior dos pulmões. Não ocorrendo trabalho muscular na expiração em repouso, pois se trata normalmente de um fenômeno passivo. Já na

⁵ Pleura: É uma membrana delgada transparente que cobre os pulmões e que, além disso, reveste o interior da parede torácica.

expiração forçada, entram em ação os músculos abdominais, que movem o conteúdo abdominal para cima, e os intercostais internos, causando uma diminuição da caixa torácica.

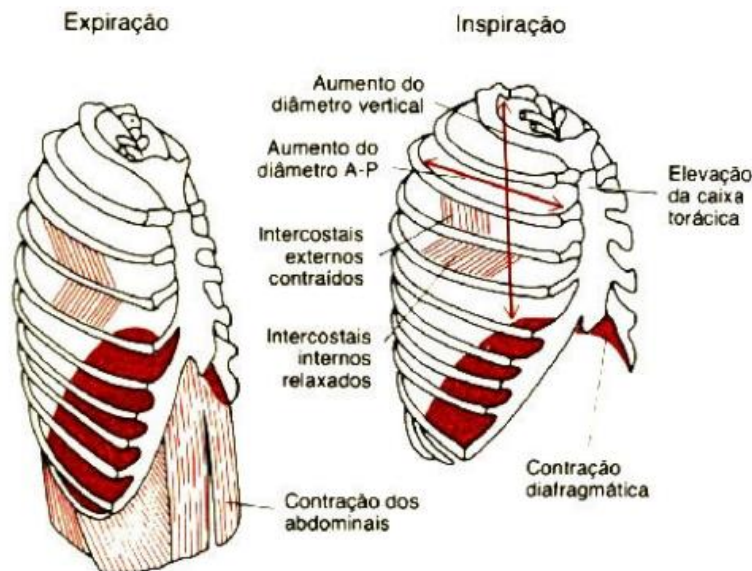


Figura 2 – VENTILAÇÃO PULMONAR

Fonte: <http://www.minutoenfermagem.com.br/postagens/2015/05/20/ventilac>,
acessado em 25/10/2020 as 20h33.

2.1.3 Pressões Pulmonares e Intrapleurais

A pressão dentro dos alvéolos (pressão alveolar) se comporta da seguinte maneira durante o ciclo:

- **Inspiração** – 1 mmHg⁶ abaixo da pressão atmosférica;
- **Expiração** – 1 mmHg acima da pressão atmosférica.

Esta pequena alteração só demonstra como a estrutura que se constituem os alvéolos é delicada.

A pressão entre as pleuras (pressão intrapleural) tem as seguintes características:

- **Inspiração** – 8 mmHg abaixo da pressão atmosférica;

⁶ Usamos “mmHg” para indicar quantos milímetros o mercúrio sobe no medidor do aparelho. Quando lhe dizem, por exemplo, que sua pressão está “doze por oito”, significa a medida de 120x80 mmHg, onde 120 é a pressão nos vasos, quando o coração se contrai, e 80 é a pressão nos vasos quando o coração relaxa.

- **Expiração** – 5 mmHg abaixo da pressão atmosférica.

É sempre negativa esta pressão e abaixo da pressão alveolar, pois a tendência dos alvéolos tende de se fecharem devido a tensão superficial interna. Para impedir esse fenômeno, uma substância denominado surfactante os preenchem, expelida por células epiteliais dos alvéolos. Essa substância atua como um detergente diminuindo a tensão superficial.

É denominada de pneumotórax a ocorrência de perfuração da(s) pleura(s), permitindo a entrada de ar no espaço intrapleural, isso é teórico, tornando sua pressão nula ou positiva com relação à pressão atmosférica. Nessa circunstância, o aumento do volume torácico não causa mais o aumento relativo no volume pulmonar, já que há restrição à expansividade dos tecidos pulmonares. É correto disser que houve um derrame pleural quando ocorre à entrada de líquidos no espaço intrapleural.

2.1.4 Volumes e Capacidades Pulmonares

- **Volume Corrente (VC)** – É normalmente o volume de ar que entra e sai dos pulmões em cada ciclo respiratório. A estimativa para um adulto jovem de 1,70 m e 70 Kg é de aproximadamente 500 ml, esses valores estão ligados à existência de oxigênio pelo organismo. É denominado de volume minuto, o volume total respirado durante um minuto, que para um paciente adulto é estimadamente cerca de seis litros;
- **Volume de Reserva Inspiratório (VRI)** – É o volume reserva de ar que pode ser posto nos pulmões depois de uma inspiração normal;
- **Capacidade Inspiratória (CI = VC + VRI)** – É encontrada através do volume máximo de ar que se consegue inspirar além do já existente nos pulmões no começo de uma respiração normal;
- **Volume de Reserva Respiratória (VRE)** – É a capacidade de gás que se consegue expirar depois de uma ventilação normal.

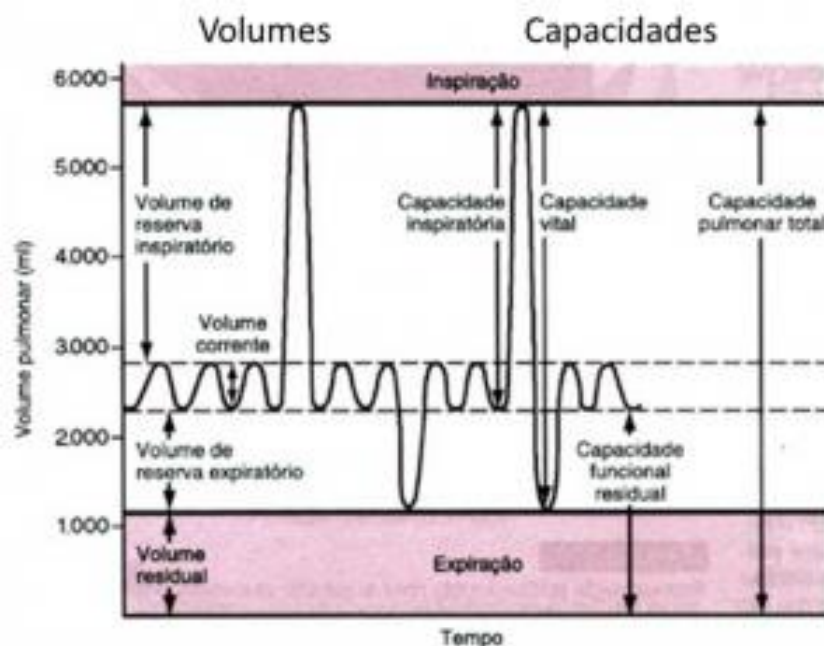


Figura 3 – VOLUMES E CAPACIDADES PULMONARES

Fonte: <https://anatomiafacil.com.br/041-volumes-e-capacidades-pulmonares/>,
acessado em 25/10/2020 as 22h29.

- **Volume Residual (VR)** – Corresponde ao volume mínimo de ar sempre presente nos pulmões, mesmo depois de ter ocorrido uma expiração forçada;
- **Capacidade Residual Funcional (CRF = VRE+VR)** – É a quantidade exprimida de ar que permanece no aparelho respiratório ao término de uma expiração normal. Justamente é esse volume de ar que consente a continuação das trocas gasosas com o sangue no intervalo entre as ventilações;
- **Capacidade Vital (CV)** – É a medida da capacidade global respiratória que um ser humano tem de inspirar e expirar. O valor médio é de aproximadamente 4.500 ml;
- **Capacidade Pulmonar Total (CPT = VC+VRI+VRE+VR)** – Corresponde ao volume total de ar que os pulmões podem admitir.

Observação: Os valores e as capacidades pulmonares são em média de 20% a 25% menores em mulheres do que nos homens, também dependem do fator tipo físico do indivíduo.

2.1.5 Resistência das Vias Aéreas e Complacência Pulmonar

Os dois parâmetros que caracterizam o sistema respiratório dos seres humanos são a resistência e a complacência em relação ao seu comportamento quanto à mecânica dos gases.

No sistema respiratório a resistência se refere à dificuldade exigida pelas vias aéreas a passagem de um fluxo de gás. Quando apresenta alguma restrição esse valor de resistência é elevado, ocasionando uma diferença de pressão proporcional ao fluxo existente.

A complacência pulmonar está associada à elasticidade dos pulmões e a sua capacidade de expandir-se. É expressa a relação entre a pressão usada nos pulmões e a deformação (volume) alcançada ($\Delta V / \Delta P$). O valor estimado da complacência em um indivíduo adulto é aproximadamente 200 ml/cmH₂O.

Analisando o sistema respiratório transversalmente de uma analogia elétrica, levando em conta a relação determinada entre as variáveis pneumáticas (pressão, volume e fluxo) e as elétricas (tensão, carga e corrente), Partindo desta relação básica, conforme tabela 1. Nota-se a analogia existente entre as resistências pneumáticas e elétricas entre a complacência pulmonar e sua capacidade elétrica.

Observação: Analisaremos essa equivalência no capítulo 4, referente ao funcionamento dos ventiladores pulmonares.

VARIÁVEIS/PARÂMETROS PNEUMÁTICOS	VARIÁVEIS/PARÂMETROS ELÉTRICOS
PRESSÃO (P)	TENSÃO (V)
FLUXO (F)	CORRENTE (I)
VOLUME (V)	CARGA (Q)
RESISTÊNCIA ($R = \Delta P / F$)	RESISTÊNCIA ($R = \Delta V / I$)
COMPLACÊNCIA ($C = \Delta V / \Delta P$)	CAPACITÂNCIA ($C = \Delta Q / \Delta V$)

Tabela 1 – RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS E PARÂMETROS PNEUMÁTICOS E ELÉTRICOS

Fonte: GONTARSKI, 1996.

2.1.6 Espaço Morto e Ventilação Alveolar

Normalmente dos 500 ml inspirados, ficam 150 ml armazenados no espaço morto das vias aéreas, não ocorrendo trocas gasosas. Para oxigenação do sangue esse ar não tem serventia. Quando nos referimos a ventilação alveolar,

estamos falando dos 350 ml do ar novo que chega aos alvéolos a cada inspiração. Ao término de cada expiração estimasse que permanecessem cerca de 2300 ml de ar nos pulmões denominado de CRF (Capacidade Residual Funcional), não é permitido que os 350 ml (alegoricamente) de ar novo adicionados a esse volume a cada respiração, que seja trocado todo ar alveolar antigo por ar novo, então apenas cerca de 1/7 do volume total. Esse processo de renovação lenta do ar nos alvéolos impede que as concentrações gasosas alveolares sofram variação de forma significativa, ou seja, a cada inspiração subindo ou descendo.

