

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA**

VIVIANE OTERO LEITE

PRODUÇÃO LOCAL DE OXIGÊNIO HOSPITALAR

São Paulo

2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA**

VIVIANE OTERO LEITE

PRODUÇÃO LOCAL DE OXIGÊNIO HOSPITALAR

**Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
graduação
em engenharia.**

**Área de concentração:
Engenharia mecânica**

Orientador: José Roberto Simões Moreira

São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Leite, Viviane Otero

Produção local de oxigênio hospitalar / V.O. Leite. -- São Paulo, 2006.

59 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Gás natural 2.Mineralogia aplicada 3.Oxigênio (Aplicações industriais; Projeto) 4.Equipamentos e provisões hospitalares I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O propósito deste projeto é o estudo de um sistema de produção de oxigênio que proporcione uma redução nas despesas relativas a aquisição deste gás pelos hospitais. Para isto foi realizado um levantamento das aplicações do oxigênio com alto grau de pureza que possibilitou a análise do mercado existente para este produto, e um levantamento das formas de produção de oxigênio em larga escala, a partir do qual foram encontrados dois sistemas principais: sistema criogênico (convencional) e sistema concentrador (PSA ou VPSA). Observando-se que a proposta de instalação de um novo sistema de produção de oxigênio em hospitais poderia gerar uma revolução no mercado de produção e aquisição de oxigênio puro, foi feita a modelagem de um novo sistema, assim como um estudo de viabilidade do mesmo, comprovando suas vantagens técnicas, econômicas e operacionais.

Palavras-chave: Oxigênio. Sistema Concentrador. Sistema Criogênico. PSA. Zeólita.

ABSTRACT

The intention of this project is the study of an oxygen production system which will provide a reduction in expenditures on acquisition of this gas for the hospitals. Then, a research of high pure oxygen's application and ways of oxygen's production was made. As a result, was found a consuming market and finding two ways of oxygen's production: cryogenic system and concentrator system (PSA or VPSA). In such a way, verified that the installation proposal of a new system of oxygen's production in hospital would be able to cause a revolution on production's an acquisition's market of pure oxygen, was made the modeling of a new system, as well as the system's feasibility study, proving its techniques, economics and operational advantages.

Keywords: Oxygen. Concentrator System. Cryogenic system. PSA. Zeolite.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	1
2. OXIGÊNIO	2
3. APLICAÇÕES DO OXIGÊNIO	4
3.1. Na natureza	4
3.2. Na indústria	4
3.3 Na medicina	9
4. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO	11
4.1. Sistema Criogênico	11
4.2. PSA (“Pressure Swing Adsorption”)	12
4.3. VPSA (“Vacuum Pressure Swing Adsorption”)	13
4.4. Comparação dos sistemas	15
5. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA PSA	16
5.1 Segurança do sistema	19
6. ZEÓLITA	21
7. QUALIDADE DO OXIGÊNIO MEDICINAL	24
8. PROJETO CONCEITUAL	26
8.1. Sistema Kaeser	26
8.2. Modificações para o acúmulo do ar medicinal	27
8.3. Modificações para o acréscimo de tanques reservas	29

9. NORMAS	31
10. DEFINIÇÃO DO SISTEMA	34
10.1. Local de instalação do protótipo	34
10.2. Motor	35
10.3. Compressor	36
10.4. Secador de adsorção e filtros	37
10.5. Ventilador	37
10.6. Unidade PSA	37
11. VIABILIDADE	40
11.1. Custos	40
11.2. Procedimento de cálculo	41
11.3. Simulação para o sistema proposto	42
12. PROJETO DE FABRICAÇÃO	44
13. CONCLUSÃO	45
14. REFERÊNCIAS	46
14.1 Normas técnicas	47
ANEXO A - Resolução ANVISA RDC 50/02	48
ANEXO B - Resolução CFM 1355/92	53
ANEXO C – Motor industrial	54
ANEXO D – Projeto executivo	69

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Efeito do enriquecimento do ar com o oxigênio	06
Figura 4.1 – Configuração de um sistema VPSA	14
Figura 5.1 – Esquema de funcionamento	16
Figura 5.2 – Esquema de válvulas que atuam no PSA	18
Figura 6.1 – Estrutura cristalina da zeólita do tipo Y	22
Figura 8.1 – Esquema de um sistema concentrador de oxigênio, conforme a NBR 13587/96	26
Figura 8.2 – Esquema do modelo de produção de oxigênio da Kaeser	27
Figura 8.3 – Esquema modificado para saída de ar medicinal	28
Figura 8.4 – Esquema para acumulação e distribuição do ar medicinal	28
Figura 8.5 – Modificações propostas	29
Figura 8.6 – Válvulas adicionais necessárias	30
Figura 10.1 – Motor Caterpillar G3304	36
Figura 10.2 – Ventilador	37
Figura 10.3 – Unidade de adsorção PSA (parte interna)	38
Figura 10.4 – Unidade de adsorção PSA (parte externa)	39
Figura 11.1 – Fluxo de caixa	41
Figura 12.1 – Desenho de conjunto	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Propriedades químicas e termodinâmicas do oxigênio	2
Tabela 2.2 – Propriedades termodinâmicas do elemento químico O ₂	3
Tabela 2.3 – Características do elemento químico O ₂	3
Tabela 4.1 – Comparação dos sistemas de produção de oxigênio	15
Tabela 5.1 – Funcionamento de um sistema PSA	19
Tabela 7.1 – Limites para contaminantes no ar comprimido medicinal	24
Tabela 7.2 – Descrição quali-quantitativa do ar ambiente em relação ao ar medicinal e O ₂ medicinal	25
Tabela 10.1 – Dados referentes ao Hospital Beneficência Portuguesa	35
Tabela 10.2 – Dados técnicos do motor	35
Tabela 11.1 – Custos iniciais	40
Tabela 11.2 – Custos de manutenção (anual)	40
Tabela 11.3 – Variáveis adotadas para a primeira simulação	42
Tabela 11.4 – Valor presente da primeira simulação	43
Tabela 11.5 – Dados da primeira simulação para KOG 400	43
Tabela 11.6 – Valor presente da primeira simulação para KOG 400	43

1 INTRODUÇÃO

O oxigênio é um gás presente em grande quantidade no ar atmosférico, no entanto o homem na sua evolução precisa cada vez mais do oxigênio puro, ou seja, de uma mistura onde quase totalidade de sua concentração seja de oxigênio. Isto é importante para ajudar a salvar vidas, promover um crescimento industrial e até mesmo auxiliar o homem nas suas descobertas, como no caso dos mergulhadores que utilizam o oxigênio para mergulharem em grandes profundidades.

No entanto, este gás não possui um custo baixo. Com isso, muitas indústrias optam por não utilizá-lo e no caso da medicina, os hospitais apresentam despesas elevadas com a aquisição deste gás e do ar medicinal, devido ao alto consumo.

Em média o custo unitário da compra em Nm^3 de oxigênio líquido é igual a R\$ 2,29 (SCIELO, 2002). No entanto, sabe-se que este pode variar de R\$ 1,85/ Nm^3 a R\$ 11,00/ Nm^3 como foi descoberto recentemente no Rio de Janeiro. (SFC, 2006).

Encontrar uma solução para essas elevadas despesas é o grande objetivo. Para isso, é necessária uma busca por um novo método de produção de oxigênio, pois o elevado custo do oxigênio adquirido convencionalmente deve-se ao fato deste ser produzido em parque criogênico e de necessitar de um transporte até o consumidor, o qual geralmente não está localizado próximo de onde este gás é produzido.

Foram encontradas formas de produção oxigênio em larga escala e com alta pureza, que são os sistemas concentradores. Porém, por se tratar de um sistema novo foi preciso realizar um estudo de viabilidade técnica, econômica e operacional.

1.1 Objetivo

Desenvolver a modelagem do produto, especificação dos componentes, selecionar um possível local de instalação, levantamento nas normas brasileiras vigentes, avaliação das vantagens do sistema para seus usuários e estudo da viabilidade econômica.

Além disso, também visa demonstrar as diversas aplicações para o oxigênio com alto grau de pureza, constatando a existência de um amplo mercado e incentivando o desenvolvimento deste sistema no Brasil.

2 OXIGÊNIO

O oxigênio é o mais conhecido e difundido dos gases, sendo o elemento mais abundante na crosta terrestre, cerca de 46,6% em peso. Na natureza não é encontrado em estado elementar, ocorre naturalmente na atmosfera sob a forma de molécula biatômica e na atmosfera superior em moléculas triatômicas (ozônio).

Foi descoberto pelo farmacêutico sueco Karl Wilhelm Scheele em 1771, porém o seu trabalho não obteve reconhecimento imediato. Muitos atribuem a Joseph Priestley o seu descobrimento, que ocorreu independentemente em 1 de agosto de 1774. (WIKIPEDIA, 2006).

O nome oxigênio (do grego $\alpha\xi\acute{o}\varsigma$ = ácido e, -geno, da raiz $\gamma\epsilon\nu$ = gerar) foi dado por Lavoisier em 1774 após ter observado que existiam muitos ácidos que continham oxigênio. (WIKIPEDIA, 2006).

Além de ter papel vital para os seres vivos, ele também é amplamente utilizado na medicina, nas indústrias e nas usinas.

Para que se possa conhecer este gás tão importante e que é o foco principal deste projeto, encontra-se nas tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 uma breve descrição do oxigênio.

Tabela 2.1 – *Propriedades químicas e termodinâmicas do oxigênio. (WIKIPEDIA, 2006)*

Símbolo químico	O ₂
Número atômico	8
Massa molecular	32 g/mol
Ponto de ebulição (a 1 atm)	-183 °C
Ponto de fusão (a 1 atm)	-218,8 °C
Temperature crítica	-118,4 °C
Pressão crítica	50,1 atm

Tabela 2.2 – *Propriedades termodinâmicas do elemento químico O₂. (WIKIPEDIA, 2006)*

Densidade do líquido (a P.E. e 1 atm)	1141 kg/m ³
Densidade do gás (a 20°C e 1 atm)	1,33 kg/m ³
Peso específico do gás (a 20°C e 1 atm)	1,10
Peso específico do líquido (a P.E. e 1 atm)	1,14
Volume específico (a 20°C e 1 atm)	0,75 m ³ /kg
Calor latente de vaporização	1630 kcal/mol
Coefficiente de expansão (Líquido para gás a P.E. e 20°C)	1 para 857
Solubilidade em água (a 25°C e 1 atm)	3,16% em volume

Tabela 2.3 – *Características do elemento químico O₂. (WIKIPEDIA, 2006)^j*

Características físicas	Azulado na fase líquida e sólida e extremamente frio na fase líquida, incolor e inodoro na fase gasosa. Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) apresenta-se na fase gasosa.
Características químicas	Não inflamável, não tóxico, oxidante, não corrosivo, acelerador de combustão (evitar contato com óleo, graxas ou outros combustíveis).
Pureza mínima	99,5% (fase líquida)
Nº da ONU	1073 (fase líquida) 1072 (fase gasosa)
Classe de risco	Gás não inflamável, altamente refrigerado (fase líquida), gás oxidante (fase gasosa)

3 APLICAÇÕES DO OXIGÊNIO

O oxigênio é amplamente utilizado na medicina, mantendo vidas pelo auxílio de respiração natural, todavia, também tem grande importância em usinas siderúrgicas e fundição, em indústrias automobilísticas e mecânicas e em diversos setores.

3.1 Na natureza

O oxigênio tem grande importância onde a natureza não consegue mais absorver as águas poluídas. Assim é utilizado em tratamento de efluentes.

Neste processo, é utilizado o oxigênio puro como uma alternativa inovadora para o saneamento ambiental, com grandes vantagens tanto no investimento inicial (construção e instalação) quanto no custo operacional (despesas de operação).

Além disso, a tecnologia da utilização de oxigênio puro em sistemas de tratamento de efluentes industriais e sanitários é segura, fácil de operar e pode ser aplicada em tanques, rios, lagos e lagoas. (AMBIENTE BRASIL, 2005)

3.2 Na indústria

Na indústria, o oxigênio pode ser utilizado em fundições, na fabricação de peças, nas montagens e até mesmo na manutenção. Nos processos onde são utilizados combustíveis, o oxigênio intensifica a transmissão de calor, eleva a temperatura e reduz as perdas nos gases de evasão. A seguir serão detalhadas algumas aplicações.

- *Embalagem de Alimentos:*

Na embalagem de um alimento que se deseja conservar ou envasar é utilizada a tecnologia da atmosfera modificada, que consiste em substituir o

ar que envolve o produto por um gás ou uma mistura de gases de pureza alimentar.

Tal processo pode aumentar a resistência mecânica das embalagens, aumentar a vida útil do produto, preservar a cor, forma e textura do produto e reduzir o uso de conservantes químicos.

Assim, em algumas aplicações o oxigênio é usado como elemento constituinte de uma mistura. Particularmente no caso das carnes vermelhas, a presença do oxigênio na mistura ajuda a manter a cor avermelhada, tão atrativa nos pontos de venda. Também previne a proliferação de organismos estritamente anaeróbicos como no caso do peixe fresco. (AMBIENTE BRASIL, 2005)

- *Reciclagem química*

A reciclagem química re-processa plásticos, transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas. Seu objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais para reutilizá-los como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos.

Um dos processos da reciclagem química é a gaseificação, onde os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio. (AMBIENTE BRASIL)

- *Petroquímica e refinaria de petróleo*

Em princípio, os processos de combustão retiram do ar o oxigênio necessário para a queima. Utilizar oxigênio para enriquecimento da atmosfera da unidade de *cracking* catalítico é uma opção rentável, comparada com as alternativas que requerem grandes investimentos. A aplicação de oxigênio para enriquecimento é uma opção válida quando os sopradores de ar estão com limitações ou quando a limitação está relacionada à velocidade do gás no regenerador. Esta alternativa também é útil quando há variações nas estações ou na alimentação da unidade. As vantagens obtidas com a aplicação do oxigênio são: aumento da capacidade

do regenerador, possibilidade de aumentar a conversão do processo para uma dada alimentação, aumento da performance do manuseio quando houver maior formação de coque e maior facilidade para lidar com as mudanças na composição de alimentação. (AGA, 2005)

- *Fornos de vidro*

Cada vez mais fabricantes de vidro escolhem o sistema de combustão oxigênio-combustível como método de baixo risco e economicamente viável, onde o oxigênio também pode ser utilizado para resolver problemas no permutador de calor, que podem conduzir a uma menor entrada de calor ou a uma mudança no perfil de energia no final do ciclo de vida do forno, como por exemplo, a avaria de um regenerador.