2.1.7 Trabalho da Respiração e Higienização dos Brônquios

Ao forçar a entrada e a saída de ar dos pulmões, o corpo realiza trabalho, dispensando energia nesta ação. É afetado pela complacência, pela resistência e pelo nível de fadiga do paciente este trabalho respiratório, e também pela utilização de qualquer equipamento para auxílio da respiração conectado às vias aéreas. No indivíduo com condições fisiológicas normais, é desprezível o trabalho respiratório.

Existem diversos mecanismos naturais que atuam no sentido de tomar o ar inspirado livre de germes e impurezas do ambiente, mantendo num nível efetivo a troca gasosa pelos alvéolos. A umidificação, o aquecimento e a filtragem dos gases, executados pelo nariz, contribuem a reter as substâncias nos fluidos pulmonares. Estruturas como os cílios localizados nas vias aéreas, transportam as impurezas trazidas pelos gases, envolvidos pelo muco em toda sua superfície. Existem ainda as células que englobam e destroem os elementos estranhos que por ventura ultrapassarem os mecanismos naturais e atingirem os alvéolos são os macrófagos alveolares.

Quando tossimos estamos executando uma expulsão forçada de ar dos nossos pulmões, e ao mesmo tempo mantendo-os livres de corpos estranhos ou do excesso de muco. O denominado suspiro, que é o ato de respirar periodicamente de forma mais intensa, ajuda a expandir os pulmões, convocando unidades respiratórias que geralmente estão fechadas no período do ciclo respiratório.

2.2 Difusão de Gases Através da Membrana Respiratória

Através de ventilação pulmonar, ou seja, após a entrada de ar fresco nos pulmões, conseqüentemente a etapa seguinte do processo respiratório é a difusão de oxigênio (O₂) do interior dos alvéolos para o sangue, e a difusão do dióxido de carbono (CO₂) para o interior dos alvéolos.

2.2.1 Pressões Parciais

Podemos dizer que a pressão parcial de um gás é a medida da pressão individual da mistura gasosa. Então, compreendemos que numa mistura com pressão de 100 mmHg que componha 50% de O₂ (oxigênio) e 50% de CO₂ (dióxido de carbônio) com relação há números de moléculas, a pressão que é exercida pelo O₂ e pelo CO₂ é igual a 50 mmHg por indivíduo. O conceito de pressão parcial de um gás é a medida da força que ele exerce isoladamente contra as paredes do recipiente onde se encontra a mistura gasosa. Como resultado, a força de penetração deste gás através da membrana do tipo a respiratória, é expressamente proporcional a sua pressão parcial e a concentração deste gás.

Representações simbólicas das pressões parciais dos gases respiratórios:

Nitrogênio	PN ₂
Oxigênio	PO ₂
Dióxido de carbono ou gás carbônico	PCO ₂
Vapor d'água	PH ₂ O

É denominado de difusão o movimento de moléculas de regiões de maior para menor pressão parcial, isso acontece através da membrana respiratória entre o gás englobado no interior dos pulmões e o englobado no sangue. A membrana alvéolo-capilar é constituída por superfícies pulmonares autonomamente delgadas para permitir a difusão de gases respiratórios para o sangue pulmonar, assim como as regiões dos bronquíolos, dos ductos alvéolos, dos sacos alveolares e dos alvéolos. A sua dimensão total num indivíduo adulto normalmente é de aproximadamente 70 m², tendo uma espessura normalmente de 1 µm⁷.

⁷ µm: Um micrômetro equivale à milésima parte de um milímetro. O plural de micrômetro é MICRA.

Segundo Heneine⁸ em seu estudo do comportamento de cada gás na respiração, indicou as variantes nos seus valores de pressão parcial, a partir da sua entrada nas vias aéreas, transitando pela difusão na membrana alveolar e seguindo pelo sangue até chegar aos tecidos do corpo.

2.2.1.1 Transporte de oxigênio (O₂) e Dióxido de Carbono (CO₂)

Através da difusão simples, o oxigênio chega aos alvéolos pulmonares passando pelos capilares sanguíneos, penetrando nas hemácias e formando um complexo com a hemoglobina⁹, denominado oxiemoglobina. É elevado este complexo entre 30 e 100 vezes a quantidade de O₂ conduzido pela difusão de O₂ (oxigênio) no sangue.

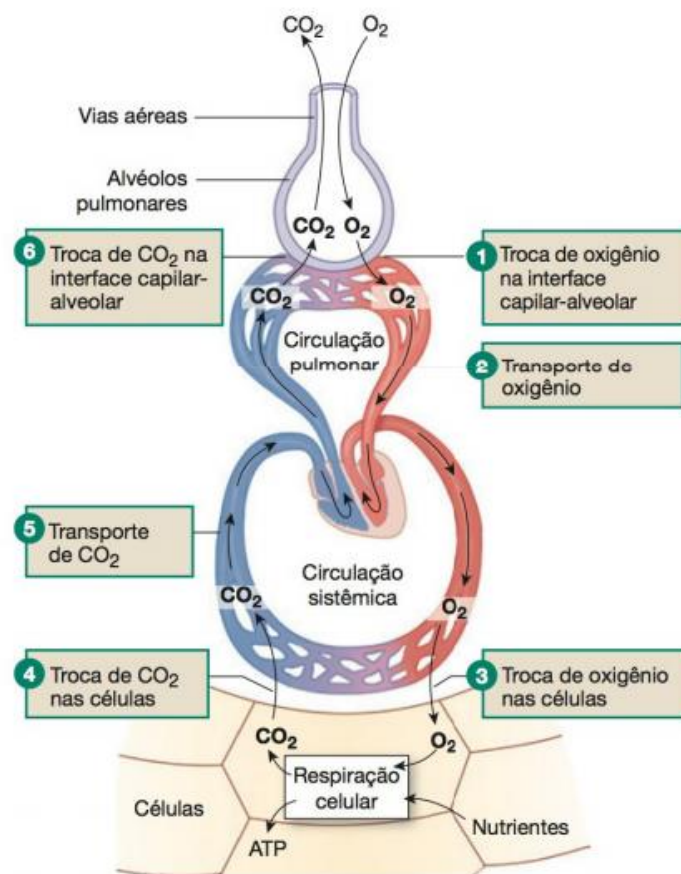
Retorna aos pulmões o sangue venoso carregado de CO₂, que por sua vez, também é conduzido em junção com a hemoglobina e formando a carboemoglobina¹⁰. Ao chegar aos alvéolos, CO₂ é liberado passando pelo processo de difusão para o interior dos alvéolos, sendo expulso. O desligamento do CO₂ da hemoglobina nos pulmões, sendo favorecido pela ligação da hemoglobina com o O₂.

⁸ **HENEINE. Ibrahim Felipe** ocupou a cadeira 67, no período de 09/10/1995 à 01/03/2007 na Academia Mineira de Medicina.

⁹ **Hemoglobina:** Proteína existente no interior das hemácias, cuja principal função é o transporte de oxigênio.

¹⁰ **Carboemoglobina:** É a junção da proteína com o dióxido de carbono (CO₂).

Figura 4 – O AR QUE ENTRA NOS PULMÕES – AR INSPIRADO – TEM MAIS **O₂**, QUE PASSA PARA



O SANGUE ARTERIAL É LEVADO ATÉ OS TECIDOS, ONDE SE DÁ A TROCA COM O **CO₂** RESULTANTE DA RESPIRAÇÃO CELULAR.

Fonte: <https://edisciplinas.usp.br/mod/book/view.php?id=2434148&chapterid=19959/>,
acessado em 27/10/2020 as 14h56.

2.2.1.2 Vapor D'água

É umidificado pelo vapor d'água decorrente dos revestimentos das passagens respiratórias, o ar inspirado é expelido impregnado de H₂O na expiração.

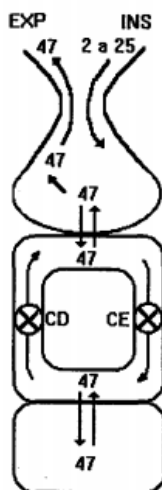


Figura 5 – TROCAS GASOSAS NO PULMÃO E TECIDOS – VAPOR D'ÁGUA.

Fonte: GONTARSKI, 1996.

Descrição da Figura 5 – O processo mostra que o corpo perde água constantemente pela respiração, além do consumo de energia destinado a mudança de estado da água evaporada.

2.2.1.3 Nitrogênio

O nitrogênio não é absorvido (metabolizado) pelo corpo, como demonstra a Figura 6. Mas conforme a adição de vapor d'água ao ar inspirado acontece uma diluição do ar na base dos alvéolos e as concentrações dos gases e o nitrogênio fica reduzido com relação às encontradas no ambiente.

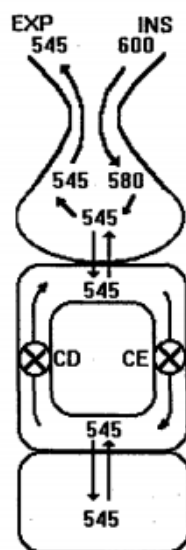


Figura 6 – TROCAS GASOSAS NO PULMÃO E TECIDOS – NITROGÊNIO (N₂).

Fonte: GONTARSKI, 1996.

Observe a demonstração na Tabela 2 das quantidades de gases inspirados e expirados pelo aparelho respiratório, com relação as porcentagens do ar atmosférico e do ar expirado.

GASES	Ar atmosférico (%)	Ar expirado (%)
N ₂	78,62	74,5
O ₂	20,84	15,7
CO ₂	0,04	3,6
H ₂ O	0,50	6,2

Tabela 2 – CONCENTRAÇÃO DOS GASES RESPIRATÓRIOS NO AR AO ENTRAR E SAIR DOS PULMÕES

Fonte: GONTARSKI, 1996.