Na fusão do vidro, ao aumentar a quantidade de oxigênio no ar acima dos 21% iniciais, aumenta-se significativamente a temperatura da chama alcançada por qualquer combustível. Por exemplo, o gás natural queimado ao ar alcança uma temperatura de chama de 1940° C, enquanto que a temperatura da chama de gás natural queimado com 23% de O₂ é de 2010°C. Este efeito é mostrado na figura 3.1.

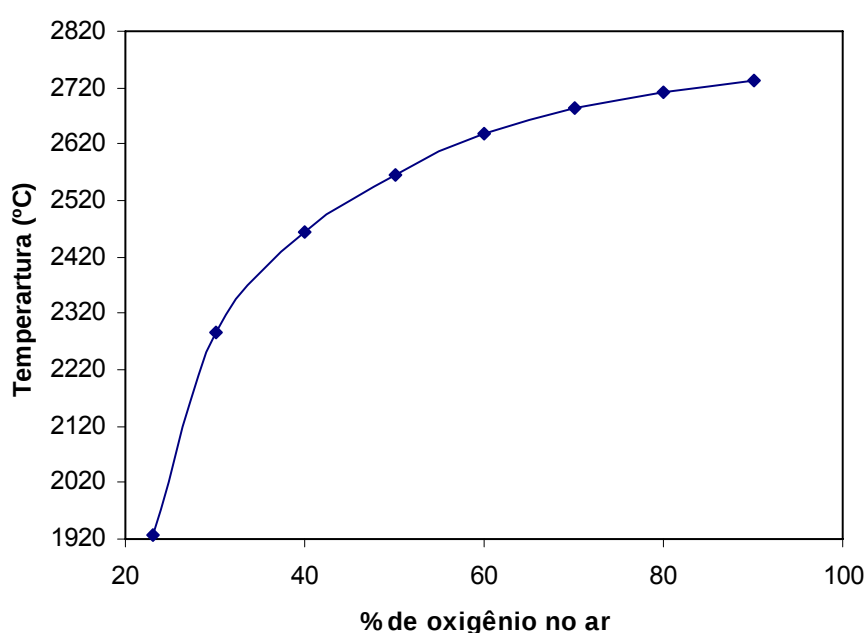


Figura 3.1 – Efeito do enriquecimento do ar com oxigênio.(GASIN, 2005)

Temperaturas de chama mais altas no forno de vidro melhoram a transferência térmica à carga e ao vidro. Isto se deve ao fato dos três mecanismos de transferência térmica (condução, convecção e radiação) dependerem da temperatura da chama. Por isso, com o enriquecimento com oxigênio, o produto absorve mais calor, perde-se menos calor na saída do gás de combustão e o processo de queima é mais eficaz (GASIN, 2005).

Assim, a operação dos fornos torna-se mais flexível, aumentando sua capacidade, reduzindo o consumo específico de energia, de insumos de petróleo ou de gás natural, e permite um melhor controle da temperatura.

Além dos fornos de vidro, o oxigênio também é utilizado para fornos de chumbo, cobre, alumínio, aço, ferro fundido e fornos rotativos em geral, com o mesmo propósito descrito anteriormente para fornos de vidro.

- *Fornos de cerâmicas*

Como nos fornos de vidro, esta tecnologia foi concebida para promover uma atmosfera mais oxidante na região onde as reações de oxidação da matéria orgânica ocorrem e nas proximidades das peças que estão sendo processadas sem elevar a concentração de toda a atmosfera do forno, o que acarretaria um elevado consumo de oxigênio.

- *Fornos de cal*

Seguindo o que ocorre nos fornos de vidro, a capacidade de produção de um forno de cal também pode ser incrementada com a utilização de oxigênio. O aumento da capacidade, que pode chegar a 30%, permite que sejam postergados os investimentos para atingir uma maior capacidade.

- *Corte*

O oxigênio é largamente utilizado em processos de corte e solda combinando-se com GLP, acetileno, argônio e dióxido de carbono.

O processo de corte oxicombustível baseia-se na oxidação do metal à alta temperatura, sua fusão e posterior expulsão por um jato de oxigênio. O

processo se inicia pela aplicação de uma chama de pré-aquecimento que eleva a temperatura de uma pequena área da peça a ser cortada, até que seja atingida a temperatura de ignição. Essa temperatura supera a temperatura de fusão do óxido formado. Aplica-se, então, o jato de oxigênio puro, que realiza a oxidação do metal e expelle os óxidos formados. O processo se auto-sustenta com o calor gerado na oxidação (WHITE MARTINS, 2005).

- *Fermentação*

É um processo biológico envolvendo microorganismos sob condições controladas, para produzir substâncias químicas complexas, sendo muito utilizado na indústria farmacêutica para produção de antibióticos e vitaminas.

A adição de oxigênio puro durante a fase crítica do processo tem o objetivo de aumentar a produtividade.

- *Fundição*

Na fusão e redução metalúrgicas onde são utilizados combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos, o oxigênio intensifica a transmissão de calor, eleva a temperatura e reduz as perdas nos gases de evasão.

- *Indústria de papel e celulose*

Na produção de papel, a uma etapa denominada deslignificação com oxigênio que pode ser considerada em parte como uma continuação do cozimento e em parte como a primeira fase do branqueamento.

A polpa de papel, na fase de deslignificação, é tratada com oxigênio em um vaso de pressão a alta temperatura, em um meio alcalino. A deslignificação pode variar de 40-70%, dependendo da madeira utilizada como matéria-prima e se são utilizados um ou dois reatores em série. A pasta não branqueada Kraft tem um teor de lignina de 3-5%, que após a deslignificação com oxigênio pode ser reduzida para em torno de 1,5%.

3.3 Medicina

Na área médica, o oxigênio puro tem um papel vital. Nas incubadoras de recém-nascidos, as chances de sobrevivência aumentam com o enriquecimento do ar com oxigênio.

A mistura gasosa de alta pureza iguala-se ao ar atmosférico, porém é isenta de umidade, microorganismos e resíduos poluentes. Devido a sua alta pureza é indicado para uso terapêutico em tratamentos intensivos, cirurgias, nebulizações, bem como na movimentação pneumática de aparelhos de anestesia, respiradores de UTIs e secagem de instrumentos cirúrgicos.

- *Oxigenoterapia*

Os objetivos da oxigenoterapia são o tratamento da hipoxemia (baixa oxigenação sangüínea causada por doenças pulmonares obstrutivas crônicas – DPOC), por aumento da pressão alveolar do O₂.

Além da hipoxemia, outras recomendações para oxigenoterapia, de acordo com o Colégio Americano de Médicos de Tórax (VARVINSKI, 2000), são as paradas cardio-respiratórias (FiO₂=1), hipotensão sistêmica (pressão sangüínea sistólica $45 < 100\text{mmHg}$); débito cardíaco baixo e acidose metabólica (bicarbonato $< 18\text{mmol/l}$); crise respiratória (frequência respiratória $> 24/\text{min}$).

A administração pode ser realizada por máscaras faciais (utilizadas para administração de grandes quantidades de oxigênio ao paciente), cânulas nasais (pequeno tubo que leva o oxigênio do cilindro ou do concentrador até as narinas) e cateter transtraqueal (administra o oxigênio diretamente na traquéia do paciente). (RESPIRE E VIVA, 2006)

- *Anestesia*

Na anestesia, o oxigênio é utilizado na anestesia geral, que é tipo anestesia que compreende um estado de inconsciente reversível caracterizado por amnésia, analgesia e bloqueio dos reflexos autônomos.

Neste processo, o oxigênio é utilizado na inalação juntamente com vapores do anestésico líquido ou associados ao anestésico gasoso.

O *guideline* canadense de 2001 (CAS, 2001) para prática de anestesia possibilita o uso de SCO como fonte primária de O₂, desde que em conformidade com os padrões da Associação Canadense de Normas (CSA). Explicita que os usuários do O₂ precisam estar informados e cientes de que a mistura pode variar entre 93% e 99% e de que o uso de procedimentos anestésicos em baixo fluxo, com fluxo de gás fresco (FGF) inferior a 1litro/min, pode resultar em acúmulo de argônio e em diluição do O₂ e do agente anestésico (AA) no circuito respiratório. Também prevê, de modo similar à res.CFM 1355/92, que todo aparelho de anestesia seja equipado com monitor para o FiO₂. (GOWACKI,2003)

- *Tratamento de beleza*

A aplicação de oxigênio puro reduz as rugas e devolve a luminosidade à pele. O oxigênio, juntamente com um óleo, que consiste em uma mistura de vitaminas (A, C, E, etc), aloé vera e antioxidantes é usado através de jatos para combater o envelhecimento da pele, visto que o oxigênio tem penetração na derme, onde estimula a produção das células responsáveis pela formação de colágeno e elastina, o que levará a um aumento da resistência e firmeza da pele. Além disso, ao ser quando utilizado juntamente com óleos compostos por vitaminas, o oxigênio funciona como portador de vitaminas, aumentando a absorção de nutrientes pela pele. (CRYSTAL CLEAR, 2005; OXICUR, 2006).

O maior perigo deste tratamento é a formação de radicais livres, que podem ser formados por exposição solar, produzindo lesões nas estruturas cutâneas. No entanto, a formação de radicais livres é controlada com a utilização de óleos desenvolvidos especificamente para este tipo de tratamento.

4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO

O oxigênio produzido para o uso hospitalar pode ser obtido da forma industrial (sistema criogênico) ou pelos sistemas concentradores (PSA e VPSA).

O sistema concentrador funciona como alternativa principalmente para os hospitais ou indústrias que estão distantes das indústrias fornecedoras de oxigênio e pagam um preço elevado para comprar o gás.

4.1 Sistema criogênico

No sistema criogênico existe um parque industrial criogênico, o qual geralmente, não está localizado próximo ao consumidor do oxigênio. Este parque criogênico é um conjunto de plantas de separação de gases do ar e envolvem grandes recursos e equipamentos de grande porte (RADIOBRAS, 1996).

Neste processo clássico, o ar atmosférico é filtrado e comprimido, em seguida é feita remoção dos contaminantes (H_2O , CO_2 e hidrocarbonetos) e resfriamento a baixas temperaturas (aproximadamente $195,6^\circ C$ negativo), tornando-se liquefeito. Finalmente é realizada destilação fracionada para separação dos gases nitrogênio e oxigênio, que é uma etapa na qual se utiliza uma propriedade físico-química, ponto de ebulição, para realizar a separação dos gases.

Neste processo o oxigênio é fornecido das seguintes maneiras:

- No estado gasoso em cilindros de aço de alta pressão (200 bar): Quando comparados a um concentrador, podem produzir vazões maiores, com maior pureza (99,5%) e não precisam de eletricidade. E comparado a um tanque estacionário (oxigênio líquido) é mais prático pois já se encontra pronto para ser utilizado. (OXIGÊNIO BRASIL, 2005).
- No estado líquido em tanques estacionários bem isolados termicamente (casos de maior consumo): Neste caso, o oxigênio líquido é vaporizado, transformando-se em gás, antes de ser injetado nas linhas de oxigênio locais.

Comparado a concentradores e cilindros de gás, o pequeno recipiente de oxigênio líquido permite maior qualidade de vida e seu transporte é mais simples do que o do cilindro de gás. (LINDE, 2005).

- Através de tubulações ligando o fabricante ao consumidor.

Assim, o consumidor do oxigênio produzido por criogenia (o hospital), compra periodicamente o oxigênio em estado líquido e o mantém em cilindros criogênicos. Além disso, o consumidor tem despesas com transporte, aluguel e manutenção. Todo esse processo é bastante custoso (cerca de R\$ 3,00/Nm³) para o consumidor final (HOSPITAL GERAL, 2005).

4.2 PSA (Pressure Swing Adsorption)

A obtenção do oxigênio pelo processo de adsorção por alternância da pressão” (pressure swing adsorption - PSA), teve seu início no final da década de 60, a viabilidade da obtenção de oxigênio em diversas escalas on-site e seu baixo custo operacional, foram os principais impulsionadores deste processo.

No entanto, o alto consumo de energia elétrica e elevado investimento, quando comparado com o sistema criogênico tradicional, eram características desvantajosas. Porém, este cenário mudou radicalmente nos últimos anos, principalmente devido a avanços nos materiais empregados no sistema de adsorção e no consumo energia elétrica, comprovando ser um processo de alta economicidade na produção de oxigênio. (OXIGÊNIO, 2006).

Neste sistema, existe uma usina de produção de oxigênio, a qual fica instalada junto ao consumidor (“on site”). Esta tecnologia permite a separação e concentração do oxigênio (aproximadamente 95% de O₂) ao submeter o ar ambiente a uma peneira molecular de zeólita sob baixa pressão (3 a 6 bar), durante um período suficiente para adsorver monóxido de carbono, vapor de água, dióxido de carbono e quase todo o nitrogênio presente no ar.

O processo utiliza dois vasos metálicos contendo peneira molecular (zeólita) em antiparalelo, através de seis válvulas, que retém nitrogênio do ar a alta pressão,

o qual será liberado a baixa pressão, e permite que o oxigênio atravesse o leito adsorvente como produto final.

Também, deve existir no processo uma etapa de filtragem e secagem do ar comprimido que é admitido nas peneiras, protegendo a zeólita de contaminação para não comprometer a eficiência da peneira.