2.2.2 Equação da Difusão Considerando a Membrana Respiratória

$$I \propto \frac{DP \cdot A \cdot S}{dm \cdot \sqrt{P_m}}$$

Equação 1 – FATORES DETERMINANTES

DIFUSÃO DOS DIFERENTES

GASES CONSIDERANDO A MEMBRANA PULMONAR.

Fonte: GONTARSKI, 1996.

Descrição da Equação 1:

ΔP = Expressa a diferença de pressão entre o alvéolo e o capilar sanguíneo, propondo a força que cada molécula do gás exerce contra a membrana respiratória.

A (Área) = Nota-se que quanto maior for a área, maior a quantidade de ar que pode difundir em um determinado período de tempo. No distúrbio respiratório denominado de enfisema, grandes áreas dos pulmões são danificadas, ou seja, destruídas.

S (Solubilidade) = Devido a maior solubilidade do dióxido de carbono, o mesmo se difunde com mais facilidade do que o oxigênio pela membrana respiratória.

d_m (Espessura da membrana) = A membrana quanto mais for delgada, maior será a intensidade da difusão do gás. No distúrbio respiratório denominado edema (doença pulmonar intersticial) sua espessura poderá passar por um processo de aumento significativo.

P_m (Peso molecular) = Quanto mais leve for a molécula, mais rapidamente irá se difundir. Apresentam peso molecular semelhante: N_2 (Nitrogênio), O_2 (Oxigênio) e CO_2 (Dióxido de carbono).

Na Figura 7 temos a demonstração da estrutura da membrana respiratória, sinalizando a difusão de O_2 e CO_2 através dela.

2.3 Condução de Gases Pelo Sangue

O sangue venoso ¹¹é bombeado pelo ventrículo direito para a artéria pulmonar e seguindo para os capilares pulmonares e chegando ao átrio esquerdo, de onde o sangue recebe oxigênio e perde dióxido de carbono. Estes vasos modificam-se nas veias pulmonares e alcançando o átrio esquerdo, do local onde o sangue é rico em O₂, daí é bombeado para todo o corpo, e perto às células perde oxigênio e é enriquecido com dióxido de carbono pela difusão.

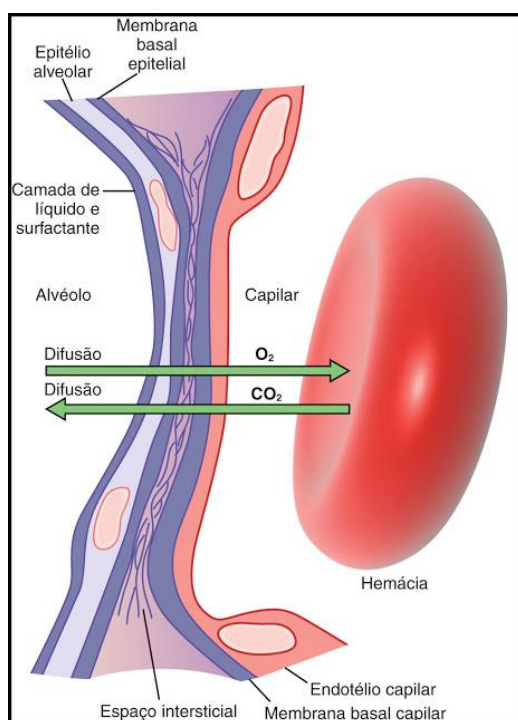


Figura 7 – DEMOSTRAÇÃO DA RELAÇÃO DE TROCA GASOSA ENTRADA DE O₂ E SAÍDA DE CO₂ ENTRE O SANGUE E ALVÉOLO. ESSES DOIS GASES PASSAM COM FACILIDADE PELAS MEMBRANAS COMPOSTAS POR BICAMADAS LIPÍDICAS.

Fonte: <http://plantandociencia.blogspot.com/2019/05/fisiologia-respiratoria-ii.html/>, acessado em 28/10/2020 as 13h06.

2.3.1 Condução de O₂ para os Tecidos

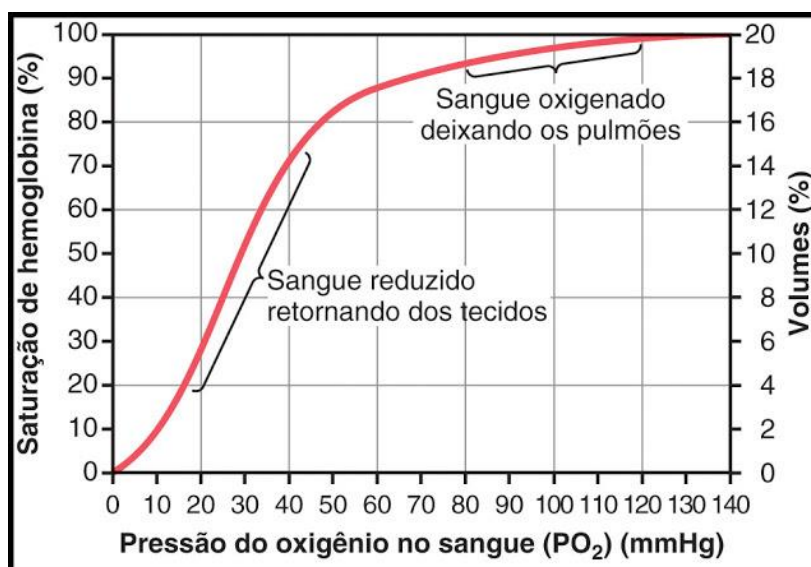
Assim que o O₂ (oxigênio) difunde dos pulmões para o sangue, uma pequena fração permanece em solução nos líquidos do plasma e das hemácias, mas uma quantidade de oxigênio 60 vezes maior, imediatamente se combina com a proteína existente no interior dos glóbulos vermelhos. Proteína denominada de hemoglobina.

¹¹ **Sangue venoso:** É o sangue pobre em O₂ e rico em CO₂.

O sangue quando vai passando pelos capilares dos tecidos, o oxigênio se separa da hemoglobina e é difundido para as células, devido à pressão no interior das células de O₂ ser muito baixa. A reação do oxigênio com os açúcares, lipídios e com as proteínas no núcleo das células é demasiadamente rápida, gerando energia, dióxido de carbono e H₂O. Resultando na introdução imediata da maior parte do oxigênio, mantendo bastante baixa a PO₂ intracelular. Devido à alta pressão de O₂ nos capilares celulares, ocorre a difusão de O₂ para o interior da célula.

Observe no Gráfico 1 a curva de dissociação do O₂ – hemoglobina:

Gráfico 1 – PRESSÃO DO OXIGÊNIO NO SANGUE (PO₂) (mmHg).



Fonte: <http://plantandociencia.blogspot.com/2019/05/fisiologia-respiratoria-ii.html/>, acessado em 28/10/2020 as 21h06.

2.3.2 Condução de Dióxido de Carbono para os Alvéolos

É por causa da formação rápida de dióxido de carbono nas células, que a diferença de pressão deste mesmo gás entre o núcleo das células e o sangue capilar estimula a difusão do CO₂ para o exterior das células.

São através de três formas básicas que o dióxido de carbono é conduzido pelo sangue:

- 7% em solução com o sangue;
- 70% sob forma de íon bicarbonato;
- 23% combinado com a hemoglobina.

2.4 Regulação da Respiração

Este tópico é baseado nos capítulos 38 e 39 do livro Tratado de Fisiologia Humana, do Guyton e Hall.

Normalmente o sistema nervoso ajusta a intensidade da ventilação alveolar quase que forma precisa as exigências corpóreas, de maneira que as pressões do O₂ e do CO₂ no sangue arterial levemente se alterem, mesmo o indivíduo se exercitando intensamente ou outros tipos de estresse respiratório.

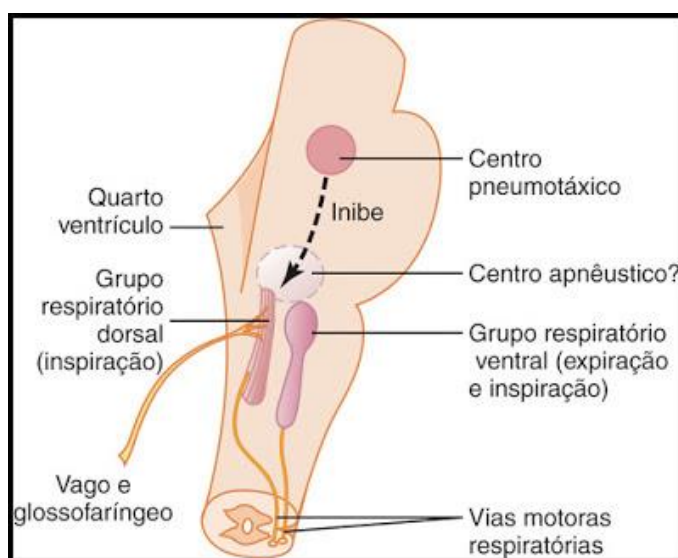


Figura 8 – O CENTRO RESPIRATÓRIO SE COMPÕE POR DIVERSOS GRUPOS DE NEURÔNIOS LOCALIZADOS BILATERALMENTE NO BULBO E NO INÍCIO DO TRONCO CEREBRAL.

Fonte: <http://plantandociencia.blogspot.com/2019/05/fisiologia-respiratoria-ii.html/>,
acessado em 28/10/2020 às 22h11

1. **Grupo Respiratório Dorsal** – Localizado na porção dorsal do bulbo, principal responsabilidade é a inspiração;
2. **Grupo Respiratório Ventral** - Sua localização é na parte ventrolateral do bulbo, basicamente responsável pela expiração;
3. **Centro Pneumotórax** – Localizado na porção dorsal superior da ponte, encarregado de controlar a frequência respiratória.

O controle químico da respiração ocorre através de mudanças na quantidade de CO₂ para mais e nas alterações de pH para menos, quando o sangue ficar mais ácido, na demonstração no Gráfico 2, observar-se que quando um dos dois tem

valor alterado, o centro respiratório estimula a frequência respiratória, assim elimina maior quantidade de CO₂.

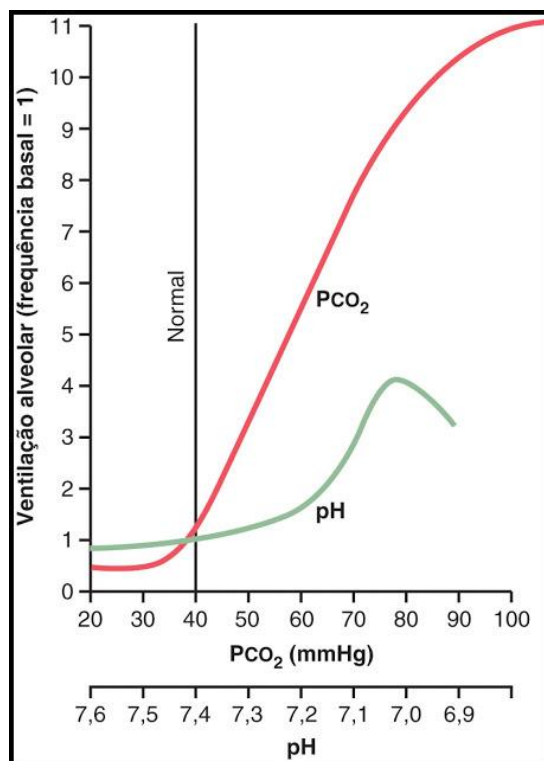


Gráfico 2 – VENTILAÇÃO ALVEOLAR

Fonte: <http://plantandociencia.blogspot.com/2019/05/fisiologia-respiratoria-ii.html/>,

acessado em 28/10/2020 as 22h35.

2.5 Distúrbios Respiratórios

São muitos os distúrbios, patologias e problemas de natureza respiratória que podem dar origem à necessidade de ventilação artificial.

2.5.1 Hipoxemia

É diagnosticada de hipoxemia, a ocorrência da diminuição da disponibilidade de O₂ para o sangue e os tecidos.

Principais causas:

- **Hipoventilação alveolar** – Está relacionado com o nível baixo de concentração de oxigênio inspirado, nível baixo na quantidade de ar levado aos alvéolos e também nível baixo na quantidade de oxigênio retirado dos alvéolos;

- **Distúrbio da difusão** – Baixo índice da capacidade de difusão de oxigênio através da membrana alveolar, devido a sua densidade.

Os pacientes com esse distúrbio respiratório, geralmente são submetidos a oxigenoterapia, que é o enriquecimento do ar inspirado com quantidades extras de O₂, de forma que sua pressão parcial nos pulmões sejam elevadas, promovendo a quantidade de oxigênio que chega às células. São os seguintes, os benefícios da oxigenoterapia:

- Devido às altas pressões parciais, maior difusão de oxigênio;
- Maior nível de oxigênio dissolvido no sangue, elevando a oferta de oxigênio aos tecidos.

Mas quantidades excessivas de O₂ por um período prologado podem ocasionar danificações às células do corpo, inclusive as pulmonares.

2.5.2 Pneumonia

É ocasionada por infecção do pulmão com bactérias ou vírus. Os resultados são as paredes dos alvéolos inflamadas e edemaciadas, os espaços entre os alvéolos ficam repletos de líquidos e glóbulos sanguíneos. Provocando hipoxemia, devido os alvéolos ou não são aerados por estarem imersos de líquidos, ou quando são, apresentam membranas muito consistentes.

2.5.3 Edema Pulmonar

É a ocorrência de concentração de líquidos nos alvéolos, onde na maioria dos casos, causando insuficiência do ventrículo esquerdo do coração em bombear o sangue da circulação pulmonar para a sistêmica. Devido a um aumento da pressão capilar, o sangue é retido, os fluídos sanguíneos transitam velozmente do plasma para os alvéolos e para os espaços intersticiais dos pulmões, causando depósitos de líquidos, sendo assim, a trocas de gases é dificultada.

2.5.4 Enfisema

É uma patologia onde a causa mais comum está relacionada ao tabagismo. Destruindo grandes áreas das paredes alveolares, resultando na

diminuição da superfície total de troca gasosa e a fragilização (elevando a complacência) dos tecidos pulmonares.

2.5.5 Atelectasia

É o colapso de um dos pulmões ou parte dele. As ocorrências mais comuns são ferimentos penetrantes no tórax, permitindo a entrada de ar para a cavidade intrapleural e a obstrução das vias aéreas por tumores, rolhas de secreção e corpos estranhos, impedindo que as unidades respiratórias ventilem adequadamente. Superficialmente a tensão dos fluídos alveolares e a tensão das fibras elásticas nos espaços intersticiais do pulmão faz com que este colapse vá diminuindo até um tamanho bem reduzido, ocasionando a perda de todo ar dos alvéolos e resultando que colabem.

2.5.6 Asma

Patologia inflamatória crônica das vias aéreas, definida por obstruir generalizadamente as vias aéreas, desencadeando para uma série de estímulos específicos e inespecíficos, espontaneamente reversível ou com a utilização de medicações como broncodilatadores e anti-inflamatórios.

No ato do espasmo da musculatura brônquica, o indivíduo apresenta grave insuficiência respiratória resultando em hipoxemia e em algumas ocorrências hiper carbia (elevação da concentração de dióxido de carbono). Mas isso depende do grau de obstrução.

2.5.7 Fibrose Cística.

É a ocorrência de um mal congênito que envolve uma desordem generalizada das glândulas exócrinas, deixando o muco tão denso que o movimento mucociliar se torna ineficaz. Resultando em um muco espesso acumulando e tornando um ambiente propício para o desenvolvimento de bactérias.

2.5.8 Síndrome da angústia respiratória aguda

É a síndrome da angústia respiratória aguda, descrita pela ausência de surfactante nos pulmões, fazendo com que os pequenos sacos alveolares tenham

inclinação a colapsarem. Através do capilar arterial pulmonar passa o sangue e não capta o oxigênio do ar alveolar, o resultado é uma hipoxemia acentuada. Contribuindo para a queda da complacência pulmonar.

2.5.9 Overdose de Drogas

Vários tipos de drogas quando ingeridas em excesso, sendo capazes de deprimir o centro respiratório no sistema nervoso central. O paciente nesta situação fica frequentemente sedado, impossibilitado de coordenar o processo de engolir, possibilitando a aspiração de substâncias estranhas. As altas doses de uma ou mais substâncias químicas, pode provocar alterações na complacência, na resistência e na troca de gases.

2.5.10 Trauma Cerebral

Circunstância em que uma contusão no crânio ocasiona um hematoma que comprime o cérebro, afetando o centro respiratório. Podendo provocar no paciente a necessidade de se manter um nível de dióxido de carbono no sangue bastante reduzido e de oxigênio muito mais elevado que o normal, com a finalidade de reduzir o edema cerebral.

2.5.11 Embolismo Pulmonar

Refere-se a pequenos coágulos também conhecidos como trombos, que impedem a circulação pulmonar, não permitindo que O₂ inalado seja aproveitado e o dióxido de carbono não seja expelido.

2.5.12 COVID-19

Segundo o Ministério da Saúde, os coronavírus são uma extensa família de vírus comuns encontradas em diversas espécies de animais, abrangendo camelos, gado, gatos, e morcegos. Esporadicamente, os coronavírus que infectam animais podem infectar o ser humano, podemos citar o MERS-CoV e SARS-CoV. Aproximadamente, em dezembro de 2019, ocorreu a transmissão de um novo coronavírus (SARS- CoV-2), identificado em Wuhan na China e ocasionando a

COVID-19, consequentemente sendo disseminada e transmitida de indivíduo a indivíduo.

A COVID-19 apresenta um espectro clínico variado de infecções assintomáticas a quadros graves. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, cerca de 80% dos indivíduos infectados com a COVID-19 possa assintomática ou oligossintomáticos (poucos sintomas), e cerca de 20% dos casos detectados necessitam de atendimento hospitalar devido apresentar dificuldade respiratória, e 5% dos casos podem precisar de suporte ventilatório.

Segundo as estatísticas do site do Ministério da Saúde, em 20 de outubro de 2020, números de óbitos acumulados:

UF	Óbitos acumulados
Brasil	158.969
Bahia	7.571
Ceará	9.326

Segundo a coordenadora de uma das Unidades de Pronto Atendimento (UPA) da cidade de Alagoinhas, Bahia, médica e emergencista Priscila Oliveira Araújo, não são todos os pacientes acometidos pela COVID-19 que necessitam do suporte ventilatório, mas há uma inquietação da escassez do número de ventiladores pulmonares necessários no tratamento de casos mais graves, fato ocorrido em alguns países atingidos fortemente pela pandemia.

Estamos vivenciando uma fase de mobilização sem precedentes para enfrentar a COVID-19. Por sua vez, a sociedade científica, está fazendo história a cada degrau avançado na produção de uma vacina e em tempo recorde.

2.6 Síntese do Capítulo

Para termos uma melhor compreensão dos ventiladores pulmonares, o estudo da anatomia e fisiologia do sistema respiratório tornou-se importante para esse trabalho. O processo respiratório ocorrer por etapas: ventilação pulmonar, difusão de gases pela membrana alveolar, condução dos gases pelo sangue e regulação dos movimentos ventilatórios pelo sistema nervoso. Basicamente o sistema respiratório é

constituído pelas vias aéreas e os pulmões, onde os mesmos estão relacionados com os parâmetros respiratórios de resistência e complacência. Estudando as pressões parciais é possível entender os fenômenos de difusão e condução dos gases através do corpo humano e identificar as importantes variáveis para melhoramento destes fenômenos. E finalizarmos o capítulo com o conhecimento dos distúrbios pulmonares para melhor entendimento de muitas características ligadas ao funcionamento dos ventiladores pulmonares.

3. AS TERMINOLOGIAS VENTILADOR E RESPIRADOR

Já que os ventiladores pulmonares devido à pandemia da COVID-19, se tornaram de conhecimento da sociedade em geral, é importante a identificação das diferenças entre as terminologias ventilador e respirador. E consequentemente ter o entendimento como esses equipamentos funcionam e salvam vidas.