Porém, como não há obrigatoriedade de registrar o sistema concentrador de oxigênio no Ministério da Saúde e de realizar ensaios que verifiquem a conformidade do sistema com as recomendações da norma brasileira, insere no contexto hospitalar uma série de variáveis de risco, como a possibilidade de fabricantes e usuários não conhecerem as medidas de segurança e de produzir um gás com maiores impurezas. (UFSC, 2004)

Logo, com intuito de reduzir os riscos, se faz necessário o uso de placas sinalizadoras de perigo, evitando que qualquer pessoa manuseie o equipamento, dispositivos de segurança como alarmes e sensores para o controle do produto final e placas com as características do oxigênio que está sendo utilizado.

Além disso, em caso de utilização em hospitais, é indispensável a monitoração da concentração do oxigênio (através de oxímetros de linha) durante procedimentos de anestesia. (GLOWACKI, 2003)

Assim, é uma alternativa de menor custo e melhor eficiência energética, se comparada com o processo criogênico, mas produz um gás com percentual de oxigênio inferior.

4.3 VPSA (“Vacuum Pressure Swing Adsorption”)

Esta tecnologia é uma variante do PSA, surge da aplicação de vácuo na purga da peneira, quando a pressão de regeneração deve ser muito baixa. Este processo utiliza um sistema de simples admissão do ar ambiente para o concentrador, em vez da compressão, e uma bomba de vácuo para forçar a regeneração da zeólita e a purga dos componentes adsorvidos após cada ciclo. O esquema de funcionamento encontra-se na Figura 4.1. (GLOWACKI, 2003)

Como neste sistema a zeólita será regenerada mais inteiramente, se comparado com o sistema PSA, a eficiência do processo aumenta, abaixando a

quantidade requerida de ar e a pressão do ar e, conseqüentemente, o poder de compressão do ar. No entanto, devido ao equipamento extra (bomba de vácuo) e a complexidade mecânica adicionada, apresenta um custo maior do que o PSA e aumenta a necessidade de manutenção, além do seu poder de separação ser mais baixo.

Assim, o sistema VPSA tem um custo eficaz maior do que o sistema PSA quando as taxas de produção são superiores a 20 ou 30 toneladas por dia, e os fatores que interferem na escolha do sistema concentrador de oxigênio são:

- ✓ O tamanho da planta: As maiores capacidades favorecem ao VPSA;
- ✓ Custo do poder: Taxas elétricas mais elevadas favorecem ao VPSA;
- ✓ Pressão requerida do produto: PSA pode produzir oxigênio a 2 ou 3atm, enquanto o VSPA produz oxigênio a aproximadamente 1atm. Porém, no caso em que são requeridas pressões mais elevadas (por exemplo, para alimentar um sistema de distribuição a 7 atm) ambos os sistemas requerem a compressão do produto. (Uigi)

No entanto, o protótipo em desenvolvimento, produzirá uma quantidade de oxigênio inferior a 120000 m³ por mês, visto que esse é consumo médio mensal do local de instalação da usina e que há com pré-definição do projeto a produção de oxigênio para o suprimento de apenas uma parte da demanda, o que favorece o sistema PSA.

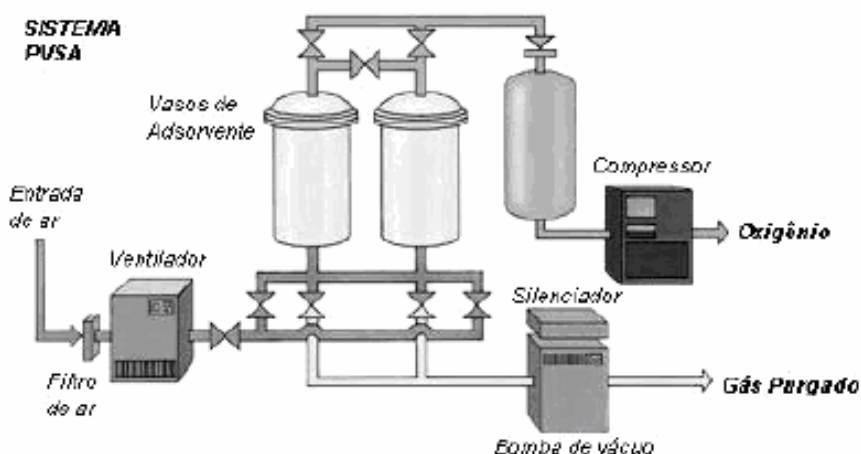


Figura 4.1 – Configuração de um sistema VPSA. (Glowacki,2003)

4.4 Comparação dos sistemas

A Tabela 4.1 indica uma comparação dos três sistemas mais empregados. Na primeira coluna estão indicados as características principais desejadas de um sistema de produção de oxigênio. As três colunas seguintes indicam os sistemas que foram comparados, sendo que o criogênico é o sistema convencional. Entre as vantagens principais do sistema PSA em relação aos outros dois sistemas podemos mencionar que o mesmo tem o menor custo de implantação, operação e manutenção, pode ser construído no local (assim como o VPSA), exige pouca manutenção, porém precisa de cuidados adicionais na sua operação.

Tabela 4.1 – *Comparação dos sistemas de produção de oxigênio.*

	Criogênico	PSA	VPSA
Localização da planta em relação ao consumidor	Longe	Próximo	Próximo
Pureza do oxigênio obtido	Acima de 95%	95%	95%
Frequência de manutenção dos equipamentos	Muita	Pouca	Muita
Possibilidade de risco no contexto hospitalar	Menor	Maior	Maior
Custo total	Alto	Baixo	Médio

5 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA PSA

A partir do levantamento de sistemas de produção e da comparação realizada entre eles, o sistema concentrador PSA foi selecionado para ser proposto aos hospitais e estudado.

O princípio de funcionamento básico deste processo consiste na função e no sistema de controle da peneira molecular, no entanto, outras etapas são necessárias durante todo o processo para garantir a qualidade do oxigênio produzido, ou seja, pureza mínima de 92%.

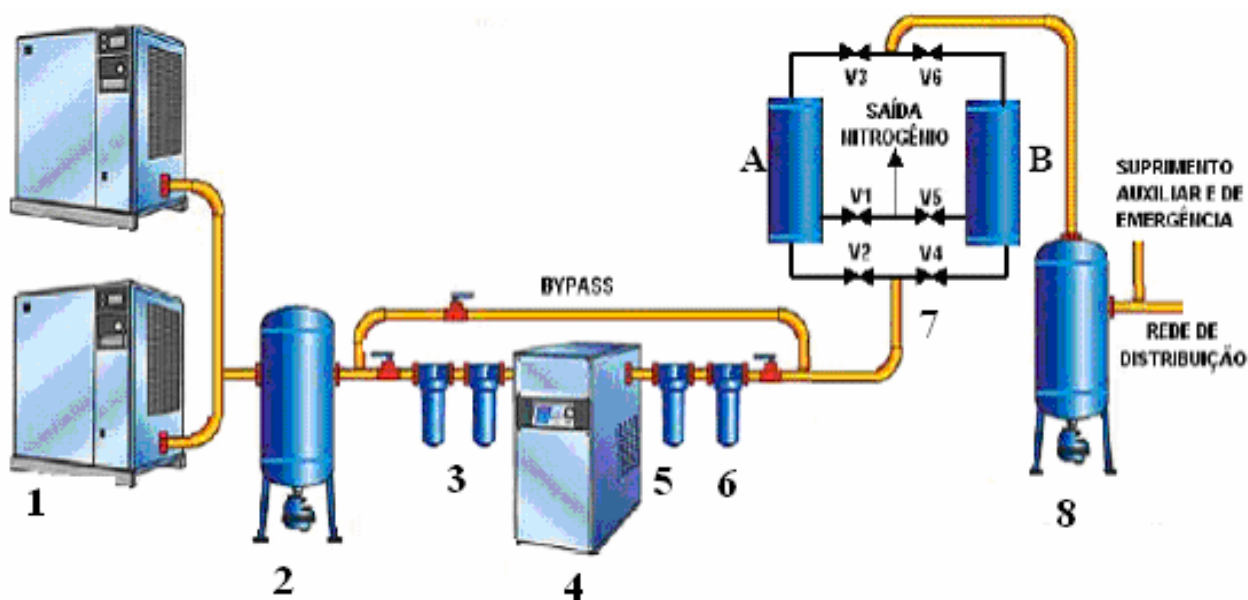


Figura 5.1 – Esquema de funcionamento

Na figura 5.1 encontra-se o esquema de funcionamento de uma usina de produção de oxigênio. Onde:

1.Compressor:

O ar é pressurizado a aproximadamente 7bar;

2.Separador de condensado:

Colocado a jusante do compressor, condensa e drena parte da água e das partículas;

3. Pré-filtro coalescente:

Retém partículas maiores que 1μ e retira maior parte do óleo do ar. Nele os condensados depositam-se no fundo do copo, onde há um dreno que é acionado, preferencialmente, de forma automática, controlado por tempo ou por um sistema de bóia que abra a válvula quando o condensado atingir determinado volume. Os copos devem apresentar visores de nível de condensado que permitam monitorá-lo e atuar o dreno caso o modo automático falhe. Em complemento, devem contar com manômetros diferenciais que meçam a diferença de pressão entre a entrada e a saída do filtro, fornecendo um indicador do nível de saturação do elemento filtrante, para auxiliar a decisão de troca, que, a princípio, segue a orientação do fabricante dada em número de horas de uso (GLOWACKI, 2003)

4. Secador:

Retirá a água ainda presente no ar comprimido, chegando a um ponto de orvalho de -40°C ;

5. Pós-filtro coalescente:

Retém partículas maiores do que $0,01\mu$, com o mesmo princípio de funcionamento que o pré-filtro.

6. Filtro de carvão ativado:

Retém o residual de óleo;

7. Zeólita:

Retém o nitrogênio, permitindo a passagem de oxigênio com 95% de pureza;

8. Armazenador:

O oxigênio é armazenado a aproximadamente 4,5 bar.

Sabe-se que a etapa principal no funcionamento desta usina é a passagem pela zeólita. Para que se obtenha um gás com a qualidade determinada pela norma, faz-se necessário um sistema rigoroso de controle de válvulas nesta etapa.

O arranjo físico do esquema de válvulas está indicado na Figura 5.2 e seu princípio de funcionamento está sistematizado na Tabela 5.1, onde estão indicadas

as todas as ações necessárias para um ciclo completo de obtenção de oxigênio. O vaso B é pressurizado e começa a liberar oxigênio na saída para o reservatório de consumo (não mostrado na Figura 5.2 – apenas indicado pela seta de saída de O_2), o qual tem a função de “pulmão de equalização” para filtrar pequenas variações de pressão devido aos picos de consumo e as pequenas variações na concentração de oxigênio, enquanto o nitrogênio adsorvido no vaso A está sendo purgado para o ambiente. A purga ocorre por depressurização natural e é auxiliada por um fluxo de uma fração de oxigênio produzido no vaso B no sentido contrário ao do esvaziamento do vaso A para a atmosfera. À medida que o vaso vai se pressurizando, o nitrogênio vai sendo adsorvido e o oxigênio vai se concentrando na extremidade oposta à entrada do ar comprimido. (SILTON, 2005)

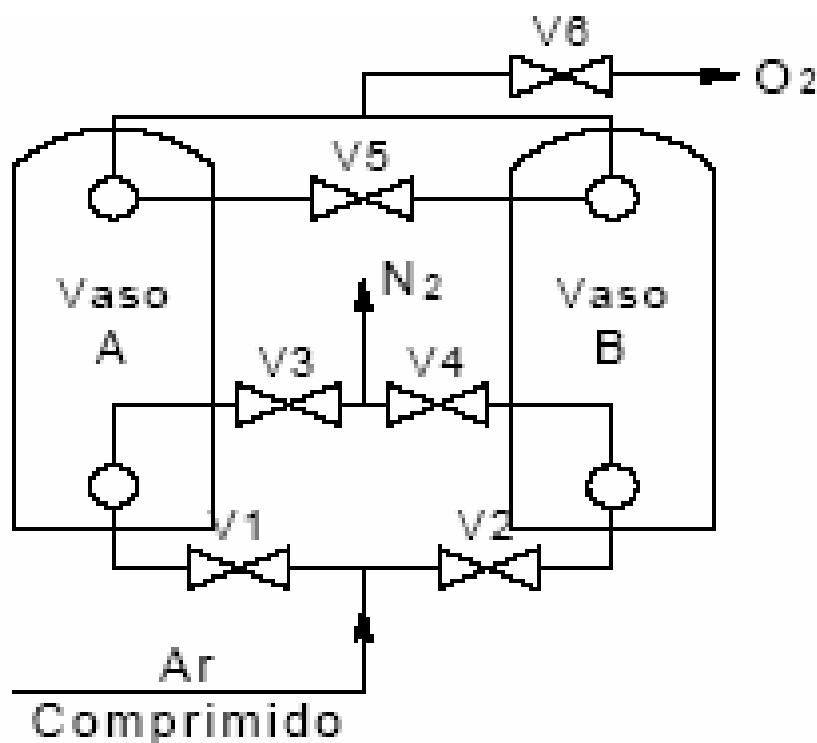


Figura 5.2 – Esquema de válvulas que atuam no PSA. (GLOWACKI, 2003)

Tabela 5.1 – Funcionamento de um sistema PSA. (GLOWACKI, 2003)

Fase	VÁLVULAS						VASOS		AÇÕES
	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	VA	VB	
8	X	X	X	X	O	X	Equalizam		Os dois vasos com as pressões internas equivalentes.
1	O			O			Pressuriza	Despressuriza	Inicia admissão de ar no vaso A e a liberação natural de N ² no vaso B
2						O	Produz	Purga	Inicia a produção do vaso A e a lavagem do vaso B.
3				X				Fecha	Cessa a purga do vaso B
4	X				O	X	Fecha		Cessa a produção do vaso A e equalizam-se as pressões dos vasos
							Equalizam		
5		O	O				Despressuriza	Pressuriza	Inicia admissão de ar no vaso B e a liberação natural de N ² no vaso A
6						O	Purga	Produz	Inicia a produção do vaso B e a lavagem do vaso BA
7			X				Fecha		Cessa a purga do vaso A
8		X			O	X		Fecha	Cessa a produção do vaso B

X=fecha a válvula; O=abre a válvula

5.1 Segurança do sistema

Além de todos os equipamentos utilizados para tratar o ar e obter o oxigênio medicinal, no funcionamento desse sistema devem ser utilizados equipamentos de segurança, como:

- Pressotato: é responsável por ligar e desligar o compressor, acionando e desacionando quando a pressão no interior do reservatório atingir o valor crítico inferior ou superior;
- Válvula de segurança: Trata-se de um dispositivo que deve ser instalado no reservatório central de ar comprimido. Esta válvula se abre em determinado

valor de pressão (pressão de abertura), maior que o regulado para o desacionamento através do pressostato. Devido à abertura, o dispositivo permite o fluxo de ar do reservatório para o ambiente até que a pressão em seu interior atinja valor menor do que a pressão de abertura. A partir deste ponto, a válvula se fecha automaticamente. É aconselhável a instalação de um alarme simultaneamente à abertura da válvula, para indicar um possível erro de funcionamento no controle do sistema;

- Alarme de baixa e alta pressão: este alarme é acionado quando a pressão do reservatório está menor do que o valor crítico inferior. Isso pode indicar que o pressostato não enviou sinal para acionar o compressor ou há problemas no acionamento do mesmo. (HOSPITAL GERAL, 2005).

6 ZEÓLITA

A tecnologia empregada nos concentradores de oxigênio utiliza como princípio básico de funcionamento uma rocha denominada zeólita.

As zeólitas formam uma grande família de silicatos hidratados e mostram semelhanças íntimas na composição, em suas associações e no modo de ocorrência. Elas são silicatos de alumínio com sódio e cálcio como as bases importantes. A dureza média varia entre $3\frac{1}{2}$ e $5\frac{1}{2}$ e a densidade relativa entre 2,0 e 2,4. (HULBUT Jr., 1969).

As cadeias, ligadas pelos cátions intersticiais, sódio, potássio, cálcio e bário, formam uma estrutura aberta, com grandes canais, nos quais a água e outras moléculas podem alojar-se prontamente. Quando uma zeólita é aquecida, a água nos canais desprende-se fácil e continuamente, à medida que a temperatura aumenta, deixando a estrutura intacta. Este comportamento está em contraste nítido outros compostos hidratados.

Após a desitração completa de uma zeólita, os canais podem ser preenchidos novamente com água ou com amônia, vapor de mercúrio, vapor de iodo ou uma variedade de outras substâncias. Este processo é seletivo e depende da estrutura particular da zeólita e do tamanho das moléculas, devido a esta propriedade as zeólitas são usadas como “peneiras moleculares”.

As zeólitas tem uma propriedade útil adicional, que se prende à sua estrutura. A água pode passar facilmente através dos canais, e no processo, os íons em solução podem ser trocados por íons na estrutura. Este processo é denominado “troca de base” ou “troca de cátions”, e por sua atividade as zeólitas são utilizadas para o amolecimento da água.

Assim, há um tipo zeólita que é uma rocha hidrófila composta por alumínio, silício e oxigênio, encontrada em regiões vulcânicas próximas a água, onde ocorreram erupções. Sua estrutura cristalina apresenta poros que permite a filtragem do ar.

Esta estrutura é baseada em um tetraedro formado por quatro oxigênios juntos com um átomo de silício, com quatro elétrons na camada de valência. Estes tetraedros são unidos pelos oxigênios formando os cristais. Quando o alumínio está

presente enquanto os cristais são formados, o silício é substituído pelo átomo de alumínio (três elétrons na camada de valência).(EPA, 1998).

O processo de adsorção ocorre principalmente por forças de Van der Waals e forças eletrostáticas entre as moléculas do adsorbato e os átomos que compõe a superfície adsorvente. Logo, a aplicação dos adsorventes levam em consideração a área da superfície, a polaridade, tamanho e distribuição dos poros que dão acesso ao adsorbato.

Com isso, são produzidas zeólitas sintéticas com características pré-determinadas para cada aplicação. Estas apresentam uma estrutura inorgânica formada por alumínio e sílica e acrescida de um cátion metálico (Na^+ , Ca^+ ou K^+), o qual a torna polar, reduzindo o diâmetro de acesso ao poro, podendo ser classificada como “A”, “Y” (figura 6.1) ou “X”, de acordo com sua estrutura cristalina. Dentre os diversos tipos de zeólita, pode-se encontrar janelas variando de 0,3 a 3,0 nanômetros. (EPA, 1998)

Como esses tipos de zeólitas são produzidas de forma a apresentarem funções específicas para determinadas aplicações, elas podem ser hidrofóbicas ou hidrófilas e apresentarem poros maiores ou menores, dependendo da taxa de alumínio e silício.

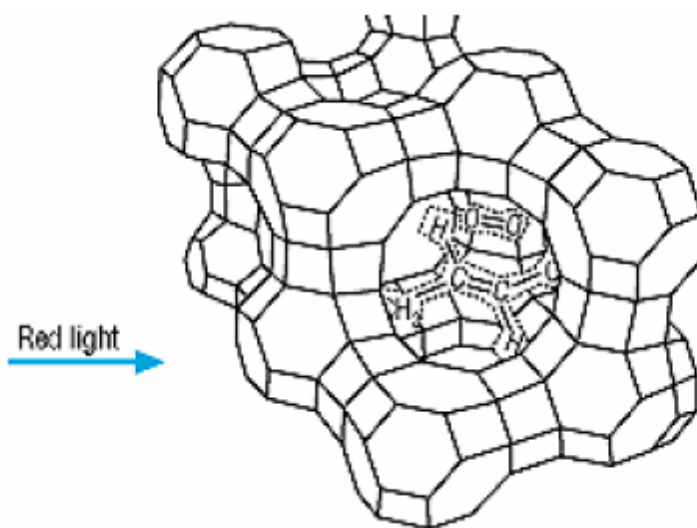


Figura 6.1 – Estrutura Cristalina da zeólita tipo Y. Fonte: EPA (Julho/1998)

Assim, para o ar comprimido, a zeólita funciona com um secador, pois absorve a umidade; e para a separação do nitrogênio e oxigênio do ar, ela retém o nitrogênio, além do vapor de água, deixando passar o oxigênio, funcionando como

uma peneira molecular, isto ocorre devido a polarização e a pequena diferença de tamanho entre as moléculas de oxigênio e de nitrogênio.

Entretanto, a zeólita sintética utilizada para separação entre nitrogênio e oxigênio deve ser do tipo “A” ou “X”, as quais são alcalinos silicatos de alumínio projetados para cada aplicação. (ZEOCHEM, 2005).

No mercado é possível encontrar essa substância para ser adquirida e existem diversos fabricantes que a comercializam.

Um exemplo de outras aplicações onde a zeólita pode ser empregada é na desidratação do álcool. O princípio de desidratação de álcool através de Peneira Molecular está baseado na capacidade de adsorção seletiva de substâncias denominadas zeólita. Quando da passagem, em fase de vapor, de um fluxo contendo álcool e água, as moléculas de água ficam "presas" na estrutura cristalina especialmente desenvolvida.

Esta tecnologia apresenta as vantagens de eliminar agentes químicos desidratantes da destilação tradicional, eliminar perdas no processo, reduzir consumo de vapor e água industrial, ampliar a capacidade em unidades instaladas e produzir Álcool Anidro de melhor qualidade. (PLANACOOOL, 2005).

7 QUALIDADE DO OXIGÊNIO MEDICINAL

O oxigênio medicinal é uma mistura de gases, na qual há uma porcentagem de oxigênio igual ou superior a 92%.

Sendo está uma das misturas gasosas mais importante e utilizada nos hospitais, podendo salvar vidas, há um padrão mínimo de qualidade definido por normas e resoluções como a RDC nº 50 (anexo A) e a resolução CFM nº1.355/92 (anexo B).

Este padrão impõe um limite de contaminantes para o oxigênio medicinal e também para o ar medicinal, que é o estado no qual o ar deve está antes de ser submetido a peneira molecular, como pode ser observado nas tabelas 7.1 e 7.2. Este gás também é amplamente utilizado em unidades hospitalares.

Tabela 7.1 – *Limites para contaminantes no ar comprimido medicinal (CSA – Z305.1-92) (HOPISTAL GERAL, 2005).*

COMPONENTES	LIMITES
Monóxido de carbono (CO)	5 ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)	500 ppm
Óleo e matéria particulada	1 mg/m ³
Dióxido de enxofre (SO ₂)	1 ppm
Agentes anestésicos	0,1

Tabela 7.2 – Descrição quali-quantitativa do ar ambiente em relação ao ar medicinal e O₂ medicinal (Glowacki,2003).

Componente/Requisito	Ar ambiente	Ar medicinal	O ₂ / 99%	O ₂ / 93%	O ₂ / 92%
		(RDC 50/02)	(USP/84)	(USP/84)	NBR 13587/96
O ₂ (%)	20,9476	20,4 - 21,4		90-96	93
N ₂ (%)	78,084	Balanço		Balanço	Balanço
Ar(%)	0,934			Balanço	Balanço
H ₂ O		67ppm			Nenhuma
PO (°C)		-45,5			-45
CO (ppm)máx		5	0,001%	0,001%	<5
CO ₂ (ppm)máx	0,0314	500	0,03%	0,03%	<100
NOx (ppm)máx	0,5	2			5
Sox máx		1ppm			<1ppm
CH ₄ - Metano máx	2ppm				<25ppm
Hidrocarbonetos voláteis - máx					<1/2TLV
Hidrocarbonetos halogenos – máx					<5ppm
Óleo, resíduos não voláteis - máx		0,1mg/m ³			<1mg/m ³

8 PROJETO CONCEITUAL

A NBR 13587/96 apresenta uma configuração básica para os sistemas concentradores de oxigênio, utilizados como suprimento centralizado em estabelecimentos assistenciais de saúde, como mostrado na figura 8.1.

Neste capítulo será apresentado o esquema da Kaeser, o qual será adotado como referência neste projeto e serão indicadas algumas possíveis alterações com o intuito de torná-lo um sistema independente.

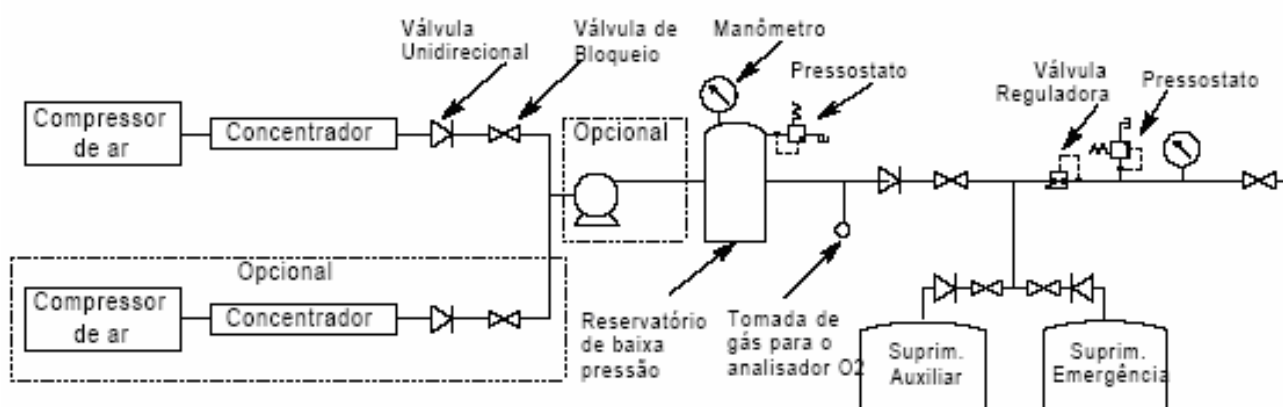


Figura 8.1 – Esquema de um sistema concentrador de oxigênio, conforme a NBR 13587/96.(GLOWACKI, 2003).

8.1 O sistema Kaeser

A Kaeser dispõe de um modelo de produção de oxigênio baseado no sistema PSA (“Pressure Swing Adsorption”), sendo totalmente automático, não requerendo mão-de-obra especializada para operá-lo. Tal modelo é apresentado esquematicamente na Figura 8.2.

Esse sistema tem como principal equipamento uma peneira molecular de zeólita, onde serão adsorvidas substâncias presentes no ar, como monóxido de carbono, vapor d’água, dióxido de carbono e quase todo o nitrogênio, permitindo uma concentração de até 95% de oxigênio.

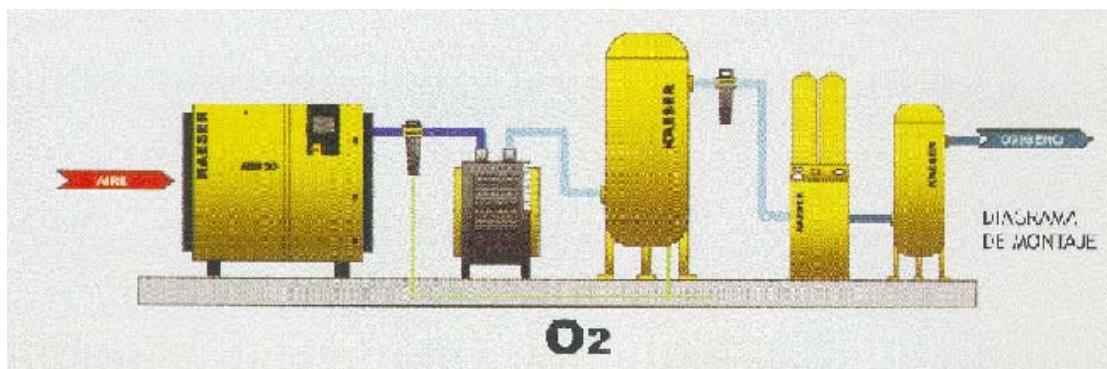


Figura 8.2 – Esquema do modelo de produção de oxigênio da Kaeser.

O modelo apresentado (Figura 8.2) obedece as normas vigentes OSHA, CSA, AS2299, DIN/ENM 12021, Phamacopée Européene e tem como princípio básico de funcionamento a compressão do ar, a secagem e a concentração do oxigênio através da peneira molecular.