Em vários contextos, em especial nos telejornais popularmente falando, os termos são utilizados como sinônimos. Mas a princípio de funcionamento dos equipamentos existem diferenças. De uma forma sucinta, podemos considerar que respiradores são instrumentos que possibilitem ou auxiliem no processo de respiração. Ou melhor, o termo pode ser designado tanto para um equipamento mecânico (manual ou automático), quanto uma máscara que filtre o ar, como por exemplo, um nebulizador e qualquer instrumento que seja utilizado como auxiliador na troca de gases do indivíduo com o ambiente.

Especificamente quando nos referimos a ventilador pulmonar, estamos falando de um equipamento mecânico que tem a capacidade de substituir o esforço respiratório do paciente quando o mesmo está incapaz de concluir o processo de troca de gases de maneira eficaz. E segundo a norma brasileira NBR IEC 601, trata esses equipamentos como ventiladores pulmonares. Mediante a norma, neste trabalho utilizaremos o termo ventilador pulmonar.

4. VENTILADORES PULMONARES MECANISMO E FUNCIONAMENTO

Há aproximadamente um século, foram desenvolvidos os primeiros ventiladores pulmonares, mas durante este período passaram radicalmente por mudanças, principalmente com relação a maneira como aplicam os gases e seus

mecanismo funcional. Os modelos iniciais (manuais e mecânicos) evoluíram para os equipamentos constituídos por válvulas eletromagnéticas controladas por microprocessadores.

No início dos anos 20, Drinker¹² introduziu o pulmão de aço. Até o momento, todo suporte respiratório era realizado manualmente ou por aparelhos de pressão positiva arcaica. O pulmão de aço fazia uso da pressão negativa e era constituído de um cilindro grande, com abertura em uma de suas extremidades, onde apenas a cabeça do paciente ficava fora do equipamento. Uma membrana era colocada em volta do pescoço do paciente e o cilindro era selado. Fazendo com que a pressão interna torna-se periodicamente negativa com relação à atmosfera. Dessa maneira era gerada a entrada e saída de ar dos pulmões do paciente.

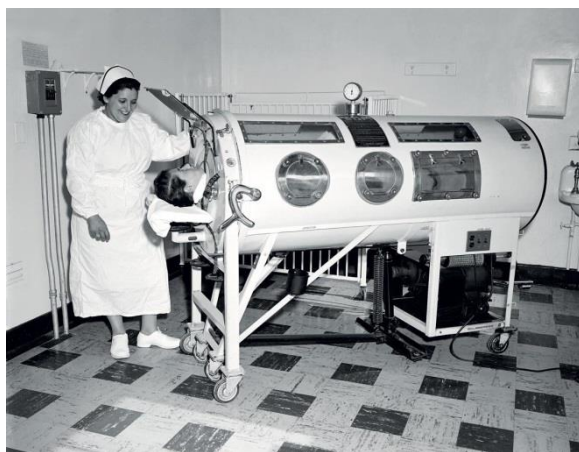


Figura 9 – O PULMÃO DE AÇO UTILIZADO NO SÉCULO XX PARA TRATAR PACIENTES COM POLIOMIELITE.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/na-palma-da-mao-2/> acessado em 04/11/2020 as 21h31

Na mesma época surgiu a couraça outro equipamento de pressão negativa, desenvolvido por Rudolph Eisenmenger. Era constituído de uma armadura para ser colocada no tórax do paciente. Mas o método tinha suas limitações quanto à

¹² **Philip Drinker:** Pesquisador médico de Harvard.

chance de tratamento prestado. O pulmão de aço foi o método padrão no que se referia a suporte respiratório total até 1950.

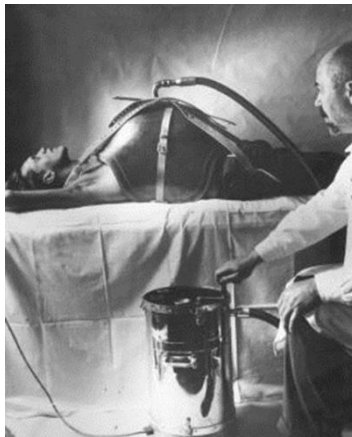


Figura 10 – Couraça
Autor: Rubelt Lothar, 1927
acessado em 04/11/2020 as 21h56

Logo após a segunda guerra mundial, reutilizando o conceito de ventilação por pressão positiva, Hurley Motley e colaboradores, notaram que mecanismos de controle de fluxo pertencente aos aviões de guerra tinham a probabilidade de serem adaptados para os ventiladores pulmonares.

No ano de 1948, Coumand fez um estudo sobre a influência da ventilação com relação à pressão positiva sobre as respostas hemodinâmicas dos pacientes, enquanto isso, outro pesquisador Segai, deu ênfase a necessidade de definição dos métodos utilizados de ventilação.

Em 1950, precisamente bem no início, Engstron amplificou a tecnologia do ventilador que seria o primeiro equipamento de volume constante introduzido na área da saúde, com seu nome. Constituído por um balão contido no interior do cilindro pressurizado por um pistão. Dessa forma, o balão era forçado a entregar o conteúdo de gás ao paciente. Nos Estados Unidos, na época, era comum a utilização de equipamentos ciclados a pressão da BIRD e da BENNETT, apesar de serem bastante eficientes, tinham suas limitações.

Em 1960, Jack Emerson amplificou a ventilação por volume constante, monitorado pelo movimento do motor a pistão. Sete anos mais tarde, precisamente em 1967, foi verificado que a aplicação de uma pressão PEEP (Pressão Expiratória

Final), manteria com vida o paciente com SARA (síndrome de Angústia Respiratória Aguda).

Em 1970, foram desenvolvidos os ventiladores pulmonares Ohio 560 (Monaghan Company), MA-1 (Puritan Bennett), ambos ofereciam ventilação controlada por volume, válvula PEEP¹³ (Positive End-Expiratory Pressure) e um controlador com precisão sobre a fração inspirada de O₂. Esses dois modelos foram o padrão de uma era. Sendo disseminados nas Unidades de Tratamento Intensivo a nível mundial.

Em 1980, uma nova geração de ventiladores pulmonares foi desenvolvida, unidades controladas por microprocessadores, permitindo uma larga versatilidade tanto no fornecimento dos gases e na capacidade de monitoração equipamento e paciente. Tecnologia que vem sofrendo evolução até os dias atuais, a utilização dos microprocessadores reduziu a utilização de partes móveis, possibilitando a manutenção, facilitando atualização de softwares a baixo custo e ampliando a interação com sistemas computadorizados.

Segundo Corniali, alguns ventiladores pulmonares têm ajustes para compensação de mudanças na mecânica do paciente, do tipo, sessar uma respiração espontânea, uma tosse que interfere e acompanhar a ventilação espontaneamente ajustando os targets dentro do volume minuto. Mas são pouquíssimos modelos que fazem isso, infelizmente, como compensação de distensibilidade, volume do circuito, compensação de fugas menores. Os modelos destinados a Unidade de Terapia Intensiva (UTI), a maioria sessam a iniciativa do paciente de iniciar uma inspiração, denominado sensibilidade no método de ventilação espontânea.

Os profissionais da saúde responsáveis pela ventilação respiratória dos pacientes fazem uso de um documento denominado mapa ventilatório, onde precisamente no mínimo são feitas três atualizações por plantão do fisioterapeuta do estado do paciente e os ajustes são feitos de acordo com a necessidade do mesmo. Nos equipamentos microprocessados, o fisioterapeuta que assume o plantão, tem como verificar no equipamento os ajustes feitos anteriormente. Mas só através do mapa ventilatório que o médico ou fisioterapeuta conseguiram ter acesso a informações mais detalhada do paciente em acompanhamento. Já existem alguns

¹³ **PEEP:** Parâmetro do processo a ser controlado (Pressão positiva no final da expiração).

modelos de equipamentos que disponibilizam de um modo ventilatório que o profissional da saúde aciona e são feitos de maneira parcial alguns ajustes de acordo com a necessidade do paciente. Mas geralmente os equipamentos são alimentados com os dados pelo profissional do plantão. O mesmo vai observando o paciente e fazendo as atualizações das informações (Médica Priscila Araújo e Fisioterapeuta Julia Peixoto).

Segundo Corniali, ajustar um ventilador pulmonar pela necessidade metabólica do paciente, não é impossível, dentro de determinados limites. Mas podemos considerar bastante complexo.

No ano de 1996, o engenheiro elétrico Gontarski, em sua dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia, salientou que o próximo grande salto tecnológico esperado para os ventiladores pulmonares seria um sistema funcionando de forma realimentada, através de ajustes automáticos de acordo com as necessidades metabólicas do paciente. Mas para esse avanço, precisaríamos ultrapassar uma barreira tecnológica e a resistência natural da classe médica. Podemos afirmar a através desse trabalho que a resistência médica que o Gontarski mencionou há 24 anos, atualmente, não existe mais! Esta obra é o resultado do trabalho em conjunto com universitários das engenharias, profissionais das engenharias e da área da saúde.

E sobre os avanços tecnológicos esperados para os ventiladores pulmonares, alguns indícios históricos comprovam que muitos dos grandes saltos tecnológicos e inovações foram consequências da necessidade humana de se reinventar, necessidade esta muitas vezes catalisada por crises e dificuldades. Infelizmente estamos vivenciando mais um momento de crises e dificuldades com a pandemia da COVID-19. Mas, como dizia o escritor Fernando Sabino “Façamos da interrupção um caminho novo; Da queda, um passo de dança; Do medo, uma escada e do sonho, uma ponte”.

4.1 Como são Classificados os Ventiladores Pulmonares

A classificação desses equipamentos é de acordo com seu princípio de aplicação da pressão no paciente, ou podemos dizer, pela forma que levam a ventilação dos pulmões. Por esse motivo sua classificação é:

- Ventilação por pressão negativa;
- Ventilação por pressão positiva.

Os equipamentos primários de ventilação operavam por pressão negativa, buscando imitar a atividade natural dos músculos adotando uma pressão negativa ao redor da caixa torácica do paciente. Essa pressão sub-atmosférica era transmitida ao interior dos pulmões através das pleuras, criando uma entrada de gases pelas vias aéreas, onde as mesmas estavam em contato direto com a pressão atmosférica.

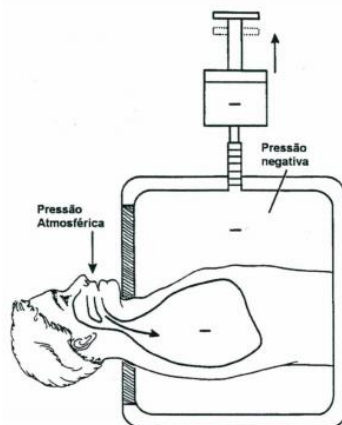


Figura 11 – DIAGRAMA DE UM VENTILADOR PULMONAR POR PRESSÃO NEGATIVA

Fonte: GONTARSKI, 1996.

Apesar de robustos, esses equipamentos eram fáceis de manusear e necessitavam raramente de manutenção. Mas seus pontos negativos eram bem maiores que os fatores positivos, como: não permitiam acesso de imediato ao corpo do paciente; o ajuste de muitos parâmetros ventilatórios não era disponibilizado; sem muito sucesso para indicação no tratamento de pacientes com desordens respiratórias graves; retratavam problemas de empoçamento de sangue no abdômen; sincronismo com o esforço do paciente dificultado; fazia muito barulho e de difícil esterilização.

Os próximos modelos desenvolvidos anos mais tarde, foram os ventiladores por pressão negativa denominados de couraça e jalecos, entre outros, conseguindo reduzir o problema da retenção de sangue no abdômen. Era mais cômodo para o paciente.

Segundo a médica Priscila Araújo e o engenheiro Biomédico e Sanitarista Alfredo Corniali, por se tratar de um método ventilatório com inúmeras

limitações, atualmente não é mais utilizado, sendo totalmente substituído pela ventilação por pressão positiva.

Corniali ainda salientou que recentemente no Reino Unido, o método ventilatório por pressão negativa foi testado experimentalmente para ventilar pacientes diagnosticados com a COVID-19 com resultados ineficientes.

Os ventiladores pulmonares por pressão positiva aplicam diretamente a pressão nos pulmões pelas vias aéreas.

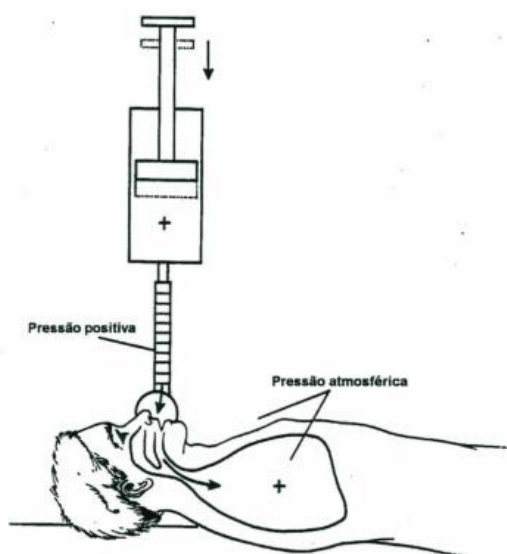


Figura 12 – DIAGRAMA DE UM VENTILADOR PULMONAR POR PRESSÃO POSITIVA

Fonte: GONTARSKI, 1996.

O ventilador é conectado através de tubos flexíveis ao paciente (sistema de respiração), no geral é criado um fluxo inspiratório, mas é permitido ao paciente expirar normalmente. Esses equipamentos por pressão positiva são muitos eficazes quando nos referimos ao tratamento de desordens respiratórias graves.

De acordo com o objetivo clínico, os ventiladores por pressão positiva podem ser classificados da seguinte forma:

Ventiladores de tratamento intensivo: São utilizados em terapia de pacientes com desordens respiratórias graves;

Ventiladores para uso em transporte ou domicílio: São projetados para aplicações mais simplificada e menos grave.

4.2 Estrutura dos Ventiladores Pulmonares

Neste tópico os princípios básicos de funcionamentos dos ventiladores pulmonares serão do sistema de classificação proposto por Robert Chatburn tendo progressivamente adotada pelos médicos.

O sistema proposto por utilizam-se de cinco categorias importantes para classificar os ventiladores pulmonares, com a possibilidade de cada categoria dividir-se em várias subcategorias.

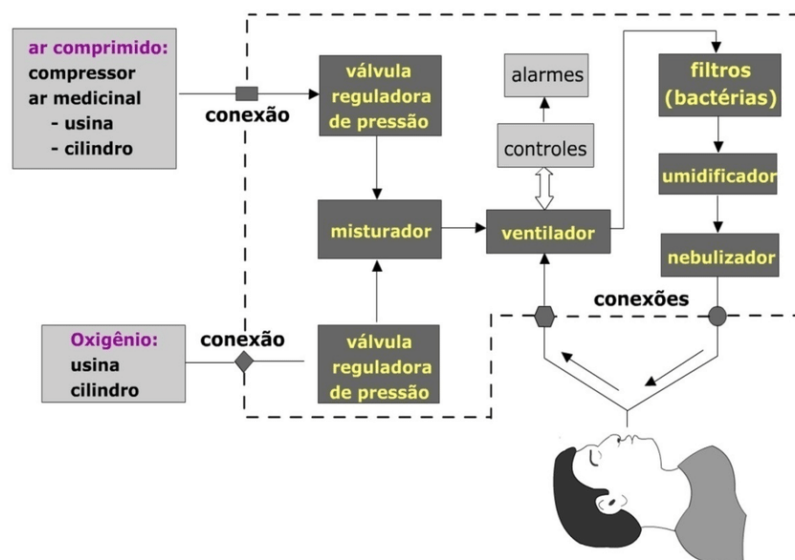


Figura 13: DIAGRAMA DOS COMPONENTES BÁSICOS DE VENTILADOR PULMONAR

Fonte: CALIL, S. J. GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS HOSPITALARES, 2002.

Neste tópico os princípios básicos de funcionamentos dos ventiladores pulmonares serão do sistema de classificação proposto por Robert Chatburn tendo progressivamente adotada pelos médicos.

O sistema proposto por Chatburn utilizam-se de cinco categorias importantes para classificar os ventiladores pulmonares, com a possibilidade de cada categoria dividir-se em várias subcategorias.

4.2.1 Categoria de fonte de Alimentação

4.2.1.1 Pneumática

Os gases comprimidos são a fonte de energia dos ventiladores pneumáticos. Trata-se de gases medicinais anidros sem contaminações por resíduos

de óleo, disponibilizados a uma pressão de 50 psi, ou seja, 50 libras por polegada quadrada.

4.2.1.2 Eletricidade

Os ventiladores elétricos para realizarem o trabalho da ventilação mecânica, utilizam a eletricidade como fonte de energia.

Funcionamento:

- 220 V e 50 Hz de Corrente Contínua (DC);
- 12 V de Corrente Alternada (AC) fornecimento por bateria.

4.2.1.3 Composto (Mistos)

Vários modelos dos ventiladores pulmonares já utilizam simultaneamente duas fontes de energia. Necessariamente da seguinte forma, a eletricidade para o funcionamento dos sistemas controlados por microprocessadores enquanto a pneumática é reservada para o desenvolvimento do trabalho de ventilação mecânica.

4.2.2 Conversão e Transmissão da energia

4.2.2.1 Compressores de Pistão

Os movimentos utilizados dos pistões acionados por motores elétricos em parceria com a atuação dos sistemas de válvulas proporciona um gradiente de pressão¹⁴. Através do movimento de recuo do pistão o ar é aceito para o cilindro pela válvula de número 01, ao avançar o pistão a válvula número 02 abre-se liberando o ar comprimido. Os pistões poderão ser impulsionados por movimentos rotativos ou lineares.

4.2.2.2 Compressores de Fole

Através de válvulas de via única, o ar é admitido para o interior dos foles, durante os movimentos de distensão e logo ao termino dos movimentos de compressão estas fecham para gerar o fluxo gasoso que será disponibilizado.

¹⁴ Um gradiente de pressão existe quando a pressão do ar varia de um lugar para o outro.

4.2.2.3 Dispositivos Pneumáticos Gerenciados por Microprocessadores

Essa geração de ventiladores pulmonares microprocessados, dispõem de válvulas proporcionais “os solenoides¹⁵” são ligadas por algoritmos programados nos microprocessadores de controlo, virtualmente podem reproduzir qualquer padrão de onda de fluxo ou pressão pretendida. Os microprocessadores possibilitam se reprogramarem favorecendo futuramente que se adotem novos padrões de ventilação, a junção dos microprocessadores com as válvulas solenoides propicia maior versatilidade aos fabricantes no âmbito de desenvolverem novos projetos dos ventiladores, no objetivo de cada vez mais complementarem os avanços da medicina consubstanciados na observação clínica.

4.2.3 Classe de Circuito de Controlo

4.2.3.1 Circuito de Controlo em Malha Aberta

Refere-se a um tipo de controlo onde o padrão de ventilação desejado é configurado no próprio equipamento, alcançando o resultado sem auto ajuste ou regulado pelo profissional responsável.

4.2.3.2 Circuito de Controlo em Malha Fechada

É configuração do o padrão de ventilação de saída neste tipo de controlo, na sequencia o equipamento faz uma medição continua de uma variável especifica como fluxo, pressão ou volume, regulando constantemente a entrada do parâmetro relativo a cada modo a coincidir com o padrão de saída esperado. Este tipo de sistema pode ser designado como servo controlo¹⁶.

4.2.3.3 Circuito de Controlo Mecânico

Este sistema recorre à utilização de peças e acessórios como tirantes, polias ou cames, onde na engenharia mecânica, é denominado de came o conjunto de duas peças mecânicas. Sendo a peça que gira e o seguidor, podendo oscilar ou

¹⁵ **Solenóide:** Fio metálico condutor de corrente elétrica enrolado em hélice sobre um cilindro, e que, percorrido por uma corrente, cria um campo magnético comparável ao de um ímã.