Porém, o ar ambiente captado, tem poluente e sólidos em suspensão que só pelo processo descrito não seriam retirados. Assim, para garantir uma boa qualidade do ar, uma eficiência do processo e preservar a vida útil da peneira, é ideal que o ar ambiente seja captado em lugares menos poluídos e que este receba um tratamento após ser comprimido, chegando a peneira com a qualidade do ar medicinal (GLOWACKI, 2003). Com isso, o ar ambiente captado pelo compressor e é pressurizado à aproximadamente 8 bar de pressão, saindo com água e partículas. Depois de comprimido o ar deverá ser tratado (conforme descrito no item 5), com o intuito de atender os requisitos normativos.

8.2 Modificações para o acúmulo do ar medicinal

Para utilizar o modelo da Kaeser de produção de oxigênio para a produção de ar medicinal e oxigênio, deve ser feita uma saída, antes do concentrador, para o ar comprimido, que após todos os tratamentos de filtragem e secagem descritos no modelo da Kaeser terá a qualidade do ar estéril (ar medicinal). Esta modificação está representada na Figura 8.3. Porém, fazer uma saída para o ar medicinal não é algo tão simples, pois uma nova tubulação com válvulas e um tanque deverão ser

acrescentadas ao modelo (Figura 8.2). Além disso, o sistema de controle do modelo atual deve ser modificado, pois existirá um novo caminho para onde o fluxo de ar comprimido poderá ser desviado.

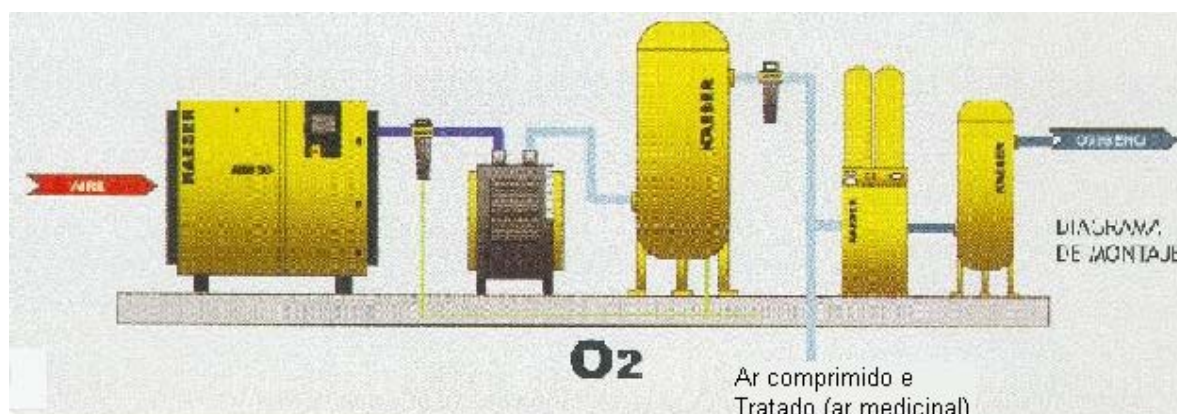


Figura 8.3 - Esquema modificado para saída de ar medicinal.

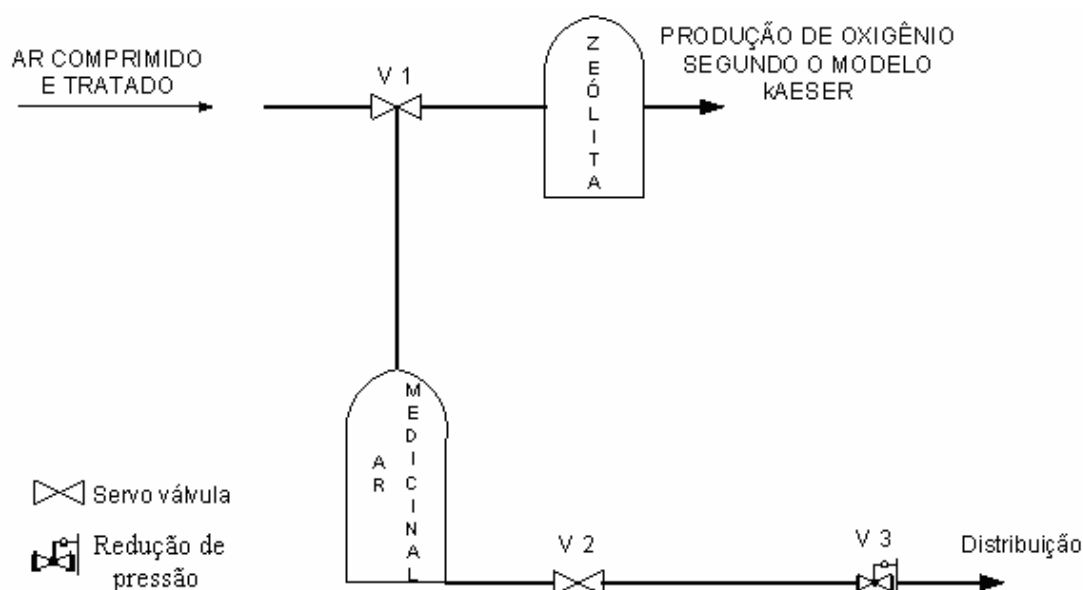


Figura 8.4 – Esquema para a acumulação e distribuição do ar medicinal.

Observando a Figura 8.4, as válvulas V1 e V2 são servo-válvulas, sendo V1 uma servo-válvula de uma entrada e duas saídas, que distribuirá o fluxo de ar comprimido para o armazenador de ar medicinal e para a peneira molecular, dando prioridade à produção de oxigênio, e V3 uma válvula de redução de pressão. Assim

como na produção de oxigênio existem normas que deverão ser seguidas para a produção de ar medicinal, havendo a necessidade de se controlar a pressão, como também de tanques reservas para uma eventual emergência (parada da usina).

8.3 Modificações para o acréscimo de tanques reservas

O modelo apresentado pela Kaeser é um sistema de produção de oxigênio, exclusivamente, e que só tem um tanque para armazenar tal produto. De acordo com a norma, a produção de oxigênio pelos sistemas concentradores necessita de um sistema reserva para o caso em que a usina precisa ser interromper o seu funcionamento. Esse sistema reserva pode ser qualquer, a única exigência é que ele deve ser ativado automaticamente quando a produção de oxigênio pela usina for interrompida.

Assim, uma proposta pode ser o acréscimo de um tanque reserva de oxigênio e um tanque reserva de ar medicinal, para o caso de produção de oxigênio e ar medicinal, com controles que satisfaçam a norma vigente. As modificações necessárias no esquema de tubulação e válvulas da kaeser para esta proposta podem ser observadas nas Figuras 8.5 e 8.6.

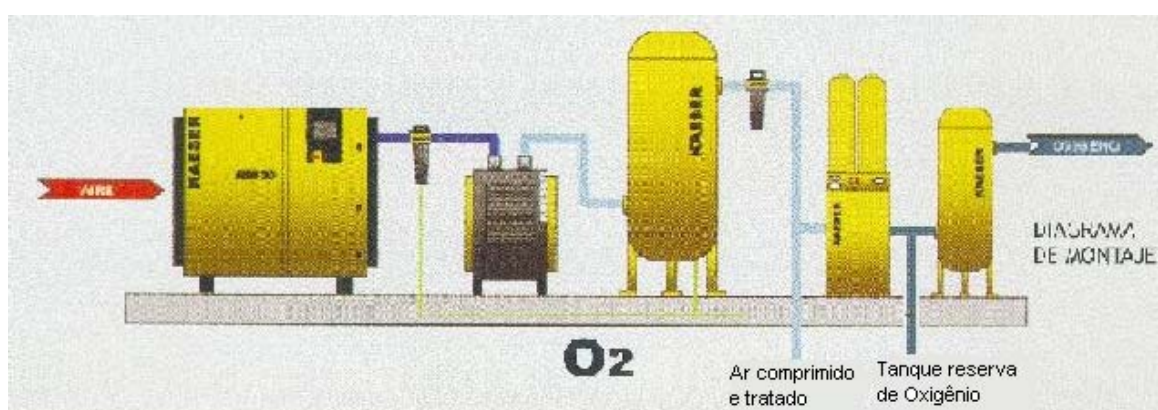


Figura 8.5 – Modificações propostas

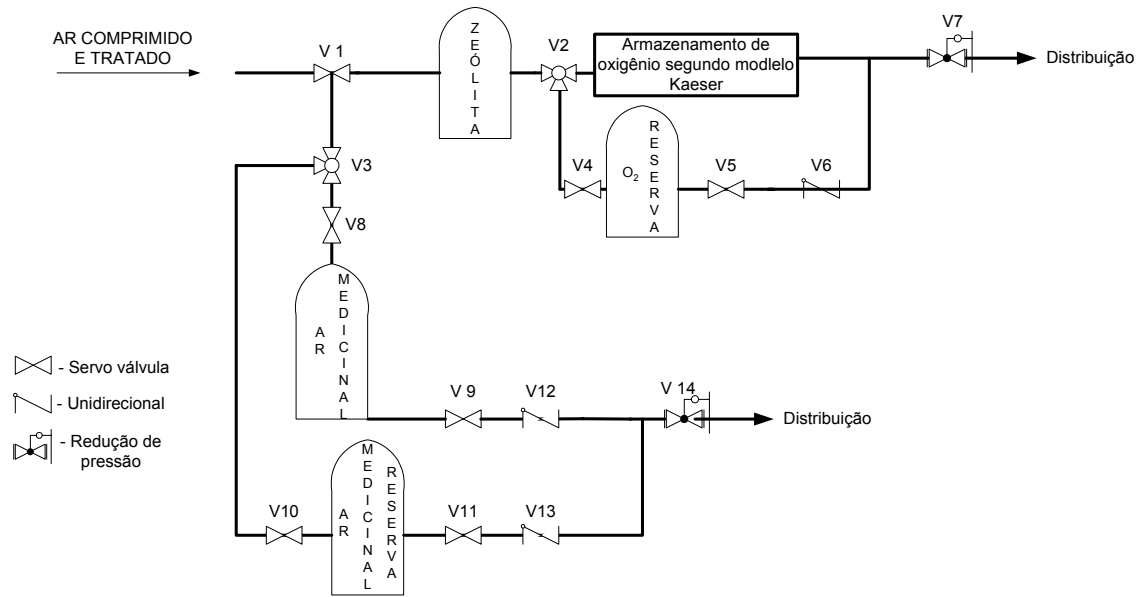


Figura 8.6 – Válvulas adicionais necessárias

9 NORMAS

Como dito em capítulos anteriores, não há uma norma brasileira a ser respeitada na construção de um sistema concentrador, assim como não há obrigatoriedade de registro no Ministério da Saúde. No entanto, existem resoluções que auxiliam no controle da qualidade do oxigênio a ser produzido e estabelecem ações que devem ser respeitadas para garantir um bom funcionamento do sistema, de forma segura e eficiente.

A seguir serão listados alguns pontos importantes dessas resoluções (CFM 1355/92 e RDC 50), as quais estão localizadas no anexo deste relatório.

Segundo a Resolução CFM 1355/92, a usina concentradora de oxigênio deve possuir:

- Um medidor que indique continuamente a concentração do oxigênio que está sendo fornecido;
- Um sistema para interromper automaticamente o funcionamento da usina quando o teor de oxigênio na mistura for inferior a 92%;
- Além disso, também determina que o sistema usual de oxigênio deverá entrar em funcionamento automaticamente, em qualquer instante em que a usina processadora interrompa sua produção.

Ações a serem tomadas antes da instalação do protótipo:

- ✓ *É Preciso verificar se o modelo da Kaeser apresenta estes controles;*
- ✓ *Como não será produzida uma quantidade de oxigênio que supra todo o consumo do hospital, onde a usina será instalada, ou seja, o sistema de abastecimento atual do hospital continuará em funcionamento, não há necessidade de instalar um tanque reserva junto à usina, mas*

deverá ser feito um sistema de controle que acione automaticamente o sistema atual, no caso de falha da usina.

Segundo a ANVISA 2002 – RDC 50:

- Os sistemas de usinas concentradoras devem manter suprimento reserva para possíveis emergências, que devem entrar automaticamente em funcionamento quando a pressão mínima de operação preestabelecida do suprimento primário for atingida ou quando o teor de oxigênio na mistura for inferior a 92% ou em qualquer instante que a usina processadora interrompa sua produção;
- Deve haver um alarme operacional que indique quando a rede deixa de receber de um suprimento primário e passa a receber de um suprimento secundário ou de um tanque reserva. Este alarme deve ser sonoro e visual, sendo que este último só deve ser apagado com o restabelecimento do suprimento primário;
- Usinas concentradoras para produção de ar medicinal:
 - A central de suprimento deve conter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outro(s) compressor(es), equivalentes ao primeiro, ou cilindros.
 - No caso de central de suprimento reserva de compressor(es), cada compressor deve ter capacidade de 100% do consumo máximo provável com possibilidade de funcionar automaticamente ou manualmente, de forma alternada ou em paralelo, em caso de emergência. No caso de central de suprimento reserva de cilindros, devem ser instalados, no mínimo, dois cilindros, e seu dimensionamento é função do consumo e frequência do fornecimento.

Observação: A norma cita que a usina concentradora de oxigênio, a qual é constituída de máquinas acionadas por energia elétrica necessita de outro tipo de sistema como reserva.

Ações a serem tomadas antes da instalação do protótipo:

- ✓ *Verificar se o modelo da Kaeser atende as especificações de controle e alarme estabelecidas pela ANVISA;*
- ✓ *Verificar a necessidade de outro sistema de abastecimento como reserva, ou de outros compressores ou se é possível encher cilindros a partir do oxigênio produzido na usina e deixá-los como reserva, de forma que eles sejam utilizados automaticamente quando usina falhar.*

10 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

Um dos objetivos deste projeto é desenvolver um conhecimento sólido para que seja possível a construção e instalação de um sistema PSA, no futuro, com o qual possam ser feitos ensaios verificando sua viabilidade e compatibilidade com a norma brasileira vigente, concedendo veracidade ao estudo teórico desenvolvido. Assim, a partir desta experiência e seus resultados, este protótipo poderá ser comercializado com segurança e sustentado por dados conceituais e empíricos.

Perante este objetivo, foi selecionado um possível local de instalação do protótipo, um hospital, do qual serão coletados dados para referências no estudo de viabilidade econômica.

10.1 Local de instalação do protótipo

O local de instalação adotado como referência será a Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, localizada na Rua Cesário Motta Júnior, 112 – Vila Buarque – São Paulo – SP.

É um hospital de grande porte, dispõe de 700 leitos, o que gera um alto consumo de oxigênio e ar medicinal. Com isso, o valor pago na aquisição destes gases é diferenciado.

No entanto, devido ao alto consumo mensal de oxigênio puro deste hospital, não será feita uma seleção de equipamentos que atenda a toda sua demanda. A produção mensal de oxigênio será determinada pela capacidade dos equipamentos a serem selecionados, que serão discutidos mais adiante.

Assim, os dados principais deste hospital, que serão utilizados como referência neste estudo são os valores pagos pelo oxigênio puro e pelo gás natural.

Tabela 10.1 – Dados referentes a Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo

Consumo médio	60.000 Nm ³ /mês
Preço do oxigênio (incluso frete)	R\$ 0,799/Nm ³
Preço do gás natural	R\$ 0,98/Nm ³

10.2 Motor

Será utilizado um motor Caterpillar G3304, com 4 cilindros, que opera a 95Hp quando submetido a 100% de carga, apresentando uma rotação de 1800rpm.

Este equipamento apresenta um custo igual a US\$52.700,00 e sua manutenção anual é aproximadamente igual R\$12410,00. O detalhamento das peças que necessitam serem trocadas a cada manutenção encontra-se no anexo C.

Tabela 10.2 – Dados técnicos do motor (Segundo Caterpillar ; SOTREQ)

Potência			Consumo (m ³ /h)
Kw	Hp	% de carga	
70,8	95	100	21,7
53,1	71	75	22,5
35,4	47,5	50	28,6

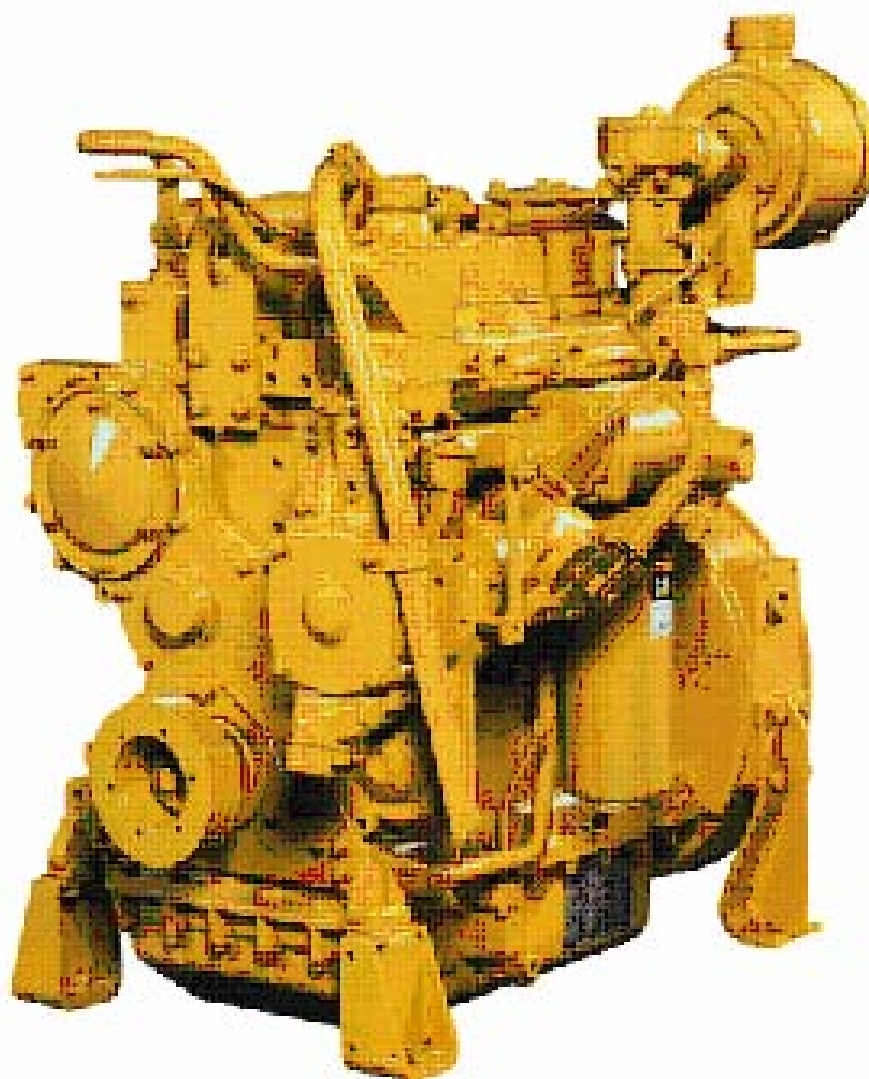


Figura 10.1 – Motor Caterpillar G3304

10.3 Compressor

Será utilizado um compressor Kaeser M121, que apresenta uma vazão de 450cfm (equivalente a $679,605\text{Nm}^3/\text{h}$), liberando o ar comprimido a aproximadamente 80°C e 7bar, podendo operar a 104,5Hp.

Este equipamento apresenta um custo igual a US\$ 22.400,00, e sua manutenção anual custa aproximadamente R\$ 5.800,00

10.4 Secador de adsorção e filtros

Esses equipamentos permitiram que o ar apresente a qualidade do ar medicinal, com ponto de orvalho de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e residual de 0,0003 ppms.

O custo destes equipamentos é aproximadamente igual a US\$ 15.500,00.

10.5 Ventilador

Também deverá ser adquirido um ventilador de 3Hp para o resfriamento do óleo do compressor.



Figura 10.2 - Ventilador

10.6 Unidade PSA

Será utilizada como referência a unidade de adsorção da Kaeser KOG 2000, a qual tem uma produção máxima de oxigênio de $54,1\text{ Nm}^3/\text{h}$, liberado a 4,5bar com 95% de pureza. Para esta produção, esta unidade requer um consumo de $11,89\text{ Nm}^3/\text{min}$ a uma pressão mínima de 6bar.

Este equipamento apresenta um custo igual a US\$ 112.750,00. Sua manutenção juntamente com a do secador e filtros apresenta um custo anual igual a R\$2.000,00.

Além de todos os equipamentos citados anteriormente, deverá ser desenvolvida pela Kaeser a base para todos os equipamentos e uma cabine acústica no valor de US\$ 15.000,00 e a instrumentação com um custo de US\$ 3.000,00, para uma possível instalação.



Figura 10.3 – Unidade de adsorção PSA (parte interna)



Figura 10.4 – Unidade de adsorção PSA (parte externa)

11 VIABILIDADE

11.1 Custos

Após a seleção e cotação dos equipamentos (tabela 11.1), assim como a escolha de um local para instalação do protótipo, um estudo de viabilidade foi desenvolvido com o intuito de comprovar as vantagens do investimento.

Como visto anteriormente, um provável local de instalação do protótipo será um hospital de grande porte e alto consumo de gases medicinais. Os dados deste hospital serão o referencial inicial para o estudo de viabilidade, ou seja, o primeiro estudo será desenvolvido para uma instituição fictícia com consumo de oxigênio igual a máxima capacidade de produção dos equipamentos selecionados, pagando o mesmo valor que o hospital referencial, pelo oxigênio criogênico e pelo gás natural.

Tabela 11.1 – Custos iniciais

Motor	R\$ 115.940
Compressor	R\$ 49.280
Unidade de adsorção	R\$ 248.050
Filtros e secador	R\$ 33.000
Instrumentação	R\$ 6.600
base e cabine acústica	R\$ 33.000
Total	R\$ 485.870

Tabela 11.2 – Custos de manutenção (anual)

PSA e tratamento	R\$ 2.000
Compressor	R\$ 5.800
Motor	R\$12.409
Oxigênio criogênico	R\$ 4.000

11.2 Procedimento de cálculos

Neste estudo foi desenvolvido um fluxo de caixa, conforma a figura 11.1, para o sistema convencional (aquisição de oxigênio criogênico) e um para o sistema PSA.

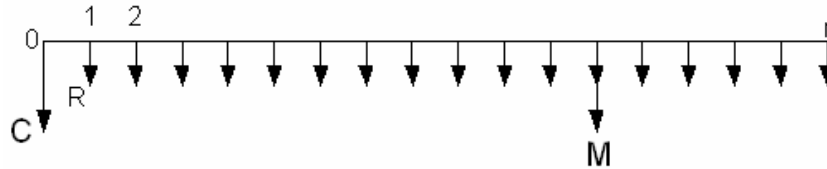


Figura 11.1 - Fluxo de caixa

Onde:

n = Tempo de retorno em meses;

C = Investimento inicial (Custos dos equipamentos);

R = Despesas mensais com o gás natural (para o caso do sistema PSA) ou com a aquisição de oxigênio criogênico (para o caso do sistema convencional);

M = Custo anual de manutenção da planta.

Para poder comparar os dois fluxos de caixa foi necessário levar todas as despesas ao longo de um período “ n ” para um valor presente, isto foi possível através da seguinte Equação 1.

$$VP = R \left\{ \frac{1 - [1/(1+i)^n]}{i} \right\} + M \left\{ \frac{a(q^{n-1})}{q-1} \right\} \quad (1)$$

Onde:

VP = Valor Presente;

R = Despesas mensais com gás natural ou oxigênio;

i = Taxa de expectativa ao mês;

n = Tempo de retorno em meses;

M = Custo anual de manutenção da planta.

$$a = q = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Com isso, foi criada uma planilha com os dados dos equipamentos fixados e com o consumo mensal de oxigênio, o custo do Nm^3 do oxigênio criogênico, o custo do Nm^3 do gás natural, a taxa de expectativa mensal, o tempo de retorno (em anos) e o valor do dólar como variáveis.

Deste modo, podem ser feitas diversas simulações para a viabilidade da utilização destes equipamentos. Porém, esta planilha também poderá ser usada, para a realização do estudo de outros equipamentos com capacidades de produção maior ou menor, para isso devem apenas ser inserido os dados técnicos do novo equipamento.

11.3 Simulação para o sistema proposto

Foram adotados valores atuais para as variáveis, descritos na tabela 11.3, e foi feita uma simulação.

Tabela 11.3 – Variáveis adotadas para primeira simulação

DADOS DE ENTRADA			
Consumo mensal ($\text{Nm}^3/\text{mês}$)	37857,6	Taxa de expectativa ao mês (%)	1,5
Preço do oxigênio criogênico ($\text{R}\$/\text{Nm}^3$)	0,799	Tempo de retorno (anos)	5
Custo do gás natural ($\text{R}\$/\text{Nm}^3$)	0,98	Dólar	2,2
Custo da energia elétrica ($\text{R}\$/\text{kWh}$)	0,29		

Para estes valores foram calculados os valores presentes para ambos os sistemas, os quais podem ser observados na tabela 11.4, concluindo-se que nesta situação o sistema PSA, é viável, com um tempo de retorno de 4 anos.

Também, foi feita uma estimativa do custo de produção do oxigênio (sem considerar o investimento inicial), e este é igual a $\text{R}\$0,45/\text{Nm}^3$.

Tabela 11.4 – Valor presente da primeira simulação

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
1. Sistema convencional	1211630,7
2. Sistema PSA	1210650,4

Com o auxílio de outras simulações, pode-se verificar a viabilidade do sistema PSA, pois na simulação apresentada foi considerado um valor relativamente baixo para o custo do oxigênio criogênico, de acordo com pesquisas em outras unidades hospitalares. Logo, para um valor médio do custo de oxigênio criogênico, verifica-se que o sistema PSA é viável mesmo com o aumento do dólar e pode apresentar um tempo de retorno do investimento inferior a 4 anos, como pode ser observado nas tabelas 11.5 e 11.6.

Tabela 11.5 – Variáveis adotadas para simulação com o valor médio do preço do oxigênio.

DADOS DE ENTRADA			
Consumo mensal (Nm ³ /mês)	37857,6	Taxa de expectativa ao mês (%)	1,5
Preço do oxigênio criogênico (R\$/Nm ³)	2,29	Tempo de retorno (anos)	1
Custo do gás natural (R\$/Nm ³)	0,98	Dólar	2,2
Custo da energia elétrica (R\$/kWh)	0,29		

Tabela 11.6 – Valor presente da simulação com o valor médio do preço do oxigênio

VALOR PRESENTE LÍQUIDO	
1. Sistema convencional	963665,9
2. Sistema PSA	749208,1

Nota-se que o tempo de retorno neste caso é de apenas 1 ano. Assim, considerando o caso onde os hospitais pagam preços abusivos como R\$11,00/Nm³ (SFC, 2006), a aquisição de um sistema PSA será muito vantajosa.

12. PROJETO DE FABRICAÇÃO

O projeto de fabricação foi desenvolvido juntamente com a Kaeser / RICOM pode ser observado na figura 12.1.