¹⁶ Entende-se por servo um sistema de feedback geralmente constituído por um sensor, um amplificador operacional e um servo-motor onde especificamente sua aplicação neste caso é no controlo do dispositivo mecânico de um ventilador.

transladar, é a peça característica de perfil da came. A finalidade da came é transmitir um movimento alternado ou oscilante ao seguidor. Na concepção mais antiga, a cames é utilizada para controlar os mecanismos de acionamentos dos equipamentos mecânicos. O controle mecânico tem alguns sistemas ainda muito confiáveis, mas devido a sua semelhança com os sistemas de circuito controle malha aberta, falta-lhes flexibilidade.

4.2.3.4 Circuito de controle Pneumático

Este sistema é constituído de válvulas, bocais, linhas de pressão, pinos ejetores e diafragmas necessários para o controle de um dispositivo mecânico do ventilador.

4.2.3.5 Circuito de Controle Fluídico

É constituído por um circuito que utilizam o fluxo e a pressão gasosa para o controle de sentidos dos fluxos de ar e também realização de funções lógicas. Originado na eletrônica digital, as funções lógicas fluídicas e os elementos fluídicos, como controlam as portas no domínio da eletrônica, da mesma forma controlam as saídas em função dos sinais de entrada recebidos. Através de formas específicas a combinação dos elementos fluídicos possibilita a projeção de um ventilador fluídico com funcionalidade de modo similar a outros equipamentos de controle eletrônico.

4.2.3.6 Circuito de controle Eletrônico

Os componentes utilizados neste tipo de circuito são os resistores, diodos, transístores, circuitos integrados e microprocessadores com a finalidade de garantir a elevada adequação do controle dos dispositivos de acionamento dos ventiladores mais modernos. Proporcionando flexibilidades de controle maiores, porém na maioria das vezes muito mais complexos.

4.2.4 Controle das Variáveis

4.2.4.1 Regulador de Pressão

O mecanismo de um regulador consiste em proporcionar um padrão ventilatório através de um parâmetro preciso como a pressão, o tempo, o volume ou

fluxo. Podemos classificar um ventilador como regulador de pressão, só se o mesmo controlar a pressão transrespiratória do paciente, ou seja, a pressão subtraída do valor da pressão da superfície do corpo do paciente.

4.2.4.2 Regulador de Volume

Os ventiladores reguladores de volume permitem que o volume seja medido e usado como sinal de realimentação controlando a entrada em função do volume disponível. Através de um regulador de volume é permitido que a pressão varie conforme as alterações de resistência e complacência pulmonar do indivíduo, entretanto permanece constante o volume fornecido. O volume é determinado através das medições dos deslocamentos de pistões ou foles dos compressores.

4.2.4.3 Regulador de Fluxo

Através do regulador de fluxo é permitido que a pressão sofra variações conforme as alterações de complacência pulmonar e resistência do paciente, entretanto o fluxo disponibilizado é diretamente medido e controlado. Essa medição de fluxo pode ser feita por sensores vortex, peneumotografos de Venturi, sensores de fluxo e pressão, entre outros mecanismos. É fundamental para um ventilador ser classificado como regulador de fluxo, que o fluxo seja medido diretamente e utilizado como sinal de realimentação para regular a entrada do fluxo.

4.2.4.4 Regulador de Tempo

Este tipo de equipamento ventilatório mede e controla os tempos das fases de inspiração e expiração. Permitindo que a pressão e o volume variem conforme com as alterações da complacência pulmonar e da resistência. Não são utilizados e medidos diretamente como sinais de realimentação para autocontrole a pressão e o volume, onde a única variável controlada são as fases de tempo de inspiração e expiração.

4.2.5 Variáveis de Fase

4.2.5.1 Variável de Fase

A respiração fundamentada pelo equipamento ventilatório subdividir-se em quatro fases distintamente:

1. Variante da expiração para a inspiração;
2. Inspiração;
3. Variante da inspiração para a expiração;
4. Expiração.

Denomina-se variável de fase, quando determinada variável pressão, volume, fluxo ou tempo é examinada durante uma fase anormal.

4.2.5.2 Variável de Disparo

O início da inspiração é deliberado nesta variável. Assim como a pressão, o volume, o fluxo ou o tempo tem a viabilidade de serem medidas pelo equipamento ventilatório com a finalidade de utilização no início da inspiração como variáveis de controlo. A maioria dos ventiladores pulmonares utilizar o tempo ou a pressão como variáveis de disparo.

4.2.5.2.1 Controlo por Tempo de Disparo

Pelo equipamento ventilatório, o ciclo inspiratório é iniciado assim que um intervalo de tempo pré-estabelecido tiver transcorrido. No ventilador pulmonar o controlo da frequência respiratória é um mecanismo que trabalha por tempo de disparo, conforme exemplificado a seguir:

Considerando a configuração da frequência no equipamento ventilatório para 12 ciclos por minuto (a cada 60 segundos), intervalo do tempo de disparo refletirá a cinco segundos ($60 \text{ segundos} / 12 \text{ ciclos} = 5 \text{ segundos} / \text{ciclo}$). Dessa maneira, podemos dizer que a cada intervalo de disparo de 5 segundos o equipamento fornecerá um ciclo de fluxo inspiratório, independente das necessidades reais do suporte de ventilação mecânica do paciente ou esforço respiratório do mesmo.

4.2.5.2.2 Controlo por Pressão de Disparo

O equipamento ventilatório disponibiliza o ciclo inspiratório, assim que é detectada a queda da pressão nas vias aéreas que ocorre na iniciação da tentativa da

inspiração espontânea, possibilitando ao paciente estimular o disparo da ciclagem¹⁷ do equipamento ventilatório, independente que seja gerando um gradiente de pressão ou um gradiente de fluxo. É possível afirmarmos após estudos que o valor da pressão negativa é inferior à pressão de expiração final que o paciente precisa gerar para conseguir disparar o ciclo de fluxo inspiratório no ventilador pulmonar ajusta ao nível de sensibilidade. A categoria de níveis de sensibilidade aceitáveis está captado entre 1 (um) e 5 (cinco) cmH₂O, inferior ao valor da pressão base do paciente. Assumindo como exemplo a configuração da sensibilidade da pressão de disparo para 3 (três) cmH₂O essa condição incide que o paciente terá de realizar uma pressão de 3 (três) cmH₂O a entrada das vias aéreas do mesmo para estimular o disparo do fluxo inspiratório no ventilador pulmonar. Em compensação, reconfigurando a pressão de disparo de 3 (três) para 5 (cinco) cmH₂O, fazendo o equipamento ficar menos sensível ao esforço de inspiração, obrigando o paciente a despendar mais esforço para disparar o ciclo de fluxo inspiratório no ventilador pulmonar. Nas hipóteses em que uma PEEP – Positive End-Expiratory Pressure (Pressão Positiva no final da Expiração) característica possa estar presente, a pressão de disparo ainda assim será superior, forçando o paciente a realizar inspiração mais intensificada que seja superior à PEEP intrínseca e ao nível configurado de sensibilidade para causar o disparo da mudança de fase (ciclagem) no equipamento ventilatório.

4.2.5.2.3 Controle por Fluxo de Disparo

Este método utiliza a junção dos mecanismos de um fluxo contínuo com o fluxo atribuído pelo paciente, onde a finalidade é minimizar o esforço de inspiração que o paciente é submetido através da ventilação mecânica. Por ser um tipo de controle com maior sensibilidade ao esforço inspiratório, e o trabalho de inspiração é menor que no sistema de controle por pressão de disparo. Flui um fluxo contínuo pelo método do circuito ventilador – Paciente retornando para o equipamento.

4.2.6 Variável Limite

O volume, a pressão e o fluxo inspiratório são elevados acima dos seus valores padrões quando um paciente é submetido ao suporte de ventilação mecânica. Se

¹⁷ **Ciclagem:** Mudança de fase. É a transição da fase inspiratória para a expiratória.

durante o processo de inspiração o ventilador não admitir a elevação de uma ou mais variáveis acima de valores pré-definidos, é denominado variável limite.

4.2.7 Variável de Ciclagem

Especificamente a variável de ciclagem pressão, volume, fluxo e tempo são medidas pelo equipamento, tendo a utilidade de sinal de realimentação do circuito de controlo para a finalização do ciclo inspiratório e permitir a iniciação da fase de expiração. Então, o ventilador impede a inspiração logo que é alcançado o valor pré-determinado como a variável de controlo da ciclagem.

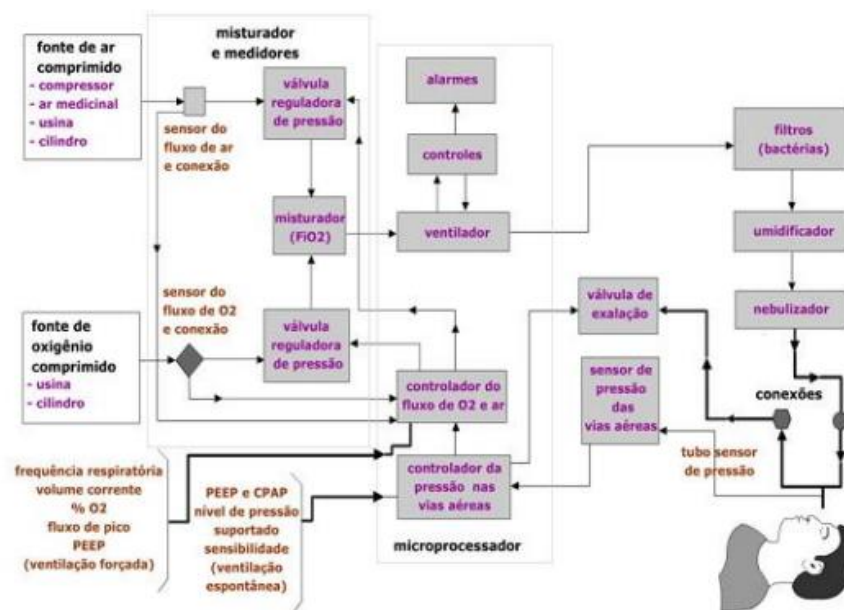
4.2.8 Variável de Linha de Base

É denominada variável de linha de base a variável que é controlada durante o período de expiração, onde nota-se normalmente que a variável pressão é controlada durante o ciclo expiratório. É denominada fase expiratória o intervalo de tempo transcorrido do início da expiração corrente até o início da seguinte inspiração. O objetivo de utilizações de PEEP (Pressão Positiva no Final da Expiração) e CPAP (Pressão Positiva Continua nas Vias Aéreas) é incrementar a FRC (Capacidade Funcional Residual) com a finalidade de aumentar a disponibilização da fusão gasosa inspirável e a oxigenação.