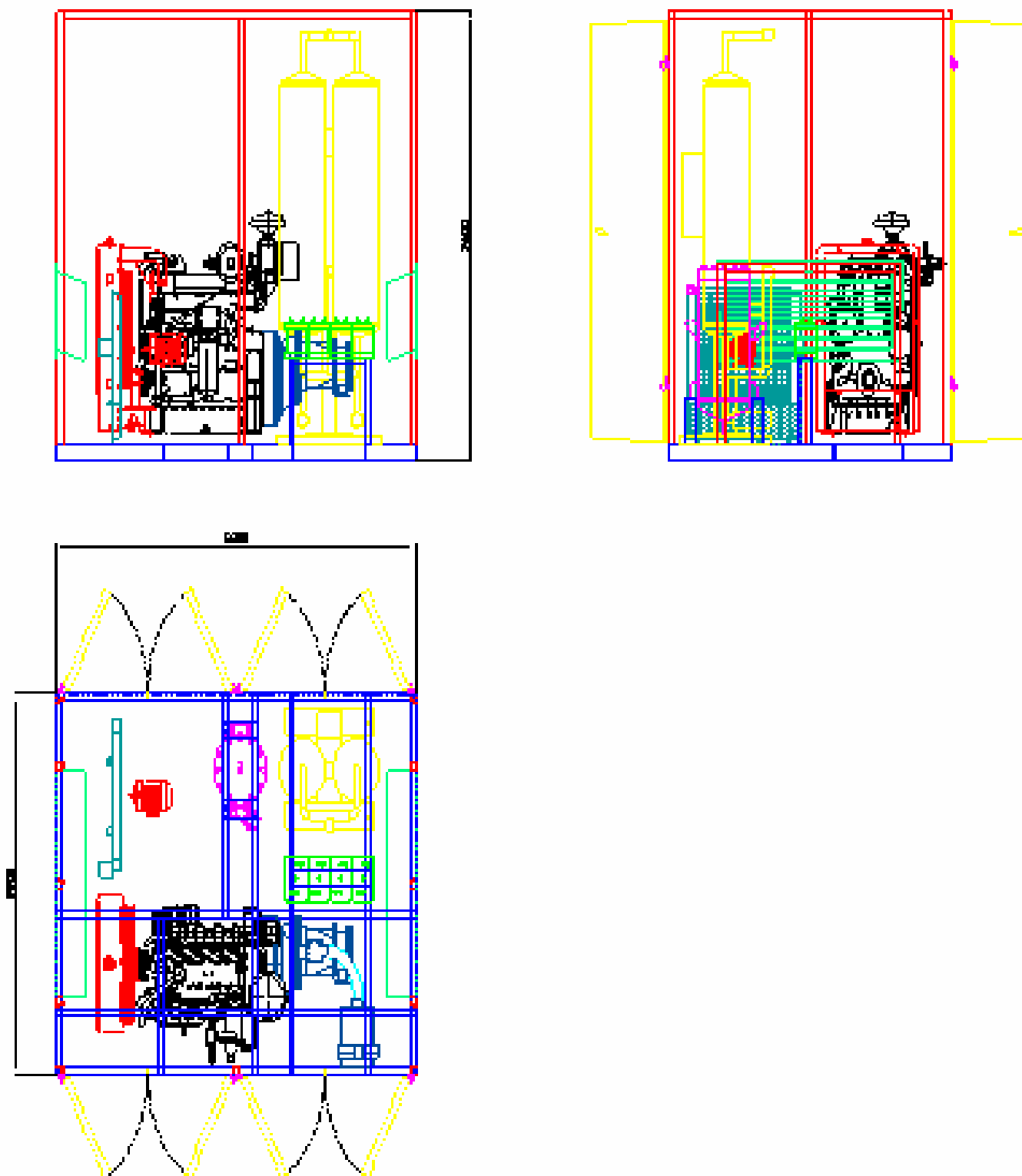


Figura 12.1 – Desenho de conjunto

13 CONCLUSÃO

A proposta de um novo sistema de produção de oxigênio aos hospitais pode ser a de um sistema concentrador do tipo PSA, pois comprovadamente este sistema é viável economicamente apesar do elevado investimento inicial.

Apesar deste sistema ainda não ter obrigatoriedade de registro, também foi comprovado a existência de resoluções que se obedecidas garantem a segurança do operador do sistema, assim como a qualidade do oxigênio produzido, garantindo a segurança de quem utiliza este gás.

Além dos hospitais este sistema também poderá ser proposto aos diversos setores industriais.

Concluindo-se que o PSA é realmente uma tecnologia que pode ajudar na redução das despesas, como também auxiliar na ampliação da capacidade produtiva das indústrias, pois não apresenta alto custo. Assim, pode ser adquirido por setores industriais de pequeno porte com o intuito de aumentar a eficiência dos processos industriais.

Sendo assim, é uma tecnologia que ainda poderá contribuir para um crescimento industrial.

14 REFERÊNCIAS

AGA, 2005. www.aga.com.br. Acessado em 23/08/2005.

AMBIENTE BRASIL, 2005. www.ambientebrasil.com.br Acessado em 23/08/2005.

CRYSTAL CLEAR, 2005. www.crystalclear.cc/revlatestPublica.htm. Acessado em 23/08/2005.

EPA, 1998. www.epa.gov. “EPA-456/F-98-004”. Acessado em 17/06/2005.

GASIN, 2005. www.gasin.pt/html/your_business/Glass_OxyFuelTech.htm. Acessado em 23/08/2005.

GLOWACKI, L.A. “Avaliação de efetividade de sistemas concentradores de oxigênio: uma ferramenta em gestão de tecnologia médico-hospitalar”. Tese de mestrado – UFSC. Florianópolis. 2003;

HOSPITAL GERAL, 2005. www.hospitalgeral.com.br. Acessado em 12/07/2005.

HULBUT Jr., S. “Manual de mineralogia”. Volume 2. Editora da Universidade de São Paulo. 1969.

HUMMEL, P. R. V.; PILÃO, N. E. “Matemática Financeira e Engenharia Econômica: a teoria e a prática da análise de projetos de investimentos”. Ed. Thomson. 2002.

LINDE, 2005. www.linde-gastherapeutics.com.br. Acessado em 12/07/2005.

OXICUR, 2006. www.oxicur.pt. Acessado em 06/05/2006.

OXIGENIO, 2006. www.oxigenio.com.br. Acessado em 06/05/2006.

OXIGENIO BRASIL, 2005. www.oxigeniobrasil.com.br. Acessado em 29/06/2005.

PLANALCOOL, 2005. www.planalcool.com.br. Acessado em 18/09/2005.

RADIOBRAS, 1996. www.radiobras.gov.br/ct/1996/coluna_120496.htm. Acessado em 29/06/2005

RESPIRE E VIVA, 2006. www.respireeviva.com. Acessado em 15/05/2006.

SCIELO, 2002. <http://www.scielo.br>. Acessado em 24/11/2006.

SFC, 2006. <http://www.sfc.fazenda.gov.br/sfc/dp/dp19/hospitais.htm>. Acessado em 24/11/2006

SILTON, 2005. www.silton.com.br. Acessado em 29/05/2005.

UFSC, 2004. server.gpeb.ufsc.br/revista/arquivo/junho_2004.htm. Acessado em 29/06/2005.

UIGI, 2005. www.uigi.com. Acessado em 12/07/2005.

WHITE MARTINS, 2005. www.whitemartins.com.br. Acessado em 23/08/2005.

ZEOCHEM, 2005. www.zeochem.com. Acesa do em 28/05/2005.

14.1 Normas Técnicas

Resolução CFM nº 1.355/92, de 14 de agosto de 1992.

Anvisa. Resolução RDC 50, de 21 de fevereiro de 2002.

ANEXO A

Resumo da Resolução RDC 50 (ANVISA)

Neste anexo estão relacionados itens extraídos da Resolução RDC50, páginas 119 à 122 da norma da ANVISA.

7.3.3. Gases Medicinais (oxigênio, ar comprimido e óxido nitroso)

Para o uso medicinal em EAS, os gases mais comumente empregados são o oxigênio, o ar comprimido e o óxido nitroso.

São apresentados os aspectos comuns das instalações dos gases medicinais, tratando-se posteriormente das especificidades de cada um deles.

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São três os sistemas de abastecimento:

- Cilindros transportáveis;
- Centrais de reservação: - Centrais de cilindros
- Tanques;
- Usinas Concentradoras de Oxigênio.

O primeiro é utilizado no caso de emergências e uso eventual. O abastecimento é descentralizado em cilindros transportáveis até os pontos de utilização.

O segundo e terceiro sistemas são centralizados. Neste caso o gás é conduzido por tubulação da central até os pontos de utilização. Os sistemas de baterias de cilindros devem estar conectados a uma válvula reguladora de pressão capaz de manter a vazão máxima do sistema centralizado de forma contínua. Os sistemas de tanques e/ou usinas concentradoras, devem manter suprimento reserva para possíveis emergências, que devem entrar automaticamente em funcionamento quando a pressão mínima de operação preestabelecida do suprimento primário for atingida ou quando o teor de oxigênio na mistura for inferior a 92%.

Os sistemas devem estar protegidos de fonte de calor como os incineradores, as caldeiras e outras, de tal forma que não haja possibilidade dos cilindros e demais equipamentos da central atingirem uma temperatura acima de 54°C. Da mesma forma devem ficar afastados de transformadores, contactores, chaves elétricas e linhas abertas de condutores de energia elétrica. Os sistemas devem estar obrigatoriamente localizados acima do solo, ao ar livre ou quando não for possível, em um abrio à prova de incêndio, protegido das linhas de transmissão de energia elétrica. Não podem estar localizados na cobertura da edificação. Devem ser de tal maneira instalados que permitam fácil acesso dos equipamentos móveis, de suprimento e de pessoas autorizadas.

Os ambientes onde estão instaladas as centrais de reservação e usinas concentradoras devem ser exclusivos para as mesmas, não podendo ter ligação direta com locais de uso ou armazenagem de agentes inflamáveis. O seu piso deve ser de material não combustível e resistente ao oxigênio líquido e/ou óxido nitroso líquido. Caso haja declive nesse piso, deve ser eliminada a possibilidade de escoamento do oxigênio líquido atingir as áreas adjacentes que tenha material combustível.

Quando o sistema de abastecimento estiver localizado em área adjacente, no mesmo nível ou em nível mais baixo que depósitos de líquidos inflamáveis ou combustíveis, tornam-se necessários cuidados especiais utilizando-se diques, canaletas e outros, para evitar o fluxo desses líquidos para a área da central de gases.

Devem ser obedecidas as seguintes distâncias mínimas entre tanques e/ou cilindros de centrais de suprimento de oxigênio e óxido nitroso e adjacências.

TABELA - DISTÂNCIAS MÍNIMAS

Edificações	5,0m
Materiais combustíveis ou armazenamento de materiais inflamáveis	5,0 m
Local de reunião de público	5,0 m
Portas ou passagem sem visualização e que dão acesso à área de armazenamento	3,0 m
Tráfego de veículos	3,0 m
Calçadas públicas	3,0 m

Essas distâncias não se aplicam onde houver estrutura contra-fogo com resistência mínima ao fogo de 2 horas, entre tanques e/ou cilindros de centrais de suprimento de oxigênio e óxido nítrico e adjacências. Em tais casos, os tanques e/ou cilindros devem ter uma distância mínima de 0,5 m (ou maior se for necessário para a manutenção do sistema) da estrutura de proteção.

- REDES DE DISTRIBUIÇÃO

As tubulações, válvulas reguladoras de pressão, manômetros e outras válvulas que fazem parte da central devem ser construídos com materiais adequados ao tipo de gás com o qual irão trabalhar e instalados de forma a resistir às pressões específicas.

As tubulações não aparentes que atravessam vias de veículos, arruamentos, estacionamentos ou outras áreas sujeitas a cargas de superfície, devem ser protegidas por dutos ou encamisamento tubular, respeitando-se a profundidade mínima de 1,20m. Nos demais a profundidade pode ser de no mínimo 80 cm sem necessidade de proteção.

Em seu trajeto, as tubulações não devem ser expostas ao contato com óleos ou substâncias graxas.

As tubulações aparentes quando instaladas em locais de armazenamento de material combustível ou em lavanderias, preparo de alimentos e refeitório ou outras áreas de igual risco de aquecimento, devem ser encamisadas por tubos de aço.

As válvulas de seção devem ser instaladas em local acessível, sem barreiras que impeçam sua operação em casos de manutenção ou de emergência. Devem estar sinalizadas com aviso de advertência para manipulação somente por pessoal autorizado.

Deve ser colocada uma válvula de seção após a saída da central e antes do primeiro ramal de distribuição. Cada ramal secundário da rede deve ter uma válvula de seção instalada de modo que permita isolar esse ramal, não afetando o suprimento dos outros conjuntos.

A unidade de terapia intensiva, os centros cirúrgicos e obstétricos devem ser atendidos pela tubulação principal da rede de distribuição, devendo ser instalada uma válvula de seção à montante do painel de alarme de emergência específico de cada uma dessas unidades.

- SISTEMAS DE ALARMES E MONITORIZAÇÃO:

Todos os alarmes devem ser precisamente identificados e instalados em locais que permitam a sua observação constante e total.

Nos sistemas centralizados deve haver um alarme operacional que indique quando a rede deixa de receber de um suprimento primário, tanto de uma bateria de cilindros quanto de tanque, e passa a receber de um suprimento secundário ou de um suprimento reserva. Esse alarme deve ser sonoro e visual, sendo que este último só pode ser apagado com o restabelecimento do suprimento primário. Nos centros cirúrgicos, obstétricos, de terapia intensiva e onde tenham equipamentos de suporte à vida instalados, devem ser instalados, obrigatoriamente, alarmes de emergência que atuem quando a pressão manométrica de distribuição atingir o valor mínimo de operação.

Devem existir alarmes de emergência e esses devem ser independentes dos alarmes operacionais e de fácil identificação.

- POSTOS DE UTILIZAÇÃO

Os postos de utilização e as conexões de todos os acessórios para uso de gases medicinais devem ser instalados conforme prescrito nas normas NBR 13730 – aparelho de anestesia – seção de fluxo contínuo – requisitos de desempenho e projeto; NBR 13164 – Tubos flexíveis para condução de gases medicinais sob baixa pressão; e NBR 11906 – Conexões roscadas e de engate rápido para postos de utilização dos sistemas centralizados de gases de uso medicinal sob baixa pressão que determina que cada ponto de utilização de gases medicinais deve ser equipado com uma válvula autovedante, e rotulado legivelmente com o nome ou abreviatura e símbolo ou fórmula química e com cores para identificação de gases.

Os postos de utilização devem ser providos de dispositivo (s) de vedação e proteção na saída, para quando os mesmos não estiverem em uso.

Os postos de utilização junto ao leito do paciente devem estar localizados a uma altura aproximada de 1,5m acima do piso, ou embutidos em caixa apropriada, a fim de evitar dano físico à válvula, bem como ao equipamento de controle e acessórios.