4.2.9 Variável Condicional

Denomina-se variável condicional, quando é detectada pelo equipamento uma alteração na variável de controlo alcançando resultando na saída de igual valor. Nas versões de ventiladores pulmonares antecedentes eram usadas variáveis condicionais simplificadas. Atualmente os ventiladores mais modernos são controlados por sofisticados microprocessadores, que possibilitam a utilização de variáveis condicionais mais complexas resultando em métodos de ventilação artificial com níveis elevados de complexidades notáveis.

Figura 14: DIAGRAMA FUNCIONAL DE UM VENTILADOR PULMONAR CONTROLADO POR



MICROPROCESSADOR.

FONTE: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Diagrama-de-blocos-de-um-ventilador-microprocessado_fig2_267804911/ acessado em 06/05/2021 as 15h26

4.3 Calibração e Análise

A calibração dos equipamentos de medição é basicamente fundamental para garantir o rastreamento de uma medição. Envolvendo determinadas características metrológicas, como erros e incertezas de um mecanismo, ou seja, fora do padrão. Calibração e a operação de verificação são métodos associados ao controlo metrológico para conduzir à validação ou não de um ventilador pulmonar, se tratando das indicações concedidas através dos instrumentos de medição. Simplesmente ambas as operações consistem no comparativo do equipamento de medição com um padrão.

4.3.1 Aprovação e Erro

Aparentemente á semelhança entre os métodos de calibração, verificação, as definições de validação e erro, tipicamente, como métodos cruciais da complementação do controlo metrológico por possibilitar avaliar qualitativamente os equipamentos de medição. Os conceitos de validação e erro são utilizados quando surgiu comumente afiliados ao segmento dos métodos de calibração dos equipamentos de medição. Ao termino do processo de calibração de um equipamento de medição, o passo seguinte consequentemente, é a validação do certificado de calibração, verificando conforme a equação 02 se é verdadeiro ou não. Se o resultado for verdadeiro, o certificado de calibração é validado, ao contrário, não será validado.

$$\text{EQUAÇÃO 02: } |\mathbf{CA}| \geq |\mathbf{E}| + |\mathbf{I}|$$

CA = Critério de aceitação específica;

E = Erro de medição;

I = Valor da incerteza associada medição.

O valor do erro é obtido por meio da diferença entre o valor medido pelo equipamento e o valor habitual aceito como verdadeiro, que normalmente equivale ao valor da diretriz padrão de calibração utilizado.

4.3.2 Repetibilidade e Precisão da Medição

São indissociáveis os padrões de controlo repetibilidade e exatidão dos de validação e conjectura dos cálculos das incertezas conjugadas aos resultados das medições. É característico destrinchar minuciosamente os significados dos conceitos de repetibilidade e exatidão com a justificativa do domínio das suas utilizações exercidas no âmbito do controlo metrológico, objetivando uma perspectiva de orientar de forma correta e consequentemente uma melhor prognostico do calculo da incerteza de uma determinada medição.

4.3.3 Imprecisão da Medição

Por mais rigorosa que seja cada medição, independente das características do equipamento empregado de medição, sempre persiste alguma margem de incerteza relativa com relação ao resultado indicando esta dúvida como incerteza de medição. Existe uma diferença entre os conceitos de erro e incerteza:

Erro: É a diferença entre o valor medido e o valor verdadeiro da grandeza que será medido;

Incerteza: mensura a incerteza relativa a medição resultante.

Quando é realizada uma medição, busca-se abolir todos os erros apresentados, denominado através da execução de retificações algébricas iniciando da informação contida no certificado de calibração do equipamento de medição.

5. VENTILADORES PULMONARES RECEBIDOS E RECUPERADOS PELOS TIMES DE REPAROS FEITOS PELA FORÇA TAREFA DEVIDO À PANDEMIA DA COVID-19 NOS ESTADOS DA BAHIA E CEARÁ

Desde o início da pandemia causada pelo COVID-19, o SENAI CIMATEC coordenou a manutenção de 4.047 ventiladores pulmonares em todo o Brasil. Devolvendo para uso 2.516.

SENAI CIMATEC – SALVADOR – BAHIA	
Equipamentos recebidos	538
Equipamentos devolvidos prontos para uso	324

TABELA 01

FONTE: SENAI CIMATEC, SALVADOR, BAHIA /

GERENTE EXECUTIVO DE P&D DR. DANIEL MOTTA

SENAI JACARECANGA - CEARÁ	
Equipamentos recebidos	127
Equipamentos devolvidos prontos para uso	110

TABELA 02

FONTE: SENAI DA ANTÔNIO URBANO DE ALMEIDA E ANA AMÉLIA, CEARÁ/

GERENTE DAS UNIDADES ENGENHEIRO JOSÉ ELIAS

6. APRESENTAÇÃO E DISCURSÃO DOS RESULTADOS

Após última conferência desta fase da pesquisa, nossos entrevistados deixaram uma concepção do que seria o grande salto tecnológico para os ventiladores pulmonares.

Dr. Daniel Motta: Prover com inteligência artificial – tecnologia habilitadora. Inovação fazer a massagem cardíaca sem precisar desentubar o paciente;

Engenheiro de produção José Elias: Reduzir o número de partes móveis;

Engenheiro Clínico Fernando Ferrelli: Equipamentos que consigam gerar o O2 e ser portátil;

Engenheiro Clínico Antônio Duplat: IoMT (Internet of Medical Things), poderia facilitar manutenções remotas, podendo ter central de monitoramento remoto dos pacientes e até a utilização de uma tomografia por impedância embutida, Upgrades, verificação de logs de erro, correção de bugs e que facilitaria muito que tudo pudesse ser remoto.

Engenheiro Elétrico Alexandre Frota: É necessário estabelecer processos de higienização e desinfecção desses equipamentos antes de enviá-los a manutenção.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aprendizado em vários aspectos, aprender e estabelecer processos de higienização e desinfecção. Acreditamos que através desse trabalho, foi possível descrever fundamentos teóricos que ajudem no entendimento do funcionamento dos ventiladores pulmonares. Mas para a construção de um indicador de qualidade quando ao uso desses equipamentos, será preciso um trabalho de campo minucioso do acompanhamento de alguns equipamentos desde sua compra, instalação, uso e manutenção por um período de no mínimo seis meses. Esse será nossa próxima etapa para concluirmos nossa pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Priscila Oliveira – Médica, emergencista e Coordenadora da UPA do bairro de Santa Terezinha Alagoinhas – BA.

CMOS DRAKE, BLOG. Artigo ventilador pulmonar e respirador como funciona e como salva vidas.

CORNIALI, Alfredo Ruben. MSc, Engenheiro Biomédico Sanitarista e membro do Núcleo de Engenharia da Diretoria de Vigilância Sanitária do Estado da Bahia (NE-DIVISA).

E-DISCIPLINAS, ou Moodle da USP, é um ambiente virtual de aprendizagem de apoio às disciplinas da USP, 2020.

FILHO, Afrânio Rebouças Costa - Engenheiro Mecânico Ford Motor Company

FROTA, Alexandre Martins - Engenheiro Elétrico, Ford Motor Company.

Jornal Brasileiro de Pneumologia, on-line version ISSN 1806-3756.

JÚNIOR, Antônio J. M. Duplat - Engenheiro Elétrico com ênfase em eletrônica e coordenador do curso de especialização em engenharia clínica da UNISBA.

JÚNIOR, José Elias Pedrosa Oliveira – Engenheiro de Produção, Gerente das unidades do SENAI da Antônio Urbano de Almeida e Ana Amélia, Ceará.

MOTTA, Dr. Daniel - Gerente Executivo de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) do SENAI-CIMATEC Salvador – BA.

NBR IEC 601. Norma brasileira.

PEIXOTO, Júlia. Fisioterapeuta com especializações em Fisioterapia Cardiorrespiratória e Auditoria em Saúde.

ROBÓTICA, Cirurgia. Site Hospital Sírio Libanês.

ROURE, Renan Magalhães. 2005

SOUZA, Alexandre Ferrelli - Presidente da ABECLIN (Associação Brasileira de Engenharia Clínica).

TAVARES, Átila Ramos - Especialista em Direito Tributário e Finanças Públicas, Assessor Legislativo na Câmara dos Deputados Federais, Membro da ABA (Associação Brasileira de Advogados).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por sempre me permitir sonhar e realizar;

A minha família; A FATEC nas pessoas de Dr. Gomes, Diretor Pedro, Coord. Mariana, Prof. Elbênia, MSc Gildo Dias;

Aos Engenheiros Mecânicos Afrânio Costa, Ramon Souza, Rafael Marzo, o Engenheiro Elétrico Alexandre M Frota e ao Gerente de Relacionamentos Governamentais o Economista Eduardo R. de Freitas - Ford Motor Company;

Presidente da ABECLIN Alexandre Ferrelli;

Ao meu orientador Alfredo R. Corniali;

Antônio J. M. Duplat Júnior - Engenheiro Elétrico com ênfase em eletrônica e coordenador do curso de especialização em engenharia clínica da UNISBA;

Átila Ramos Tavares, Especialista em Direito Tributário e Finanças Públicas, Assessor Legislativo na Câmara dos Deputados Federais, Membro da ABA (Associação Brasileira de Advogados) por orientar a parte do âmbito jurídico;

Dr. Daniel Motta - Gerente Executivo de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) do SENAI-CIMATEC Salvador – BA;

José Elias Pedrosa Oliveira Júnior - Gerente das unidades do SENAI da Antônio Urbano de Almeida e Ana Amélia - Ceará.

Júlia Peixoto - Fisioterapeuta com especializações em Fisioterapia Cardiorrespiratória e Auditoria em Saúde.

Priscila Oliveira Araújo – Médica, emergencista e Coordenadora da UPA do bairro de Santa Terezinha Alagoinhas – BA;

Ao Prefeito Joaquim Neto; Ao Sr Djalma Santos.