Nos ambientes do EAS supridos por sistemas centralizados, devem ser atendidos, no mínimo, os requisitos da Tabela – *Número de Postos por Local de Utilização*, constantes no item 7.4.

7.3.3.1. Oxigênio medicinal (FO)

Utilizado para fins terapêuticos, existem três tipos de sistemas de abastecimento de oxigênio medicinal: por cilindros transportáveis, por centrais de reservação e por usinas concentradoras.

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Além das orientações de caráter geral contidas no item 7.3.3, deverão ser observadas as seguintes orientações específicas:

a) Centrais de suprimento com cilindros:

Contêm oxigênio no estado gasoso mantido em alta pressão. Devem ser duas baterias de cilindros sendo um de reserva, que fornecem o gás à rede de distribuição sem interrupção. A capacidade da central deve ser dimensionada de acordo com o fator de utilização previsto e a frequência do fornecimento, sendo no mínimo igual ao consumo normal de dois dias, a não ser nos casos de fornecimento comprovado mais freqüente ou mais dilatado.

b) Centrais de suprimento com tanque criogênico:

Contêm o oxigênio no estado líquido que é convertido para o estado gasoso através de um sistema vaporizador. Esse tipo de instalação tem uma central de cilindros como reserva para atender a possíveis emergências, com um mínimo de dois cilindros, e ambos dimensionados de acordo com o fator de utilização proposto e a frequência do fornecimento.

c) Usinas concentradoras:

O terceiro sistema é constituído de máquinas acionadas por energia elétrica que obtêm o oxigênio medicinal a no mínimo 92%, a partir do ar atmosférico através de peneiras moleculares, necessitando de um outro tipo de sistema como reserva.

Nos postos de utilização de oxigênio gerado por usinas concentradoras localizados nas áreas críticas de consumo, deve haver identificações do percentual de oxigênio.

O sistema deve interromper automaticamente o funcionamento da usina quando o teor do oxigênio na mistura for inferior a 92%. O sistema reserva deve entrar em funcionamento automaticamente, em qualquer instante em que a usina processadora interrompa sua produção.

7.3.3.2. Ar comprimido (FA)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São três os tipos de ar comprimido no EAS, que podem ser atendidos de forma descentralizada, através de equipamentos colocados junto ao ponto de utilização, ou de forma centralizada, através de equipamento central. São eles:

a) Ar comprimido industrial:

Utilizado para limpeza e acionamento de equipamentos. É gerado por compressor convencional.

b) Ar medicinal comprimido:

Utilizado para fins terapêuticos. Deve ser isento de óleo e de água, desodorizado em filtros especiais e gerado por compressor com selo d'água, de membrana ou de pistão com lubrificação a seco. No caso de utilização de compressores lubrificados a óleo, é necessário um sistema de tratamento para a retirada do óleo e de odores do ar comprimido.

A central de suprimento deve conter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outro(s) compressor(es), equivalente ao primeiro, ou cilindros.

No caso de central com suprimento reserva de compressor(es), cada compressor deve ter capacidade de 100% do consumo máximo provável com possibilidade de funcionar automaticamente ou manualmente, de forma alternada ou em paralelo, em caso de emergência. Pressupõe, portanto, a

existência de suprimento de energia elétrica de emergência. No caso de central de suprimento reserva de cilindros, devem ser instalados, no mínimo, dois cilindros, e seu dimensionamento é função do consumo e frequência do fornecimento.

A sucção dos compressores de ar medicinal deve estar localizada do lado de fora da edificação, captando ar atmosférico livre de qualquer contaminação proveniente de sistemas de exaustão, tais como fornos, motores de combustão, descargas de vácuo hospitalar, remoção de resíduos sólidos, etc. O ponto de captação de ar deve estar localizado a uma distância mínima de 3,0m de qualquer porta, janela, entrada de edificação ou outro ponto de acesso. O ponto de captação de ar deve também, estar localizado a uma distância mínima de 16,0m de qualquer exaustão de ventilação, descarga de bomba de vácuo ou exaustão de banheiro mantendo ainda uma distância de 6,0m acima do solo. A extremidade do local de entrada de ar deve ser protegida por tela e voltada para baixo.

Um dispositivo automático deve ser instalado de forma a evitar o fluxo reverso através dos compressores fora de serviço.

A central de suprimento com compressores de ar deve possuir filtros ou dispositivos de purificação, ou ambos quando necessário, para produzir o ar medicinal com os seguintes limites máximos poluentes toleráveis:

- N₂: Balanço
- O₂: 20,4 a 21,4 % v/v de Oxigênio
- CO: 5 ppm máximo;
- CO₂: 500 ppm máximo;
- SO₂: 1 ppm máximo;
- NO_x: 2 ppm máximo;
- Óleos e partículas sólidas: 0,1 mg/m³ máximo
- Vapor de água: 67 ppm máx.(Ponto de orvalho: - 45,5° C, referido a pressão atmosférica).

c) Ar medicinal comprimido sintético:

É obtido a partir da mistura de oxigênio (21%) e nitrogênio líquido (79%). Também utilizado para fins terapêuticos como o ar comprimido medicinal.

A central com suprimento especial de mistura para suprimento de ar comprimido sintético deve possuir fontes de oxigênio e nitrogênio com especificações de pureza compatíveis para uso medicinal.

A fonte de oxigênio pode ser a mesma que é utilizada para suprimento de oxigênio medicinal. Deve possuir um suprimento reserva.

O dispositivo especial de mistura deve possuir sistema de análise contínua do ar comprimido sintético produzido, bem como intertravamento com corte automático do suprimento de ar comprimido medicinal para o EAS, quando a especificação do mesmo não for atendida.

O dispositivo especial de mistura deve ser projetado e construído segundo o conceito "failsafe" (falha segura), de modo que a falha eventual de qualquer dispositivo de controle bloqueie a operação do equipamento, não permitindo que o mesmo forneça o produto (ar comprimido sintético) fora de especificação.

O dispositivo especial de mistura deve operar automaticamente, produzindo ar comprimido sintético com a especificação requerida, em qualquer condição de demanda do EAS.

A central de suprimento com dispositivo especial de mistura-ar medicinal comprimido sintético, deve produzir o ar medicinal com os seguintes limites máximos poluentes toleráveis:

- N₂: Balanço
- O₂: 19,5 a 23,5 % v/v de Oxigênio
- CO: 5 ppm máximo;
- CO₂: 500 ppm máximo;
- SO₂: 1 ppm máximo;
- NO_x: 2 ppm máximo;
- Óleos e partículas sólidas: 0,1 mg/m³ máximo
- Vapor de água: 67 ppm máx.(Ponto de orvalho: - 45,5° C, referido a pressão atmosférica).

ANEXO B

RESOLUÇÃO CFM nº 1.355/92

O CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA, no uso das atribuições que lhe confere a Lei nº 3.268, de 30 de setembro de 1957, regulamentada pelo Decreto 44.045, de 19 de julho de 1958, e CONSIDERANDO ser dever do Médico guardar absoluto respeito pela vida humana, atuando sempre em benefício do paciente, não podendo, seja qual for a circunstância, praticar atos que afetem ou concorram para prejudicar sua saúde; CONSIDERANDO que o médico investido em função de Direção tem o dever de assegurar as condições necessárias para o desempenho ético-profissional da medicina; CONSIDERANDO os Pareceres Técnicos da Comissão de Normas Técnicas da Sociedade Brasileira de Anestesiologia e do Ministério da Saúde, a respeito das usinas concentradoras de oxigênio; CONSIDERANDO, finalmente, o que ficou decidido na Sessão Plenária do Conselho Federal de Medicina, realizada em 14 de agosto de 1992.

RESOLVE:

- 1 - Estabelecer, como parâmetro mínimo de segurança, a concentração de oxigênio igual ou maior que 92% para a utilização hospitalar, devendo tal valor integrar a farmacopéia brasileira.
- 2 - Aprovar os seguintes padrões mínimos para a instalação e funcionamento das usinas concentradoras de oxigênio:
 - a - A Usina Concentradora de Oxigênio deverá ter medidor que indique continuamente a concentração do oxigênio que está sendo fornecido.
 - b - Que possua um sistema para interromper automaticamente o funcionamento da usina quando o teor do oxigênio na mistura for inferior a 92%.
 - c - Que seja mantido o sistema usual de Oxigênio, que deverá entrar em funcionamento automaticamente, em qualquer instante em que a usina processadora interrompa sua produção.
 - d - Que existam filtros que assegurem o grau de pureza, de forma que a mistura de gases não contenha elementos danosos à saúde, inclusive argônio com concentração superior a 5% ou nitrogênio em concentração superior a 4%.
 - e - Que periodicamente seja efetuado um controle da composição dos gases (análises qualitativa e quantitativa) que permita absoluta segurança do sistema, sob a responsabilidade do Diretor Técnico da instituição.
 - f - Que existam na instituição placas indicadoras do sistema utilizado.
 - g - Que os aparelhos de anestesia sejam providos de analisadores de oxigênio (oxímetro de

linha), quando utilizarem mistura com outros gases.

3 - Determinar que não podem ser efetuadas anestésias em circuito fechado, utilizando a mistura de gases produzida pela usina.

4 - Recomendar aos Hospitais Universitários que façam análise prospectiva, permitindo o aperfeiçoamento do sistema.

5 - Recomendar ao Ministério da Saúde que discipline o uso dessa tecnologia no sistema de saúde do País, através de normas e regulamentos técnicos que assegurem os padrões propostos.

Brasília-DF, 14 de agosto de 1992.

IVAN DE ARAÚJO MOURA FÉ

Presidente

HERCULES SIDNEI PIRES LIBERAL

Secretário-Geral

Publicada no D.O.U. dia 11.09.92 Página 12648

ANEXO C

MOTOR INDUSTRIAL

Modelo: G3304

MODELO	ARRANJO	kW
G3304	222-9043	70

Intervalo / Horas por Intervenção / Preço de Peças

INTERVALO	HORAS POR INTERVENÇÃO	PREÇO DE PEÇAS
PM1 250H	4 horas	R\$ 55,01
PM2 INICIAL 750H	4 horas	R\$ 905,37
PM2 750H	8 horas	R\$ 1.325,42
PM3 1500H	16 horas	R\$ 1.554,48
PM4 3000H	32 horas	R\$ 1.849,05

Valor do Homem-Hora (HH): R\$105,00.

Lista de Peças

- PM1 250H:

Part Type	Part Number	Unit Price	Quantity	Part Description
Description	Replcmt.%	Extended Price		
Caterpillar	1Z-0101	35.50	1	KIT SOS
Caterpillar	3P-2044	19.51	1	PREPARAÇÃO

Total Extended Price: 55.01

- PM2 INICIAL 750H:

Part Type	Part Number	Unit Price	Quantity	Part Description
Replcmt.%	Extended Price			
Caterpillar	1Z-0101	35.50	1	KIT SOS
Caterpillar	4C-9301	264.98	1	JOGO DE TESTE-LÍQ ARREF
Caterpillar	5P-0960	11.38	1	CARTRIDGE-GREASE
Caterpillar	8S-1606	27.21	8	GASKET-COVER
Caterpillar	225-5082	289.10	1	NGEO EL250 (20L)

Total Extended Price: 905.37

- PM2 750H:

Part Type Part Number Unit Price Quantity Part Description

	Replcmt.%	Extended Price				
Caterpillar	1Z-0101	35.50	1	KIT SOS	100.00	35.50
Caterpillar	3P-2044	19.51	1	PREPARAÇÃO	100.00	19.51
Caterpillar	108-3515	0.74	4	Gasket-plug	100.00	2.96
Caterpillar	8M-8157	0.77	4	SEAL-O-RING	100.00	3.08
Caterpillar	1R-0716	64.18	1	FILTER AS-ENGINE OIL	100.00	64.18
Caterpillar	2W-4561	5.10	1	GASKET	100.00	5.10
Caterpillar	5L-3979	58.95	1	V-BELT	100.00	58.95
Caterpillar	102-9388	172.00	1	FILTER ELEMENT AS-AIR	100.00	172.00
Caterpillar	102-9387	158.68	1	FILTER ELEMENT AS-AIR	100.00	158.68
Caterpillar	8H-2046	4.29	1	SEAL-O-RING	100.00	4.29
Caterpillar	8L-4526	234.96	1	V-BELT SET	100.00	234.96
Caterpillar	2N-2839	190.38	4	PLUG-SPARK	25.00	190.38
Caterpillar	225-5082	289.10	1	NGEO EL250 (20L)	130.00	375.83

Total Extended Price: 1,325.42

- PM3 1500H:

Part Type Part Number Unit Price Quantity Part Description Replcmt.% Extended Price

Caterpillar	1Z-0101	35.50	1	KIT SOS	100.00	35.50
Caterpillar	3P-2044	19.51	1	PREPARAÇÃO	100.00	19.51
Caterpillar	108-3515	0.74	4	Gasket-plug	100.00	2.96
Caterpillar	8M-8157	0.77	4	SEAL-O-RING	100.00	3.08
Caterpillar	1R-0716	64.18	1	FILTER AS-ENGINE OIL	100.00	64.18
Caterpillar	2W-4561	5.10	1	GASKET	100.00	5.10
Caterpillar	5L-3979	58.95	1	V-BELT	100.00	58.95
Caterpillar	102-9388	172.00	1	FILTER ELEMENT AS-AIR	100.00	172.00
Caterpillar	102-9387	158.68	1	FILTER ELEMENT AS-AIR	100.00	158.68
Caterpillar	8H-2046	4.29	1	SEAL-O-RING	100.00	4.29
Caterpillar	8L-4526	234.96	1	V-BELT SET	100.00	234.96
Caterpillar	5P-0960	11.38	1	CARTRIDGE-GREASE	100.00	11.38
Caterpillar	8S-1606	27.21	8	GASKET-COVER	100.00	217.68
Caterpillar	2N-2839	190.38	4	PLUG-SPARK	25.00	190.38
Caterpillar	225-5082	289.10	1	NGEO EL250 (20L)	130.00	375.83

Total Extended Price: 1,554.48

- PM4 3000H:

