



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
Ambiental



ALAN JONES FOICINHA MARTINS

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO,
DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO DOS SISTEMAS
CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS LOCALIZADOS EM
UNIDADES DE SAÚDE NO ESTADO DO MARANHÃO**

SÃO LUÍS, MA
2025

ALAN JONES FOICINHA MARTINS

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO,
DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO DOS SISTEMAS
CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS LOCALIZADOS EM
UNIDADES DE SAÚDE NO ESTADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em CIÊNCIAS &
TECNOLOGIA AMBIENTAL/UFMA como
requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Bertoldo Junior

Co-Orientadora: Prof. Dra. Jaciene Jesus Freitas Cardoso

Linha de pesquisa: Dinâmicas e Fluxos Ambientais de acordo com as linhas
do PPGC&TAmb

SÃO LUÍS, MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Jones Foicinha Martins, Alan.

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E
CONSUMO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS
LOCALIZADOS EM UNIDADES DE SAÚDE NO ESTADO DO MARANHÃO /
Alan Jones Foicinha Martins. - 2025.

68 f.

Coorientador(a) 1: Jaciene Jesus Freitas Cardoso.

Orientador(a): Jorge Bertoldo Junior.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental/ccet, Universidade Federal
do Maranhão, Ufma, 2025.

1. Oxigênio. 2. Ar Medicinal. 3. Hospital. 4.
Pressão. 5. Vazão. I. Bertoldo Junior, Jorge. II. Jesus
Freitas Cardoso, Jaciene. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís - Maranhão.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
Ambiental



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL DA UFMA

Aos 31 dias do mês de março de 2025, às 08:30 horas, foi realizada a Defesa de Dissertação do discente ALAN JONES FOICINHA MARTINS, intitulada: “ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS LOCALIZADOS EM UNIDADES DE SAÚDE NO ESTADO DO MARANHÃO”, perante a Banca Examinadora abaixo relacionada. Após a apresentação do documento e arguição pelos membros da banca, o aluno foi considerado:

(X) APROVADO

() REPROVADO

Obs:

O aluno precisa corrigir o texto para a versão final conforme correções exigidas pela banca, assim como verificar junto a seus orientadores a possibilidade de alteração no título de sua dissertação.

Encerrados os trabalhos, o orientador lavrou a presente ATA que, após lida e aprovada, recebeu a assinatura dos membros da Banca Examinadora.

BANCA EXAMINADORA:

ASSINATURA:

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Bertoldo Junior
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Membro Interno ao Programa:

Prof. Dr. Cláudio Luís de Araújo Neto
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Membro Interno ao Programa:

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Velez
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

São Luís (MA), 31 de Março de 2025

O único modo de evitar erros é adquirindo experiências; mas a única maneira de adquirir experiências é cometendo erros.

Autor Desconhecido

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela realização deste sonho, pois me deu esta oportunidade de chegar até aqui.

Agradecer a minha família, especialmente aos meus pais Antônio Raimundo Martins Neto e Maria de Lourdes Foicinha Martins a minha irmã Daniela Foicinha Martins, pela dedicação e amor todos os dias, agradecer também a minha esposa Mirella Carneiro França Martins pela força, agradecer aos meus filhos Allana Sophia França Martins e Anthony Petrus França Martins que me motivam a cada dia.

Agradecer aos meus amigos Darlon, Jeyffhyshon, Jamerson, Ronaldo, Fábio, Gilberto, Lila, Mayara, Sandra, Michelle, Carol e a todos do Ministério Mater Groove que sempre estiveram me dando o apoio necessário.

Muito obrigado aos meus Orientadores Professor Dr. Jorge Bertoldo Júnior e a Prof. Dra. Jaciene Cardoso, que sempre continuaram acreditando no meu trabalho, muito obrigado pela paciência, tornou realidade aquele projeto que estava na mente, me ajudaram em todas as dificuldades, ao professor Dr. Harvey Alexander e professor Dr. Claudio Luís por sempre se disponibilizarem a me ajudar em todo suporte necessário.

Agradecer aos meus colegas do trabalho Ana Caroline Barros, Carolina Garreto, Erick Feques e o Danilo Bezerra pelo apoio de sempre.

Gostaria de agradecer aos colegas do mestrado a Jenifer Arouche, o Thomas Malheiros, Bárbara Sousa, Distinto Marcos e o Thiago Paulo, Gabrielle Almeida pelo incentivo.

RESUMO

Gases medicinais são medicamentos que oferecem soluções para uma ampla gama de necessidades médicas. Eventos de vítimas em massa e pandemias representam um desafio substancial aos recursos disponíveis em nosso sistema de saúde atual. Uma das maiores dificuldades para os hospitais é a produção, armazenamento e distribuição dos gases medicinais de maneira que garantem aos pacientes o fornecimento contínuo, seguro, eficiente e de forma mais econômica para o Estado. Padrões assim como condições de contorno referentes ao de armazenamento, distribuição e consumo dos gases medicinais oxigênio e ar comprimido medicinal em unidades de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão são analisados em função de valores referentes a pressão e vazão nas centrais de gases medicinais. Além disso, apresenta-se uma estimativa referente ao aumento de consumo desses gases diante de um repentino aumento de demanda. A análise e avaliações dos parâmetros são realizadas por meio de inspeções e coletas de dados de pressão e vazão dos gases oxigênio e ar comprimido medicinal em unidades de saúde de pequeno, médio e grande porte no estado do Assim, a análise geral dos sistemas de armazenamento e distribuição de gases medicinais nos hospitais estudados mostra que os mesmos encontram-se bem estruturados e capazes de prestar assistência médica de qualidade em diferentes áreas da região metropolitana de São Luís-MA.

PALAVRAS-CHAVE: Oxigênio, Ar medicinal, Hospital, Pressão e Vazão

ABSTRACT

Medical gases are medicines that offer solutions to a wide range of medical needs. Mass casualty events and pandemics pose a substantial challenge to the resources available in our current healthcare system. One of the biggest difficulties for hospitals is the production, storage and distribution of medicinal gases in a way that guarantees continuous, safe, efficient and more economical supply to patients for the State. Standards as well as boundary conditions relating to the storage, distribution and consumption of medical oxygen gases and medical compressed air in Health Care units in the State of Maranhão are analyzed based on values relating to pressure and flow in medical gas plants. Furthermore, an estimate is presented regarding the increase in consumption of these gases in the face of a sudden increase in demand. The analysis and evaluation of the parameters are carried out through inspections and data collection of pressure and flow of oxygen gases and medical compressed air in small, medium and large health units in the state of São Paulo. Therefore, the general analysis of the storage and distribution systems for medicinal gases in the studied hospitals shows that they are well structured and capable of providing quality medical care in different areas of the metropolitan region of São Luis–MA.

KEYWORDS: Oxygen, medical air, Hospital, Pressure and Flow

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Central de suprimento com cilindros de oxigênio -----	12
Figura 2 - Sistema típico de armazenamento de oxigênio líquido juntamente com seção transversal do tanque de armazenamento -----	13
Figura 3 - Usina concentradora de oxigênio -----	33
Figura 4 - Central de ar medicinal comprimido montada sobre reservatório -----	15
Figura 5 - Suprimento reserva de cilindros de ar comprimido medicinal -----	18
Figura 6 - Representação esquemática do fornecimento dos gases medicinais numa unidade de saúde -----	20
Figura 7. Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão) -----	26
Figura 8 – Imagem da Localização das 3 Unidades de Saúde -----	28
Figura 9 – Exemplo Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão) HGR-----	29
Figura 10 - Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) oxigênio localizado na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar -----	30
Figura 11 - Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico de oxigênio localizado no Hospital Genésio Rego -----	31
Figura 12 - Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico oxigênio localizado no Hospital Carlos Macieira -----	32
Figura 13 - Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal da Unidade de Pronto Atendimento do município de Paço do Lumiar: (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm ² -----	35
Figura 14 - Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Genésio Rego: (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm ² -----	36
Figura 15 - Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm ² -----	37

Figura 16 - Valores do N° de Leitos x Vazão do Ar medicinal e oxigênio da Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar (em m³/h) -----42

Figura 17 - Valores do N° de Leitos x Vazão do Ar medicinal do Hospital Genésio Rego (em m³/h) -----43

Figura 18 - Valores do N° de Leitos x Vazão do Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (em m³/h) -----44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e perfil das unidades de saúde -----	9
Tabela 2. Cor de identificação do gás e vácuo -----	28
Tabela 3. Classificação dos alarmes e as características do sinal -----	32
Tabela 4. Dados das pressões de saída dos gases nas unidades de saúde -----	44
Tabela 5: Valores mínimo e máximo das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, no Hospital Genésio Rego e no Hospital Carlos Macieira -----	48
Tabela 6. Valores do cálculo da vazão do gás oxigênio e do ar medicinal -----	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CGM - central de gases medicinais
check-list – Lista de itens
EAS - Estabelecimento de Atendimento à Saúde
EUA – Estados Unidos da América
g/mol – grama por mol
HCM - Hospital Dr. Carlos Macieira
IEC - Norma Internacional
in loco – no próprio local
kPa – quilo pascal
kgf/cm² - quilo grama força por centímetro ao quadrado
MA – Maranhão
m³/mês – metro cúbico por mês
m³/hora – metro cúbico por hora
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NT – Norma Técnica
OMS - Organização Mundial de Saúde
PC – Plano de Contingência
PDCA – Plan, Do, Check, Action (planejar, fazer, checar, agir)
PNAU - Política Nacional de Atenção às Urgências
RDC - Resolução da Diretoria Colegiada
SRDGM - sistema de redes de distribuição de gases medicinais
SUS - Sistema Único de Saúde
UPA - Unidade de Pronto Atendimento
UTI - Unidade de Terapia Intensiva
V/V – Percentual em volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Planejamento e Gestão em Unidades de Saúde	4
2.2 Perfil das Unidades de Saúde.....	5
2.3 Aplicação de gases medicinais em Hospitais.....	7
2.4 Sistemas de armazenamento de gases medicinais	8
2.4.1 Sistema de armazenamento para Oxigênio Medicinal (O ₂):	9
2.4.2 Sistema de armazenamento para Ar medicinal.....	12
2.5 Redes de Distribuição	16
2.5.1 Identificação	17
2.5.2 Soldagem	17
2.5.3 Válvula	19
2.5.4 Sistemas de alarme e monitoração	20
2.6 Aplicação nos hospitais do Estado do Maranhão.....	21
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo Geral	22
3.2 Objetivos Específicos	22
4. METODOLOGIA.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 Sistemas de Armazenamento das Unidades de Estudo	26
5.2 Avaliação das vazões dos gases medicinais nas Unidades de saúde ..	31
5.3 Estimativa para um aumento na demanda dos Gases medicinais	39
6. CONCLUSÃO	42
7. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO	42
7.1 Importância Social.....	42

7.2 Importância Econômica.....	43
7.3 Importância Ambiental.....	43
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

A logística hospitalar compreende uma série de elementos, incluindo infraestrutura, organização, pessoas, processos e sistemas de informação. O foco principal deve ser o cuidado ao paciente, visando sua recuperação. A administração hospitalar tem a responsabilidade de garantir uma assistência médico-hospitalar satisfatória, utilizando recursos materiais e humanos de forma eficaz (Wolker; Costa; Peterlini, 2019). Os custos crescentes dos insumos e a necessidade de atender às exigências dos normativos que visam garantir as práticas de execução dos procedimentos hospitalares, principalmente, no que se refere à oferta de gases medicinais aos pacientes, faz a gestão hospitalar assumir o papel voltado para otimização dos recursos e na redução de custos indevidos.

Os gases medicinais devem ser distribuídos para todos os setores hospitalares, onde mostra-se imprescindível a instalação de um sistema eficiente de distribuição, composto por tubulações, válvulas e pontos de aplicação afim de assegurar que os insumos fornecidos estejam de acordo com parâmetros adequados de operação, tais como qualidade do ar, faixas de pressão, fluxo, segurança e faixas de temperaturas recomendadas (Brasil, 2002).

A demanda por sistemas de distribuição de gases medicinais em ambientes hospitalares recebe significativa relevância para o eficiente funcionamento de uma unidade hospitalar. Além disso, o monitoramento destes parâmetros permite que as unidades de saúde apresentem sistemas de controle referente a vazão destes gases, assim como o volume a ser distribuído para cada setor específico de uma determinada unidade hospitalar (Santos, 2002) (Nava Júnior, 2007).

O uso de gases medicinais como o oxigênio, ar medicinal e outros gases medicinais para tratamento de doenças generalistas assim como procedimentos de anestesia ocorre há centenas de anos, de forma que até hoje são utilizados em larga escala em unidades hospitalares do estado do Maranhão. Os gases são distribuídos de forma descentralizada através do deslocamento de cilindros de oxigênio, ar medicinal ou óxido nitroso. O deslocamento destes cilindros dentro da unidade hospitalar acarreta riscos de acidentes assim como riscos de contaminação de misturas de gases medicinais, quantidade de gás insuficiente, assim como

importunação dos pacientes devido ao ruído gerado pelo deslocamento dos cilindros (Santos, 2002).

A montagem de um dado sistema de distribuição de gases, assim como a especificação dos instrumentos referentes a verificação de parâmetros relevantes para a operação do sistema como pressão e temperatura tem influência direta sobre a vazão destes gases e, por consequência, sobre o volume a ser entregue para cada setor em específico tem grande relevância (Ribeiro, 1999) (Bianchi, 2000). As estimativas em termos de vazamentos ao longo do sistema de distribuição de gases medicinais são outro ponto a ser avaliado de forma muito criteriosa. Estes parâmetros são importantes, visto que representam um custo adicional ao orçamento previsto para o funcionamento da unidade hospitalar. Além disso, a verificação de vazamentos que será feita de acordo com inserção de instrumentação adequada para a verificação dos parâmetros como pressão e temperatura (Corral, 2013).

Desta maneira, este trabalho visa avaliar as condições de armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo nas Unidades de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de pressão e vazão nas centrais de gases medicinais. Além disso, este estudo propõe traçar o perfil e propor planos de ação para resolução dos problemas detectados de forma a garantir o melhor funcionamento para a população.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Planejamento e Gestão em Unidades de Saúde

Coordenar uma instituição de saúde nos dias de hoje implica em consolidar uma gestão com foco nos colaboradores, no conhecimento acumulado e, sobretudo, nos protocolos de atendimento em saúde. O desempenho eficaz desse sistema depende de forma significativa da gestão logística dos suprimentos. Garantir o abastecimento adequado de materiais no ambiente hospitalar, visando qualidade, eficiência, satisfação dos pacientes e bom desempenho da equipe, apresenta-se como um dos principais desafios enfrentados pela administração de uma instituição de saúde (Wolker, Costa e Peterlini, 2019).

Falhas técnicas ou erros de uso podem resultar em riscos significativos para os pacientes, impactando sua segurança e afetando a relação entre risco e benefício nos resultados desejados. Um sistema de gestão de qualidade em saúde busca melhorar

os benefícios para os pacientes e minimizar os riscos dos cuidados prestados. Estudos de minimização de custos são úteis na identificação, classificação e quantificação dos custos associados ao ciclo de vida da tecnologia no ambiente hospitalar (Marchon e Mendes Junior, 2014).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 50, de 21 de fevereiro de 2002, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece normas para o funcionamento de serviços de saúde, incluindo hospitais, clínicas e laboratórios. A mesma aborda uma série de questões relacionadas à gestão, estrutura física, recursos humanos, equipamentos, segurança do paciente, entre outros aspectos, visando garantir a qualidade e segurança nos serviços de saúde prestados à população (Ministério da Saúde e Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2002).

Segundo Fox, Pritchard e McDonald (2010) a perda de carga pode ser definida como um conjunto de fatores relacionados a parâmetro global atribuído a variável atribuída ao conceito de perda de carga, o qual recebe influência do atrito no escoamento completamente desenvolvido em tubos de seção constante com as perdas localizadas causadas por entradas, acessórios, variações de área e outras perdas. Dessa forma a perda de carga ocorre nas mudanças de geometrias das seções transversais de tubulações dos gases medicinais nas unidades hospitalares.

2.2 Perfil das Unidades de Saúde

O Sistema Único de Saúde (SUS), regulamentado pelas Leis nº 8.080/90 e nº 8.142/90, visa promover, proteger e recuperar a saúde, com participação da comunidade na gestão e transferências intergovernamentais de recursos. O mesmo pode ser organizado em níveis: Atenção Primária, Média e Alta Complexidade, destacando-se a atenção primária e serviços especializados na Média e Alta Complexidade para atender às necessidades da população (Araújo, Furtado e Pichelli, 2018).

As instituições de saúde têm investido na profissionalização de sua gestão e na melhoria contínua das atividades administrativas, de modo essencial para lidar eficazmente com a complexidade envolvida em suas operações. As organizações de saúde devem garantir a prontidão e a qualidade dos materiais para proporcionar o melhor atendimento possível aos pacientes, dada a natureza crítica de lidar com vidas

(Rodrigues, 2021).

Profissionais especializados em diversas áreas, como infraestrutura, logística, segurança ocupacional e engenharia, desempenham função de suma importância para garantir a qualidade e segurança referente a distribuição de gases medicinais. A avaliação minuciosa das condições de armazenamento e distribuição desses gases torna-se fundamental para identificar e solucionar problemas, considerando também questões de gestão (Silva et al, 2023).

Serviços de saúde atualmente no Brasil são fornecidos por meio do Sistema Único de Saúde - SUS, que demanda instalações apropriadas nas unidades para enfrentar as diversas questões sociais enfrentadas pela população. As especificidades das unidades são influenciadas pela gravidade dos casos, destacando-se a importância do avanço de recursos para assegurar e aprimorar a excelência dos cuidados médicos (Machado et al., 2016).

As policlínicas também são um modelo de prestação de serviços de saúde especializados que segue o princípio da regionalização, promovendo a descentralização dos serviços e a negociação entre os gestores. Seu propósito é assegurar o acesso e a abrangência dos cuidados de saúde, reduzir disparidades e fomentar a igualdade, sem discriminação ou favorecimento, especialmente para os mais necessitados. Isso fortalece o papel dos estados e municípios na gestão de recursos e na melhoria dos serviços de saúde (Alencar et al., 2015).

A reestruturação da Política Nacional de Atenção às Urgências (PNAU) proporcionou a introdução das Redes de Atenção às Urgências, que são estabelecidas com definições de portas de entrada hospitalares de urgência, leitos de suporte, leitos de longa permanência e unidades de terapia intensiva. O Ministério da Saúde classifica as Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) em três níveis I, II e III, tal classificação usa como critério o quantitativo da população do município-sede, número de leitos, capacidade física, gestão de recursos humanos, além da capacidade diária de atendimento médico (Ferri, 2013).

As classificações dos portes das UPAs são distribuídas em: UPA I – 150 atendimentos, UPA II - 250 atendimentos e UPA III – 350 atendimentos. Esse tipo de atendimento mostra-se acolhedor aos usuários, em função do tratamento de pacientes com condições agudas clínicas, cirúrgicas ou de trauma. O serviço possui o objetivo de estabilizar os pacientes, e logo após avaliar seu diagnóstico inicial, para

depois determinar a necessidade de encaminhamento a hospitais mais complexos (Ministério da Saúde, 2023).

Conforme Ministério da Saúde (2022), em um contexto hospitalar e de serviços de saúde, os níveis de complexidade variam de acordo com a amplitude e especialização dos serviços oferecidos, desde hospitais e UPAs de alta complexidade, que lidam com emergências graves e cirurgias complexas, até postos de saúde e clínicas de baixa complexidade, que se concentram em cuidados primários e tratamento de condições menos graves. A Tabela 1 mostra a classificação e o perfil das unidades de saúde no Brasil.

Tabela 1. Classificação e perfil das unidades de saúde.

BAIXA COMPLEXIDADE
Postos de Saúde e Clínicas de Baixa Complexidade - São unidades de saúde que oferecem serviços básicos de atenção primária, como consultas médicas de rotina, vacinações, cuidados pré-natais, exames básicos de laboratório e tratamento para doenças comuns, como resfriados, gripe e infecções leves.
MÉDIA COMPLEXIDADE:
UPAs, Policlínicas e Centros de Especialidades Médicas de Média Complexidade - São unidades de saúde que oferecem consultas médicas especializadas, exames diagnósticos e tratamentos para uma variedade de condições médicas não emergenciais. As mesmas podem incluir especialidades como ginecologia, pediatria, cardiologia, oftalmologia.
ALTA COMPLEXIDADE:
Hospitais de Alta Complexidade - São unidades hospitalares que oferecem diversificados serviços especializados e avançados, incluindo cirurgias complexas, terapia intensiva, tratamento de doenças graves, atendimento a emergências e procedimentos de alto risco.
Fonte: (Ministério da Saúde, 2022)

2.3 Aplicação de gases medicinais em Hospitais

De acordo com a legislação atual, os gases assim como as respectivas combinações destinadas à administração em seres humanos (os gases terapêuticos) devem atender a critérios específicos (Dinis; Capoulas; Neves; 2012).

Conforme citado por Silva, Lima e Meyer (2021) um gás medicinal é obtido por

processos de separação unitária, envasado e destinado à administração a um paciente para anestesia, terapia ou diagnóstico. Como gás terapêutico, é prescrito como anestésico, agente de entrega de medicamentos, tratamento de doenças ou fonte de energia para instrumentos cirúrgicos e odontológicos. São fornecidos por fabricantes licenciados que seguem os controles de qualidade da agência reguladora de medicamentos. Devem ser extremamente puros, com pelo menos 99,95% do gás correspondendo à sua identificação.

A RDC 870/2024 define os requisitos mínimos para a notificação, o registro e as mudanças pós-registro de gases medicinais enquadrados como medicamentos e a demanda que esses produtos mantenham um alto padrão de qualidade, segurança e eficácia, sendo necessário que cumpram os requisitos técnicos estabelecidos na Farmacopeia Portuguesa (Dinis; Capoulas; Neves 2012).

A segurança do paciente é de suma importância no projeto, instalação, comissionamento e operação de sistemas de gasodutos medicinais (Sarangi, Babbar e Taneja, 2018).

2.4 Sistemas de armazenamento de gases medicinais

A demanda por sistemas de distribuição de gases medicinais em ambientes hospitalares é relevante para a eficiente operacionalização de unidades hospitalares (Nava Júnior, 2007). Um sistema de gases medicinais é uma rede de equipamentos e dispositivos usados para fornecer gases a pacientes e/ou equipe médica.

Os sistemas de gases medicinais podem ser usados em diferentes ambientes e geralmente incluem uma fonte central de gases medicinais, como tanques a granel ou cilindros de alta pressão, e uma rede de tubos e conexões que distribuem os gases para as várias áreas da unidade de saúde. O gás é então fornecido ao paciente por meio de dispositivos médicos especializados, como máscaras de oxigênio ou cânulas nasais (Highley, 2009), (Sarangi, Babbar e Taneja, 2018) e (Coffman, 2023).

Os sistemas de gases medicinais são projetados para garantir a entrega segura e confiável de gases medicinais aos pacientes e são uma parte importante da infraestrutura geral de saúde. Os sistemas de gás medicinal também são chamados de máquinas de oxigênio medicinal ou equipamentos de suprimento de ar medicinal (Costa, 2022).

As centrais de gases medicinais devem ser projetadas de acordo com as normas NBR 12.188/2016 e NBR 13.587/2017 (Moll et al., 2007) (Marczyk, 2022). Conforme Brasil, 2002 e NBR 12.188/2016 as centrais de gases medicinais devem fornecer um suprimento ininterrupto de gás em alta pressão ajustado por reguladores de pressão, fornecendo uma pressão manométrica constante a jusante de 400 kPa ou 700 kPa.

Devem ser de tal maneira instalados que permitam fácil acesso aos equipamentos móveis de suprimento às pessoas autorizadas. Os ambientes onde estão instaladas as centrais e usinas concentradoras devem ser exclusivos para as mesmas, não podendo ter ligação direta com locais de uso ou armazenagem de agentes inflamáveis. O piso deve ser de material não inflamável e resistente ao oxigênio líquido e/ou óxido nitroso líquido. Caso haja declive nesse piso, deve ser eliminada a possibilidade de o escoamento do oxigênio líquido atingir as áreas adjacentes as quais podem conter materiais inflamáveis (Schneider, 2011).

Em sistemas ou centrais de gases medicinais estão disponíveis gases como oxigênio Medicinal (O_2), Ar Medicinal, Nitrogênio Medicinal (N_2), Óxido Nitroso Medicinal (N_2O), Óxido Nítrico (NO), Dióxido de Carbono Medicinal (CO_2), entre outros, cujo suprimento deve ser confiável e seguro para fornecer o melhor atendimento possível aos pacientes (Lopez; Abreu, 2013).

Além desses sistemas, existe o *backup* de cilindros, que fornecem um suprimento contínuo de gás, onde migrarão automaticamente para o lado reserva quando o gás estiver acabando. Esses cilindros apresentam um painel de troca automática com monitoramento de alarme e status (opcional), um conjunto de válvula de isolamento e alívio, válvula anti-retorno (Silva, Lima e Meyer 2021).

Neste estudo são avaliados os sistemas de armazenamento e distribuição dos gases oxigênio Medicinal (O_2), Ar Medicinal.

2.4.1 Sistema de armazenamento para Oxigênio Medicinal (O_2):

O oxigênio tem uma função vital para os seres vivos, o mesmo também é amplamente utilizado em diversas áreas do ambiente hospitalar, para o tratamento de doenças respiratórias, atendimento imediato a episódio de doenças cardiovasculares assim como terapias para aumento da saturação (Leite, 2006).

Os sistemas de abastecimento oxigênio medicinal compreende: centrais de suprimento com cilindros, centrais de suprimento com tanque criogênico e usinas concentradoras.

a) Centrais de suprimento com cilindros: contêm oxigênio no estado gasoso mantido em alta pressão, duas baterias de cilindros, uma reserva, que fornecem o gás à rede de distribuição sem interrupção conforme demonstrado na Figura 1. 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 frequente ou maior dilatação (Leite, 2006).

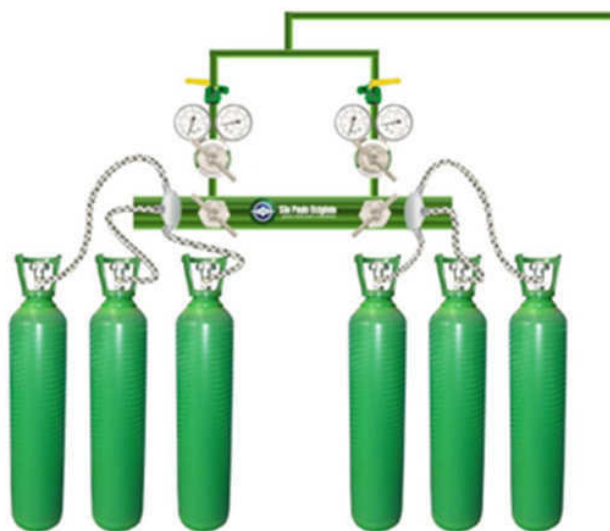


Figura 1. Central de suprimento com cilindros de oxigênio.

Fonte: São Paulo Oxigênio Gases Medicinais e Industriais, 2023.

b) Centrais de suprimento com tanque criogênico: contêm o oxigênio no estado líquido que é convertido para o estado gasoso por meio de um sistema vaporizador (Figura 2). Esse tipo de instalação apresenta uma central de cilindros com reserva para atender a possíveis emergências, um mínimo de dois cilindros, e ambos dimensionados de acordo com o fator de utilização proposto e a frequência do fornecimento (Gómez-Chaparro; García-Sanz-Calcedo; MARQUEZ,2018).

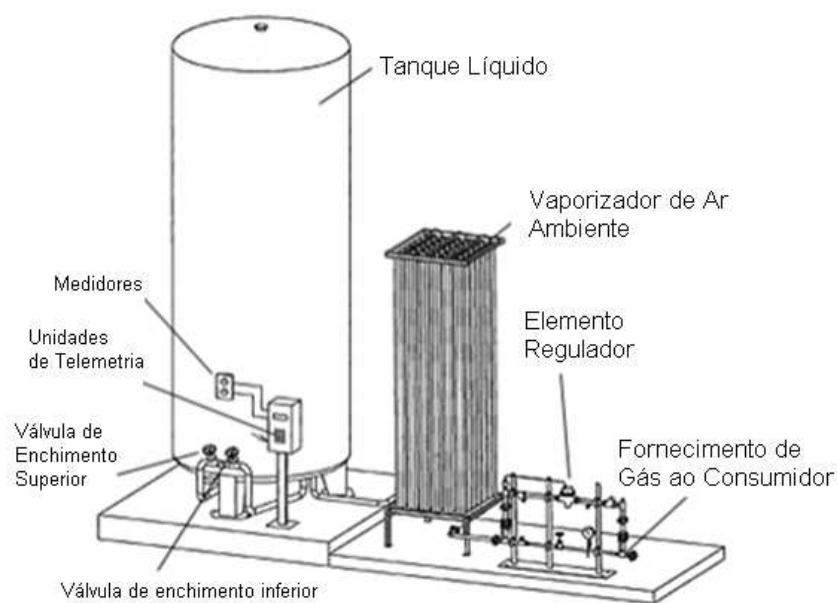


Figura 2. Sistema típico de armazenamento de oxigênio líquido juntamente com seção transversal do tanque de armazenamento.

Fonte: Mimbarcas Junior, 2018.

c) Usinas concentradoras: O sistema é constituído de máquinas acionadas por energia elétrica que obtêm o oxigênio medicinal a no mínimo 92% de pureza. Neste caso, o oxigênio medicinal é obtido a partir do ar atmosférico através de peneiras moleculares, necessitando de um outro tipo de sistema como reserva (Moll et al., 2007). A Figura 3 mostra um sistema de usina de oxigênio, onde a mesma funciona através do ar atmosférico e retira apenas o oxigênio medicinal.

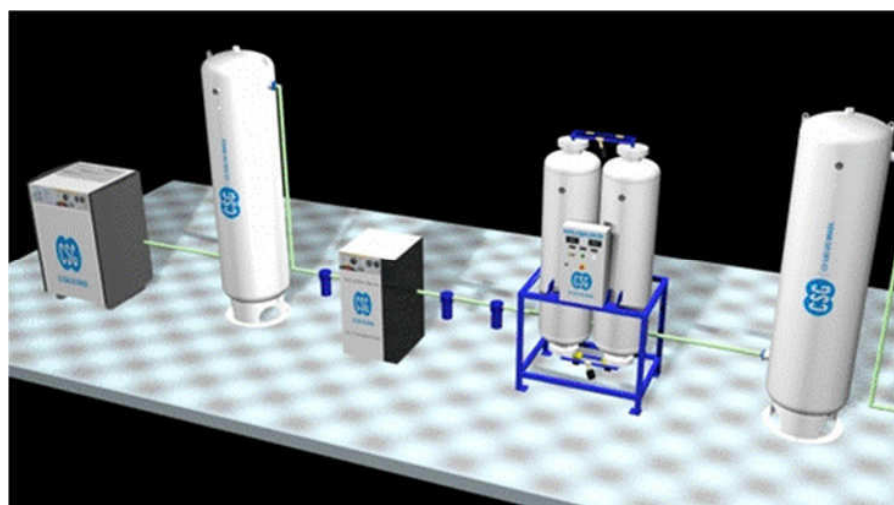


Figura 3. Usina concentradora de Oxigênio

Fonte: Catálogo Hospitalar, 2024.

Segundo o Ministério da Saúde os cilindros são utilizados no caso de emergências e uso eventual. O abastecimento é descentralizado de acordo com cilindros transportáveis até os pontos de utilização além disso, as baterias de cilindros devem estar conectadas a uma válvula reguladora de pressão capaz de manter a vazão máxima do sistema centralizado de forma contínua. Os tanques e usinas são sistemas centralizados. Neste caso, o gás é conduzido por tubulação da central até os pontos de utilização. 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 (Brasil, 2002).

Os sistemas devem estar protegidos de fontes de calor como os incineradores, as caldeiras, de tal forma que não haja possibilidade dos cilindros e demais equipamentos da central atingirem temperaturas 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 abrigo à prova de incêndio, protegido das linhas de transmissão de energia elétrica. Não podem estar localizados na cobertura da edificação (Leite, 2006).

2.4.2 Sistema de armazenamento para Ar medicinal

O ar medicinal é utilizado na terapia respiratória, em combinação com o oxigênio na administração de medicamentos através da nebulização e, quando não for possível a utilização do sistema de vácuo, para aspiração. Além disso, é utilizado como fonte primária de energia mecânica na movimentação de equipamentos pneumáticos, como serras de gesso e aparelhos de anestesia e na limpeza e secagem de equipamentos médicos (Santos, 2002).

O 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 (Brasil, 2002).

A central de suprimento deve conter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outro (s) compressor (es), equivalente ao primeiro, ou cilindros (Mimbarcas Junior, 2018).

Pressupõe, portanto, a existência de suprimento de energia elétrica de emergência. No caso da central de suprimentos reserva de cilindros, devem ser instalados, no mínimo, dois cilindros, e seu dimensionamento é função do consumo e frequência do fornecimento (Leite, 2006).

A Figura 4 mostra o conjunto com os compressores de ar medicinal, e apresenta reservatório dedicado ao armazenamento necessário, onde existe uma fonte principal e uma fonte reserva, de forma que um dos compressores funciona como principal e o outro funciona como reserva, sendo acionado quando o principal se encontra em manutenção.



Figura 4. Central de Ar Medicinal Comprimido Montada sobre Reservatório.

Fonte: Catálogo Hospitalar, 2024.

A central de suprimento de ar medicinal por compressores pode ser definida como um sistema que admite o ar atmosférico por meio de compressores com capacidade de operação até 7 kgf/cm². O ar captado apresenta muitos contaminantes que para ser usado em aplicações medicinais, precisa passar por processos de purificação e desumidificação, para os quais são utilizados filtros e secadores que tem

por finalidade retirar partículas, umidade, odores e outros contaminantes líquidos que estiverem presentes (Duarte, 2017).

A central de suprimento de ar comprimido além do compressor, apresenta outros elementos os quais tem a finalidade de garantir o padrão necessário em termos de qualidade e parâmetros dos gases medicinais fornecidos:

Compressor: tem função de admitir o ar atmosférico, de forma a realizar o processo de compressão do mesmo com a finalidade de manter o sistema pressurizado. De acordo com as normas técnicas NBR 12.188/2016, o uso de compressores para aplicações medicinais requer que o mesmo apresente selo de água, membrana, scroll ou pistão com lubrificação a seco, entretanto na prática são usados outros tipos de lubrificação (Santos, 2002).

Resfriador: este equipamento nem sempre se encontra presente devido ao tipo de sistema, porém em sistemas em que o compressor não está acoplado a um sistema refrigerador, é necessário reduzir a temperatura do ar comprimido para que a etapas em que água é eliminada sejam iniciadas (Macintyre, 1996).

Reservatório: além de armazenar o ar já comprimido e regularizar o trabalho dos compressores, tem função de resfriar o ar a temperatura ambiente e estabiliza-lo. O reservatório é responsável por condensar boa parte da umidade separa do óleo usado na lubrificação do compressor, sendo os mesmos eliminados pelo sistema de purga (Macintyre, 1996, Rollins, 2004;)

Separador de condensado: estes filtros têm função de reduzir a velocidade do ar e direcionar parte da umidade a ser eliminada assim como eliminar particulados maiores.

Secador: esse dispositivo tem função de separar grande parte da umidade existente no ar atmosférico. Os secadores utilizados, em geral, podem ser de dois tipos: com a finalidade de condensar a umidade, assim como auxiliar no processo de eliminação da mesma, ou por adsorção que é composto por duas colunas que possuem material adsorvente, como alumina ativada e sílica em gel, materiais responsáveis pelo processo de adsorver e eliminar o excesso de umidade (Rollins, 2004)

Filtros coalescentes: projetados para remover partículas sólidas de óleo assim como a umidade existente no ar comprimido, sendo que este processo tem influência principal vinda da ação do campo gravitacional. Estes elementos não apresentam

eficiência em relação a eliminação de odores assim como auxiliar no processo de eliminar vapores de água e partículas de óleo. O atendimento destas demandas pode ser alcançado por meio do uso de filtros de carvão ativado, os quais tem a função de “absorvedores” (Rollins, 2004).

Purgadores: estes dispositivos são instalados nos reservatórios, filtros e secador, sendo que os mesmos podem ser do tipo manual, automático ou eletrônico (Pereira, 2022).

A norma NBR 12.188/2016 admite que, a central de suprimento deve ter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outros compressores, equivalentes ao primeiro, ou cilindros. Cada compressor deve ter produção de 100% do consumo máximo provável, podendo funcionar de forma automática ou manual, composta em paralelo ou alternado, em casos de emergência.

A central de gases de ar medicinal deve haver um suprimento reserva através de uma bateria de cilindros na forma gasosa e suas válvulas devem ser mantidas sempre abertas com todos os cilindros preenchidos de acordo com o volume total e acoplados à central de gases, sob o risco de interrupção no fornecimento de gás (Lopez; Abreu, 2013). A Figura 5 mostra um sistema de suprimento reserva de cilindros, que tem como objetivo a garantia de funcionamento se houver uma parada no equipamento principal (Leite, 2006).



Figura 5. Suprimento reserva de cilindros de ar comprimido medicinal

Fonte: Lopez; Abreu 2013.

2.5 Redes de Distribuição

A rede de distribuição tem função fundamental, pois serve como caminho entre os equipamentos e os pacientes, onde deverão ser confeccionadas em cobre, onde atendem as demandas necessárias para os pacientes das Unidades de Saúde (Mimbarcas Junior, 2018).

2.5.1 Identificação

A identificação da tubulação dos gases e vácuo medicinais deve seguir as orientações apresentadas na NBR 12.188/2016. A Tabela 2 apresenta as cores de cada tubulação definidas conforme padrão de Munsell (NBR 12.188, 2016).

Tabela 2. Cor de identificação do gás e vácuo.

Gás	Cor	Padrão Munsell
Ar medicinal	Amarelo-segurança	5 Y 8/12
Óxido nitroso	Azul-marinho	5 PB 2/4
Oxigênio Medicinal	Verde-emblema	2,5 G 4/8
Nitrogênio Medicinal	Preta	N 1
Dióxido de carbono Medicinal	Branco gelo	N 8,5
Vácuo Clínico	Cinza-claro	N 6,5

Fonte: NBR 12.188, 2016.

As tubulações, válvulas reguladoras de pressão, manômetros e outras válvulas que fazem parte da central de gases medicinais, devem ser construídos com materiais adequados ao tipo de gás com o qual irão trabalhar e instalados de forma a resistir às pressões específicas (Brasil, 2002). No caso, dos gases como oxigênio e ar medicinal, os mesmos são normalmente advindos de sistemas de distribuição centralizados nos quais o gás é conduzido da central de suprimento até os pontos de distribuição (Costa, 2022).

2.5.2 Soldagem

Este é um processo de união de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada (Dinis; Capoulas; Neves, 2012). A aplicação das tubulações deve levar em conta que sejam utilizadas ligas de prata 35% com alto ponto de fusão, acima de 537°C, depositados por meio de processos oxi-acetilênico, além da necessidade destes procedimentos serem realizados soldadores qualificados. De acordo NBR 12.188 de 2016, não são permitidas a aplicação de cordões de solda relativos a ligas de estanho.

Segundo a norma NBR 13.587/2017 o sistema de distribuição de gases medicinais deve apresentar um sistema de válvulas, as quais regulam a vazão dos gases medicinais que escoam através dos sistemas, os quais também tem influência

direta no processo de gerenciamento do sistema de distribuição, pois permitem a avaliação direta em relação a perda de carga ao longo do sistema, assim como auxilia no processo de estimativas em relação a pontos de perda de gases de acordo com vazamento em pontos específicos do sistema. Estes elementos previstos em normas técnicas fornecem dados de extrema relevância para a execução do referido estudo.

Conforme Brasil, 2002 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 Figura 6 destaca que os gases medicinais podem ser conduzidos desde a central de gases medicinais (CGM), por um sistema de redes de distribuição de gases medicinais (SRDGM), até aos serviços clínicos para ser administrado ao paciente (Dinis; Capoulas; Neves, 2012).



Figura 6: Representação esquemática do fornecimento dos gases medicinais numa unidade de saúde.

Fonte: GOMES e COUTO, 2023.

2.5.3 Válvula

Conforme Dinis, Capoulas, Neves (2012), as válvulas utilizadas nos sistemas de distribuição de gases medicinais podem ser simples, usadas para redução da pressão e para a seleção do fluxo. Existem válvulas que integram todas estas funcionalidades, facilitando o seu manuseio, sendo ótimas para utilização na emergência médica e no transporte de pacientes.

A norma NBR 12.188 de 2016 cita válvulas que são utilizadas pelo sistema de distribuição:

- a) Válvula de alívio de pressão: válvula que permite a saída do gás para o exterior, caso a pressão no sistema eleve-se níveis acima do preestabelecido;
- b) Válvula auto vedante: válvula para o bloqueio automático e imediato da vazão (fluxo) dos gases e do vácuo, quando da desconexão de quaisquer acessórios do posto de utilização;

- c) Válvula de segurança: válvula de alívio de pressão;
- d) Válvula reguladora de pressão: válvula capaz de reduzir a pressão de entrada e manter a pressão de saída regulada a um valor compatível com a utilização;
- e) Válvula de retenção: válvula que permite a passagem do gás ou vácuo em apenas um sentido;
- f) Válvula de seção: válvula de bloqueio de vazão (fluxo) de gases ou vácuo.

As válvulas são requeridas nas tubulações nas unidades de saúde, pois facilita o trabalho das equipes de saúde e aumenta o nível de segurança, onde pode-se citar as válvulas para alívio de pressão a qual libera o excedente de pressão para o exterior devido a aumento de temperatura ou por falha no sistema. Válvulas de segurança ou de seção que bloqueiam o retorno do gás durante situações de acidentes (BRASIL, 2002). Deve ser instalada uma válvula de secção após a saída da central e antes dos ramais de distribuição aos setores, sendo posta em local acessível (NBR 12.188, 2016).

2.5.4 Sistemas de alarme e monitoração

Os sistemas de alarme têm o objetivo de propagar, por meios sonoros e visuais sinais emitidos pelos equipamentos relacionados problemas ocorridos no sistema de distribuição de gases medicinais. Segundo a (NBR 12.188, 2016), o sistema de alarme pode ser dividido em:

- a) Alarmes de emergência imediata tanto do pessoal técnico como do pessoal clínico;
- b) Alarmes operacionais os quais notificam que existe uma ou mais fontes de abastecimento que não estão disponíveis para uso;
- c) Alarmes operacionais de emergência: indicam uma pressão anormal dentro de uma canalização e devem requerer uma intervenção imediata do pessoal técnico;
- d) Alarme informativo: são sinais informativos que indicam o estado normal de funcionamento do sistema.

A Tabela 3 mostra a classificação dos alarmes e as características dos sinais segundo a NBR 12.188/2016.

Tabela 3. Classificação dos alarmes e as características do sinal.

Categoria	Resposta do Operador	Cor do Indicador	Sinal Visual	Sinal Sonoro
Alarmes de emergência	Resposta imediata por se tratar de situação perigosa	Cumpra a Norma Internacional IEC 60601-1-8	Cumpra a Norma Internacional IEC 60601-1-8	Cumpra a Norma Internacional IEC 60601-1-8
Alarme operacional	Resposta rápida a uma situação perigosa	Amarelo	Intermitente	Opcional
Alarmes operacionais de emergência	Resposta imediata por se tratar de situação perigosa	Vermelho	Intermitente	Sim
Alarme informativos	Conhecimento do estado normal	Não Amarelo Não Vermelho	Constante	Não

Fonte: NBR 12.188, 2016.

A implementação da norma técnica é de grande relevância visto que os protocolos apresentados têm influência na demanda de instrumentação para verificação de parâmetros como vazão, perda de carga em relação à quantidade de carga de gases medicinais perdida para o meio externo. A instrumentação que permite a medição dos referidos parâmetros deve ser inserida de acordo com a montagem e instalação do sistema de distribuição de gases de forma que seja possível implementar uma metodologia eficiente para a execução do estudo que está sendo proposto (NBR 12.188, 2016).

Nos sistemas centralizados deve haver um alarme operacional que indique quando a rede deixa de receber 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. (Brasil, 2002).

2.6 Aplicação nos hospitais do Estado do Maranhão

Segundo a Secretaria de Saúde, o Estado do Maranhão tem hoje mais de 72 hospitais e 11 Unidades de Pronto Atendimento (UPAs). Essa expansão da rede pública de saúde ocorreu por meio do Programa “Saúde é Vida” que permitiu a construção dessas unidades de saúde pelo Governo do Estado do Maranhão.

Embora cada unidade possua mais de um tipo de central de suprimento primário para fornecimento de gases medicinais utilizados dentro dos seus setores, o presente trabalho aborda apenas os principais sistemas centralizados existentes no Estabelecimento de Atendimento à Saúde que para o fornecimento de um específico tipo de gás, mais de um sistema de fornecimento centralizado pode abastecer a referida unidade de saúde (NBR 12.188, 2016).

Os padrões previstos no contrato em relação ao fornecimento de cada central de gás medicinal ou vácuo, são baseados em normas técnicas específicas como a NBR 12.188/2016 e a NBR 13.587/2017 que regem as condições e boas práticas de gestão de gases medicinais, já vistas no decorrer do referencial teórico deste trabalho.

Conforme a Secretaria de Saúde do Estado do Maranhão hoje o Maranhão tem 32 Tanques criogênicos de Oxigênio e 35 centrais de ar medicinal, 22 Usinas geradoras de Oxigênio e 66 unidades de saúde atendidas com cilindros.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições de armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo nos Estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de distribuição dos sistemas dos gases medicinais.

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar um diagnóstico situacional a partir de um questionário nos Estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado;
- ✓ Avaliar as operações dos sistemas de distribuição de gases medicinais para os parâmetros de vazão, perda de carga do gás oxigênio e ar medicinal, as condições de armazenamento e distribuição e identificar os possíveis problemas;

- ✓ Realizar estimativa numérica simplificados para verificação de parâmetros operacionais dos sistemas de distribuição de gases medicinais aplicando-se algoritmos simplificados acoplados a métodos analíticos amplamente encontrados na literatura.

4. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no período de julho/2023 a junho/2024, nos 3 (três) estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão, sendo que todos estão localizados na Região Metropolitana da Grande Ilha de São Luís: Unidade de Pronto Atendimento Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar onde fica localizada no bairro Maiobão no município de Paço do Lumiar-MA (27 leitos sendo 16 leitos da ala amarela, 6 leitos da ala pediátrica, 5 leitos da ala vermelha), o hospital genésio rego localizado no bairro Vila Palmeira na cidade de São Luís, (50 leitos onde destes, 40 leitos correspondem a clínica geral adulto, 8 leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e 2 leitos de isolamento), e Hospital Dr. Carlos Macieira (HCM) localizado no bairro do Renascença na cidade de São Luís – MA (239 leitos, onde tem 80 leitos clínico geral adulto, 69 leitos de cirurgia geral adulto, 4 leitos de cirurgia pediátrica, 60 leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) adulto, 8 leitos de Unidade de Terapia Intensiva, 15 leitos de clínica adulto e 4 Unidade de Terapia Intensiva (UTI) pediátrica).

A pesquisa referente ao levantamento do diagnóstico real das unidades referentes as gestões do oxigênio e ar medicinal foi realizada no mínimo duas vezes no mês, durante 12 (doze) meses em dias e turnos aleatórios. As inspeções foram realizadas durante a rotina de atividades do serviço das unidades, a fim de permitir uma análise da gestão dos gases em estudo. As visitas técnicas verificaram a pressão e vazão dos pontos do gás oxigênio e ar medicinal das unidades de saúde selecionadas neste trabalho.

O levantamento do diagnóstico foi realizado de acordo com a especificidade de cada unidade de saúde segundo o armazenamento e a gestão dos gases medicinais utilizados conforme pode ser visualizado na Figura 7, que destaca o passo a passo executado nas visitas nas Unidades de Saúde.

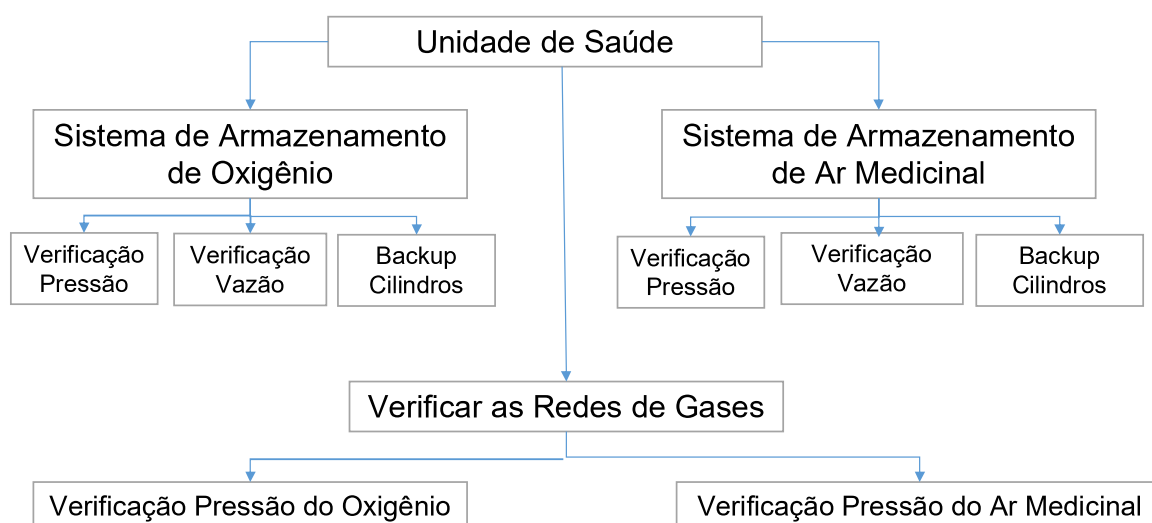


Figura 7. Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão).

Fonte: do autor, 2024

O diagnóstico real abordou questões relacionadas as seguintes análises: tipo e os requisitos em termos de instrumentação (válvulas, manômetros e alarmes de emergência) do sistema de armazenamento e distribuição de gases, a capacidade de bombeamento do sistema, as condições da pressão de entrada de cada posto de utilização, a diferença de pressão necessária para o escoamento do gás através do sistema de distribuição, a sensibilidade e a precisão dos instrumentos de medida de pressão, a análise de temperatura das redes de gases medicinais.

O estudo ainda previu a elaboração de um diagnóstico onde tem a aplicação do planejamento, fazer, checar e ação corretiva (PDCA) conforme adaptações da metodologia descrita por Fornari Junior (2010) de acordo com a necessidade de verificação de possíveis problemas encontrados nas verificações. A partir do uso de dados adquiridos de forma direta nas unidades de saúde, foi gerado um banco de dados com o propósito de elaboração de um modelo teórico e prático para avaliar o comportamento dos gases medicinais observados, de acordo com a operação do sistema de distribuição dos gases medicinais.

De forma complementar este estudo realizou uma simulação numérica simplificada a partir de uma estimativa no aumento da demanda simulando o aumento no consumo dos gases frente a uma “nova pandemia” uma vez que, conforme recomendação da NBR 12.188/2016 deve ser previsto espaço físico adequados para os suprimentos primários e secundários.

Para tanto, foi adotado o cálculo do dimensionamento para as unidades de saúde de acordo com a norma NBR 12.188/2016. A estimativa referente aos dados de vazão de oxigênio e de vazão de ar medicinal, em litros por minutos, foram obtidos conforme a Equação 1.

$$Vazão = 60 L/min \times \left(\frac{N^o de leitos}{da unidade de saúde} \right) \times 80\% \quad (1)$$

Onde:

60L/min: valor indicado pela norma NBR 12.188/2016 na Tabela B.3
80%: percentual indicado pela norma NBR 12.188/2016 na Tabela B.1

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sistemas de Armazenamento das Unidades de Estudo

Neste estudo foi inicialmente realizado um diagnóstico da situação atual dos estabelecimentos de assistência à saúde selecionados: UPA de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e o Hospital Carlos Macieira. Conforme mapa apresentado na Figura 7, que mostra a localização exata dos locais das Unidades de Saúde, onde reforça a escolha por cada Unidade pela classe social da sua localização, onde observa-se no Mapa que a UPA Paço do Lumiar fica localizada na área periférica da ilha de Upaon Açu, o Hospital Genésio Rego está localizado na parte central onde fica uma parte da classe intermediária, e o Hospital Carlos Macieira fica localizado na parte nobre da Ilha de São Luís–MA. Outro critério na escolha das Unidades de Saúde são as classificações e os diferentes perfis, para assim obter-se uma avaliação geral abrangendo todos os níveis.



Figura 8: Imagem da Localização das 3 Unidades de Saúde
Fonte: Google, 2024

O diagnóstico realizado *in loco* abordou critérios descritos nas normas e legislações vigentes relacionadas aos gases medicinais: NBR 12.188/2016, RDC 50 (Brasil, 2002) e NBR 13.587/2017.

A Figura 9 mostra a logística de como o trabalho foi desenvolvido no Hospital Genésio Rego, onde tem o detalhamento desde a chegada no Hospital até a visita de locais de armazenamento (oxigênio e ar medicinal) para verificação da pressão, limpeza e cilindros backups e depois verificação da rede de gases e pressão no final da rede de gases.

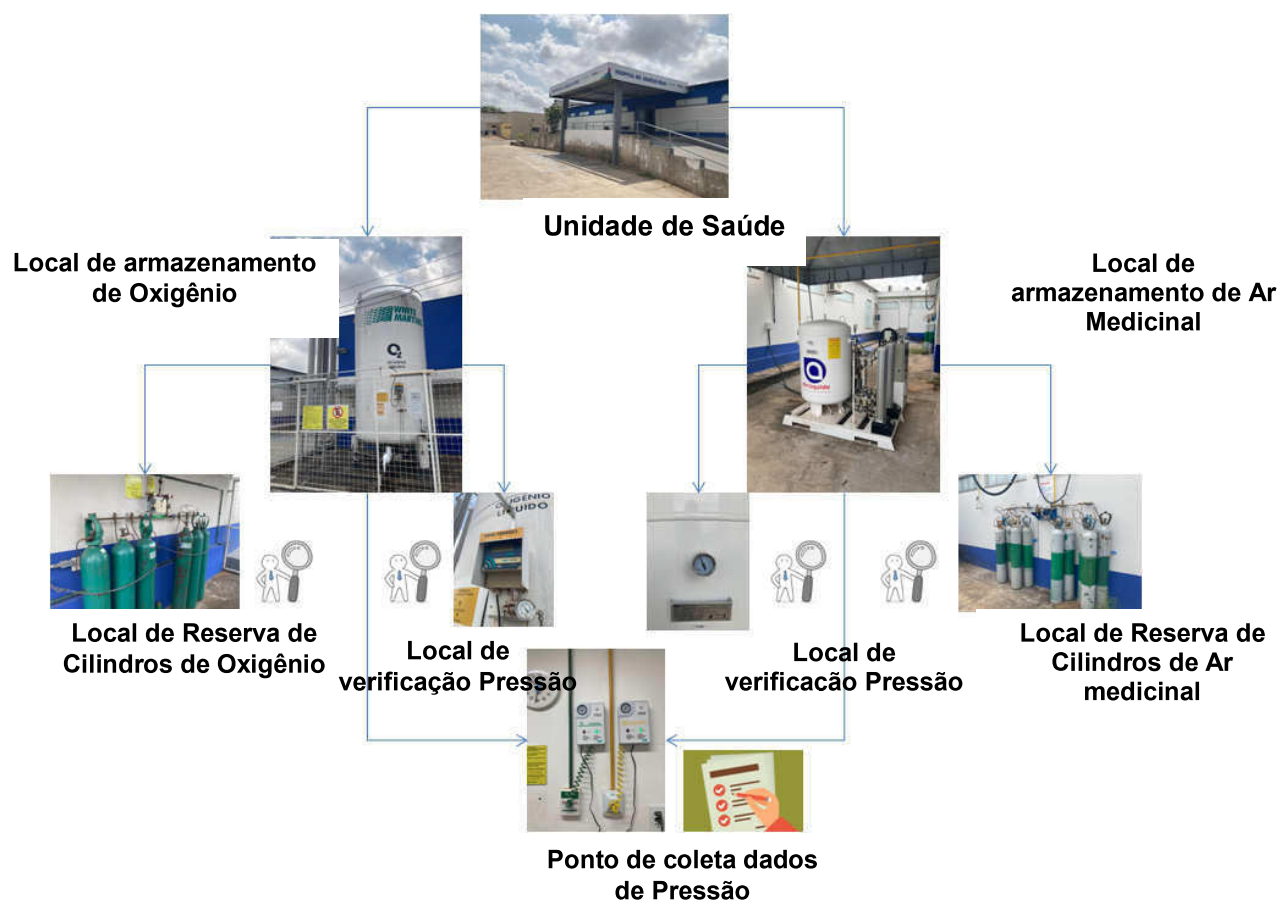


Figura 9. Exemplo Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão) do Hospital Genésio Rego.

Fonte: do autor, 2024

A Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar utiliza como sistema de armazenamento usina e módulos, uma vez que a demanda é fixa, ou seja, um limite de utilização de oxigênio e ar medicinal. Isto deve ser visto que a unidade de unidade de saúde de atendimento à emergência e a demanda de pacientes é temporária. Neste contexto, foi observado que a UPA de Paço do Lumiar utiliza a Usina de Gases Medicinais, em que o Oxigênio medicinal é produzido através de concentrador de oxigênio, atende a pureza mínima de 92%.

O ar sintético medicinal é uma mistura dos dois principais componentes presentes na atmosfera, o mesmo é composto de aproximadamente 21% de oxigênio em nitrogênio (Duarte, 2017).

Na UPA de Paço do Lumiar, a Unidade de Saúde é produzida por compressor medicinal, atendendo pureza de oxigênio entre 19,5% e 23,5% seguindo as normas vigentes da ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR

12.188/2016). A capacidade de vazão da usina é estimada em 7.200 m³/mês. A Figura 10 mostra as unidades de armazenamento de ar medicinal e de oxigênio da Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar.



Figura 10: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) oxigênio localizado na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar

Fonte: do autor, 2025.

A unidade de saúde Hospital Genésio Rego e no Hospital Carlos Macieira, que são hospitais de médio e grande porte, respectivamente, utilizam tanques criogênicos como sistema de armazenamento para os gases medicinais.

O Hospital Genésio Rego utiliza os tanques criogênicos para o fornecimento de oxigênio líquido medicinal, onde é o gás comprimido, oxigênio líquido, inodoro, O₂ 32,99g/mol com o teor mínimo de pureza 95% v/v, com o backup utilizam os cilindros de oxigênio gasoso medicinal, onde um gás comprimido, oxigênio gasoso, inodoro, O₂ 31,996 g/mol, teor mínimo de pureza 99,5% v/v. A central de ar medicinal é gerada por compressor medicinal atendendo pureza de 19,5% e 23,5% com capacidade de vazão estimada em 100m³/hora. Os referidos percentuais estão de acordo com as normas vigentes ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR 12.188/2016) (Duarte, 2017).

O backup referente ao ar medicinal gasoso utiliza cilindros com gás

comprimido, ar sintético medicinal, incolor, com teor de pureza de 21% de oxigênio em nitrogênio de balanço, uso medicinal. A Figura 11 mostra a central de ar medicinal e o tanque criogênico de oxigênio do Hospital Genésio Rego.



Figura 11: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico de oxigênio localizado no Hospital Genésio Rego
Fonte: do autor, 2025.

No Hospital Carlos Macieira são utilizados tanques criogênicos para o fornecimento de oxigênio líquido medicinal. O gás comprimido, oxigênio líquido, inodoro, O_2 32,99 g/mol com o teor mínimo de pureza 95% V/V, como backup o hospital utiliza cilindros de oxigênio gasoso medicinal, considerando-se um gás comprimido de oxigênio gasoso, inodoro, O_2 31,996 g/mol teor mínimo de pureza 99,5% V/V. A central de ar medicinal apresenta níveis de pureza entre 19,5% e 23,5% com capacidade de vazão estimada em 360m³/hora. Como *back up* para ar medicinal gasoso, o hospital utiliza cilindros com gás comprimido, ar sintético medicinal, incolor, com teor de pureza de 21% de oxigênio em nitrogênio de balanço. Todas essas condições seguem as normas vigentes ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR 12.188/2016) (Duarte, 2017). A Figura 12 mostra a unidade de armazenamento de oxigênio e ar medicinal do Hospital Carlos Macieira.



Figura 12: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico oxigênio localizado no Hospital Carlos Macieira

Fonte: do autor, 2025.

5.2 Avaliação das vazões dos gases medicinais nas Unidades de saúde

A partir da verificação dos parâmetros de pressão e vazão, foi possível identificar irregularidades no sistema com a maior sensibilidade visto que a demora em identificar a ocorrência de irregularidades acarreta uma perda contínua de gases, o que está atrelado a um prejuízo financeiro de grandes proporções.

Pode-se observar que este estudo abordou um tema tradicional e amplamente explorado da mecânica dos fluidos e termodinâmica que é o desenvolvimento de metodologias de avaliação de vazão de fluidos e estimativas em relação a perda de carga ao longo de dutos (Leal, 2005), revelando a necessidade do desenvolvimento de instrumentos de medição de vazão e pressão que apresentem maior sensibilidade e pressão.

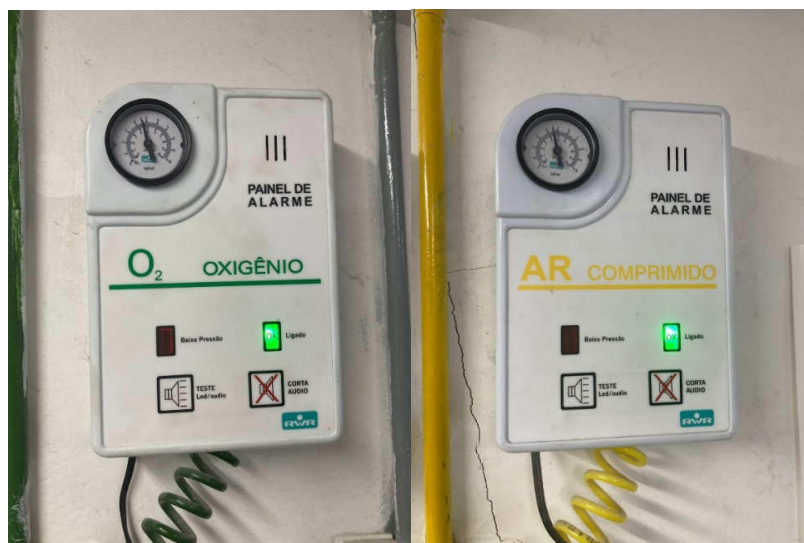
É importante citar que no caso do campo de trabalho foram necessárias inspeções e adaptações, visto que em muitos casos, a unidade de saúde que foram investigadas tem recursos escassos e, dessa forma, surge a demanda de aplicação de conhecimentos clássicos da mecânica dos fluidos e da termodinâmica, os quais podem ser encontrados em referências amplamente citadas por White, 2018.

A Tabela 4 apresenta os dados coletados das pressões nas unidades de saúde estudados. A partir dos dados discriminados na Tabela 4 foram plotados gráficos para melhor compreensão dos dados. Neste sentido, as Figuras 13, 14 e 15 mostram as medidas das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal realizadas no período estudado nas unidades de atendimento da Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, do Hospital Genésio Rego e do Hospital Carlos Macieira, respectivamente.

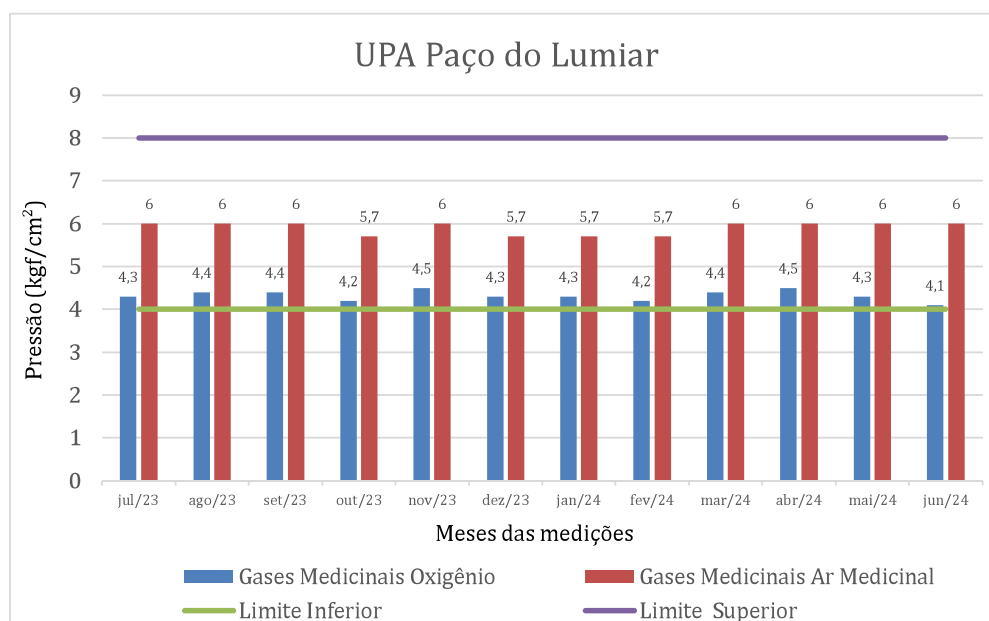
Tabela 4. Dados das pressões de saída dos gases nas unidades de saúde

Mês	UPA Paço do Lumiar		Hospital Genésio Rego		Hospital Carlos Macieira	
	Oxigênio (kgf/cm²)	Ar Medicinal (kgf/cm²)	Oxigênio (kgf/cm²)	Ar Medicinal (kgf/cm²)	Oxigênio (kgf/cm²)	Ar Medicinal (kgf/cm²)
jul/23	4,2	6	6,1	6,6	7	7
jul/23	4,1	6	6	6,5	7,5	7
jul/23	4,5	5,5	6	6,7	7,4	7
jul/23	4,5	5,5	6,1	6,5	7,4	7
ago/23	4,4	6	6,1	6,4	7,5	7,1
ago/23	4,5	6	6	6,6	7,5	7
ago/23	4,5	6	6,1	6,6	7	7
ago/23	4,4	6	6	6,6	7,1	7
set/23	4,5	6	6,2	6,5	7,4	7
set/23	4,5	5,8	6	6,5	7,5	7
set/23	4,5	5,7	6	6,5	7,5	7
set/23	4,2	5,7	6	6,6	7,5	7
out/23	4,2	5,7	6	6,5	7,4	7,1
out/23	4,5	5,6	6,1	6,5	7,3	7
out/23	4,5	6	6,1	6,5	7,1	7,1
out/23	4,5	6	6,2	6,5	7,2	7,1
nov/23	4,5	6	6	6,6	7,2	7
nov/23	4,5	6	6	6,6	7,1	7
nov/23	4,3	6	6	6,6	7	7
nov/23	4,3	5,8	6	6,5	7,2	7
dez/23	4,3	5,7	6	6,5	7,2	7
dez/23	4,3	5,7	6,1	6,5	7,5	7
jan/24	4,3	5,7	6,1	6,5	7,1	7
jan/24	4,2	5,7	6,1	6,5	7,2	7
fev/24	4,2	5,7	6	6,6	7,1	7,1
fev/24	4,1	5,9	6	6,5	7,2	7
mar/24	4,4	6	6	6,5	7,1	7
mar/24	4,5	6	6	6,5	7,2	7
abr/24	4,5	6	6,1	6,5	7,5	7
abr/24	4,5	6	6,1	6,5	7,1	7
mai/24	4,3	6	6	6,6	7,5	7,1
mai/24	4,2	6	6	6,6	7,1	7,1
jun/24	4,1	6	6	6,5	7,1	7
jun/24	4,3	5,9	6,1	6,5	7,2	7

Fonte: do autor, 2025.



(a)



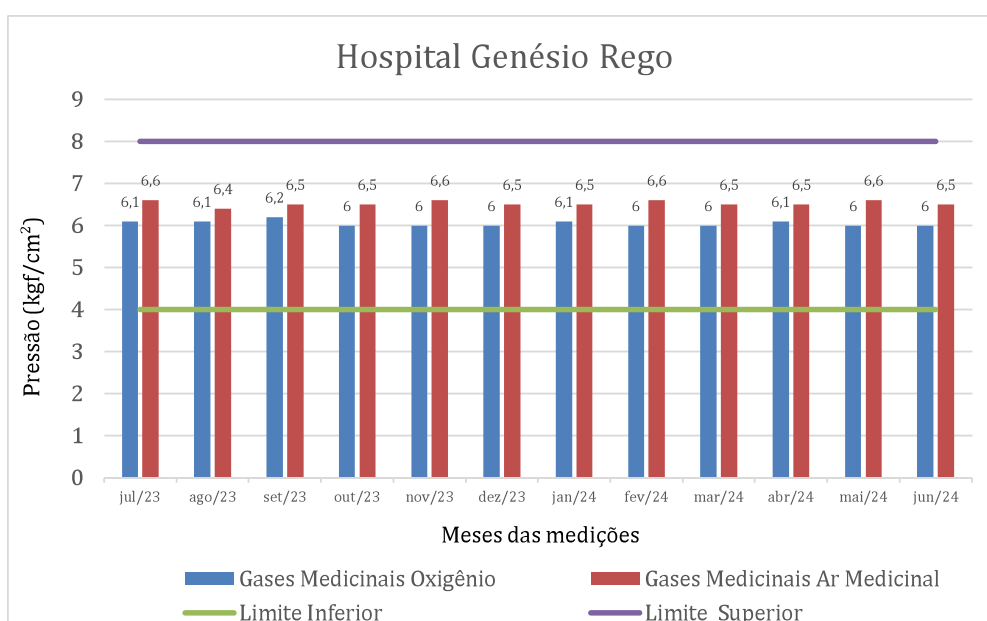
(b)

Figura 13: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal da Unidade de Pronto Atendimento do município de Paço do Lumiar: (a) Pannel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²

Fonte: do autor, 2025.

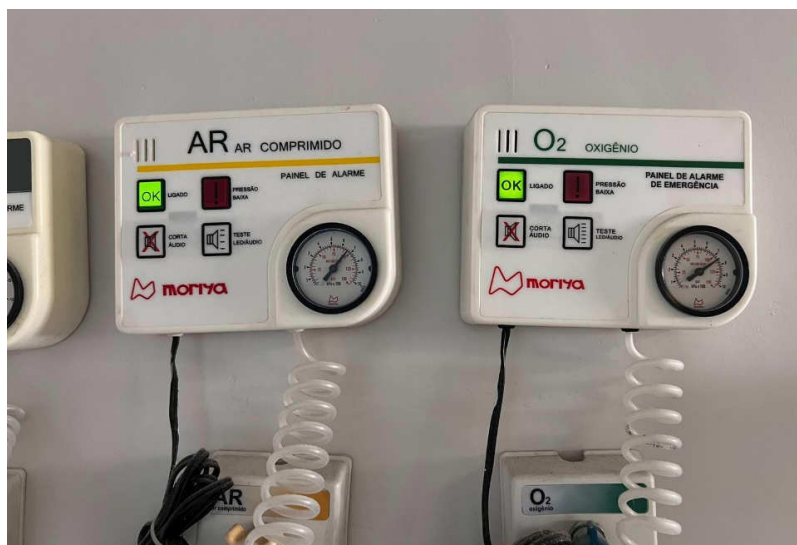


(a)

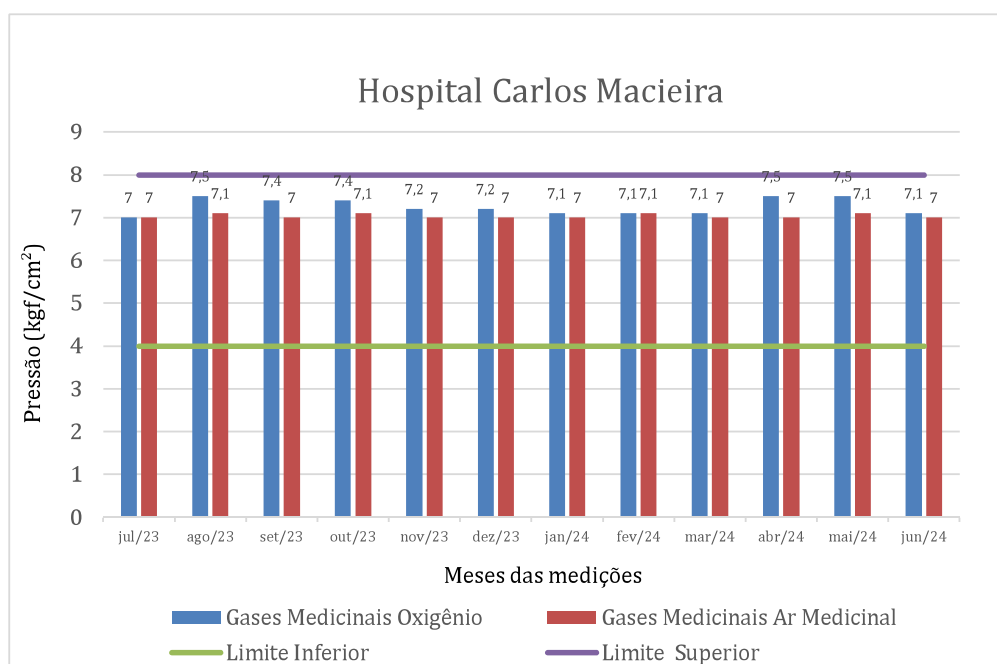


(b)

Figura 14: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Genésio Rego:
 (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²
Fonte: do autor, 2025.



(a)



(b)

Figura 15: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²
Fonte: do autor, 2025.

A Tabela 5 apresenta os valores mínimos e máximos das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal, médias e desvio padrão referentes as unidades de saúde analisadas.

Tabela 5: Valores mínimo e máximo das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, no Hospital Genésio Rego e no Hospital Carlos Macieira.

Unidade de Saúde			
	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
Pronto Atendimento de Paço do Lumiar	Tamanho amostral (n)	34	34
	Mínimo	4,1 kgf/cm ²	5,5 kgf/cm ²
	Máximo	4,5 kgf/cm ²	6 kgf/cm ²
	Média	4,4 kgf/cm ²	5,9 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,143579153	0,166113163
Hospital Genésio Rego	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
	Tamanho (n)	34	34
	Mínimo	6 kgf/cm ²	6,4 kgf/cm ²
	Máximo	6,2 kgf/cm ²	6,7 kgf/cm ²
	Média	6 kgf/cm ²	6,5 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,061473296	0,059708143
Hospital Carlos Macieira	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
	Tamanho (n)	34	34
	Mínimo	7 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
	Máximo	7,5 kgf/cm ²	7,1 kgf/cm ²
	Média	7,3 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,179248779	0,041042563

Fonte: do autor, 2025.

A análise dos dados apresentados na Tabela 5 permite observar que tanto os valores das pressões do oxigênio quanto do ar medicinal da UPA de Paço do Lumiar são menores que as pressões de saída do oxigênio e ar medicinal das outras unidades de saúde. Isto pode estar relacionado ao tipo de sistema de armazenamento e distribuição dos gases uma vez que as UPAs utilizam usinas e módulos para gerar o oxigênio e o ar medicinal, pois nestes tipos de unidades de saúde a demanda é fixa, ou seja, existe um limite de utilização de oxigênio e ar medicinal pela unidade de saúde.

Os hospitais de médio e grande porte atendem a população com maiores demandas, assim verifica-se a necessidade de uma maior utilização dos gases medicinais e, tanto o Hospital Genésio Rego quanto o Hospital Carlos Macieira utilizam o tanque criogênico como sistema de armazenamento.

Observa-se que as pressões de saída dos gases medicinais do Hospital Carlos Macieira são maiores quando comparadas com as outras Unidades de Saúde

estudadas, uma vez que a demanda da referida unidade hospitalar mostra-se superior quando comparada com as demais unidades hospitalares analisadas.

Conforme os resultados observados nas Figuras 13, 14 e 15, percebe-se que os valores das pressões estão de acordo tanto para o Oxigênio e quanto para o Ar Medicinal estão em conformidade com a NBR 12.188/2016 (item 4.11.1.1), que estabelecem que a pressão de distribuição encontra-se com pressão máxima de 8 kgf/cm² e a pressão mínima em cada posto de utilização de 4 kgf/cm², atendendo as especificidades de cada Unidade de Saúde.

De um modo geral, dependendo da unidade de saúde nota-se que quanto maior for a demanda do estabelecimento maior a pressão de saída, isto pode ser observado pelos dados observados a pressão média para o oxigênio de 4,4kgf/cm², 6,0kgf/cm², e 7,3kgf/cm², para a Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e para o Hospital Carlos Macieira, respectivamente e a pressão média para o Ar medicinal de 5,9kgf/cm², 6,5kgf/cm², e 7,0kgf/cm², para a Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e para o Hospital Carlos Macieira, respectivamente. Esta tendência ocorre para o oxigênio e ar medicinal com valores destacados acima, estão de acordo com o item 4.11.1.1 na NBR 12.188/2016.

Devido as experiências vivenciadas no estado pandêmico recente mostra-se necessário considerar um risco de vazamentos generalizados observados em sistema de gases medicinais (Machado, Pereira e Freitas, 2022). Outro fator importante foi a articulação e direcionamento de organizações de naturezas diversas para atingir objetivos comuns, buscando a produção de serviços coerentes e integrados, a otimização de recursos, a eliminação de duplicações e a satisfação dos usuários (Souza, 2018).

Como a perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica por efeito de atrito, a perda de carga para escoamento completamente desenvolvido em tubos de área constante depende tão somente dos parâmetros de maior relevância do escoamento através do duto (gradiente de pressão e vazão) (Nascimento, 2011).

5.3 Estimativa para um aumento na demanda dos Gases medicinais

A possibilidade de uma “nova pandemia” apresenta a possibilidade de um significativo aumento da demanda relacionado ao atendimento da população pelos sistemas de distribuição de gases medicinais disponíveis nas unidades de tratamento de saúde analisadas. Conforme destacado nesse trabalho na seção 7.1, a Unidade de Pronto Atendimento do Paço apresenta um limite de produção de Ar Medicinal de 7.200 m³/mês (10 m³/h), no Hospital Genésio Rego tem um limite de produção de Ar Medicinal de 100 m³/h ou 72.000 m³/mês e no Hospital Carlos Macieira apresenta um limite de produção de Ar Medicinal de 360 m³/h ou 259.200 m³/mês. Estes valores serão utilizados como parâmetros para verificação do limite de leitos necessários e, se as Unidades de Saúde estão preparadas para uma “nova pandemia”.

Na perspectiva de um aumento no atendimento e uso de gases medicinais nas unidades de saúde estudadas, foi realizado um cálculo do dimensionamento baseados na norma na NBR 12.188/2016. Nota-se que, segundo a norma, o percentual de simultaneidade deve ser mantido em torno de 80% tanto para o gás oxigênio quanto para ar medicinal. A Tabela 6 apresenta os valores do cálculo da vazão do gás oxigênio (UPA Paço do Lumiar) e do ar medicinal (para as três unidades de saúde) obtidos de acordo com a Equação 1.

Tabela 6: Valores do cálculo da vazão do oxigênio e ar medicinal Unidades de Saúde

UPA Paço do Lumiar			Hospital Carlos Macieira			Hospital Genésio Rego		
Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão		Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão		Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão	
	m ³ /h	m ³ /mês		m ³ /h	m ³ /mês		m ³ /h	m ³ /mês
1	2,9	2073,6	30	86,4	62208,0	8	23,0	16588,8
2	5,8	4147,2	35	100,8	72576,0	9	25,9	18662,4
3	8,6	6220,8	40	115,2	82944,0	10	28,8	20736,0
4	11,5	8294,4	45	129,6	93312,0	11	31,7	22809,6
5	14,4	10368,0	50	144,0	103680,0	12	34,6	24883,2
6	17,3	12441,6	55	158,4	114048,0	13	37,4	26956,8
7	20,2	14515,2	60	172,8	124416,0	14	40,3	29030,4
8	23,0	16588,8	65	187,2	134784,0	15	43,2	31104,0
9	25,9	18662,4	70	201,6	145152,0	16	46,1	33177,6
10	28,8	20736,0	75	216,0	155520,0	17	49,0	35251,2
11	31,7	22809,6	80	230,4	165888,0	18	51,9	37324,8
12	34,6	24883,2	85	244,8	176256,0	19	54,7	39398,4
13	37,4	26956,8	90	259,2	186624,0	20	57,6	41472,0
14	40,3	29030,4	95	273,6	196992,0	21	60,5	43545,6
15	43,2	31104,0	100	288,0	207360,0	22	63,4	45619,2
16	46,1	33177,6	105	302,4	217728,0	23	66,2	47692,8
17	49,0	35251,2	110	316,8	228096,0	24	69,1	49766,4
18	51,9	37324,8	115	331,2	238464,0	25	72,0	51840,0
19	54,7	39398,4	120	345,6	248832,0	34	97,9	70512,0
20	57,6	41472,0	125	360,0	259200,0	35	100,8	72576,0

Fonte: Próprio autor, 2025.

As Figuras 16, 17 e 18 descrevem a relação entre o número de leitos e os valores de vazão, para obtenção da quantidade estimada de leitos de UTI. A UPA de Paço do Lumiar tem 27 leitos de forma que nenhum leito de UTI encontra-se disponível para atendimento, no entanto, para atender a demanda da população com outros leitos de UTI na UPA de Paço do Lumiar onde observa-se o limite de produção de oxigênio e ar medicinal de 7.200 m³/mês (10 m³/hora). No entanto, fazendo uma estimativa de aumento demanda para o número de leitos de UTI (Figura 16), nota-se que a UPA Paço do Lumiar com a quantidade de gás utilizada atualmente, permite atender a quantidade de 3 leitos de UTI. De acordo com os cálculos, a partir de 4 leitos já supera o limite de produção do Ar medicinal e Oxigênio desta Unidade de Saúde em 15%, respectivamente.

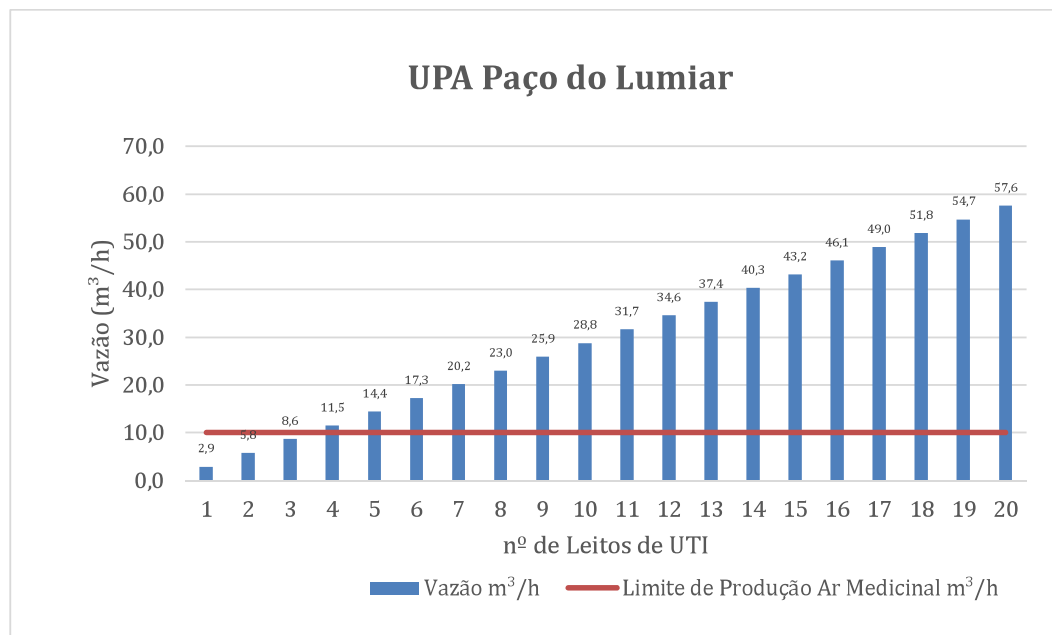


Figura 16 - Valores do N° de Leitos x Vazão do Ar medicinal e oxigênio da Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar (em m³/h)
Fonte: do autor, 2025.

As Figuras 17 e 18 apresentam os valores do número de Leitos em função da Vazão do Ar medicinal em m³/h do Hospital Genésio Rego e do Hospital Carlos Macieira, respectivamente. A Unidade de Saúde Hospital Genésio Rego tem a vazão do ar medicinal de 100m³/hora o que atende uma demanda atual de 50 leitos sendo 8 leitos de UTI. Em um contexto de uma nova pandemia e, a partir dos estudos realizados, com a vazão atual o hospital poderia aumentar o número de leitos de UTI

mais de 27 leitos de UTI conforme demonstrado na Figura 15, com isso aumentaria o número de leitos de UTI de 8 para 27 um aumento de 337,5% na demanda desta Unidade de Saúde.

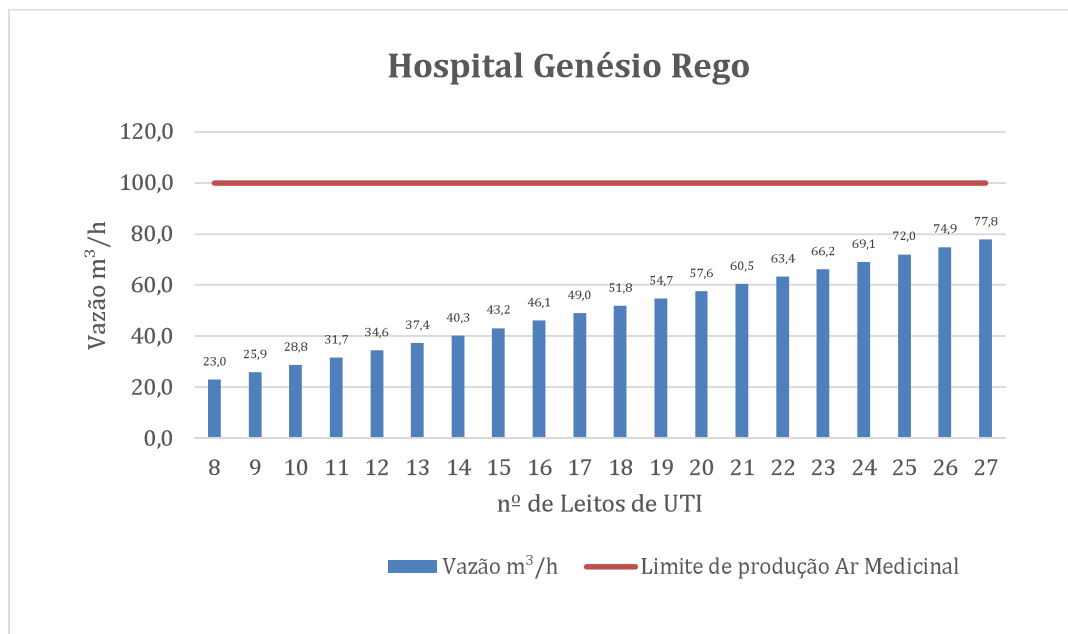


Figura 17 - Valores do Nº de Leitos x Vazão do Ar medicinal e gás oxigênio do Hospital Genésio Rego (em m³/h)
Fonte: do autor, 2025.

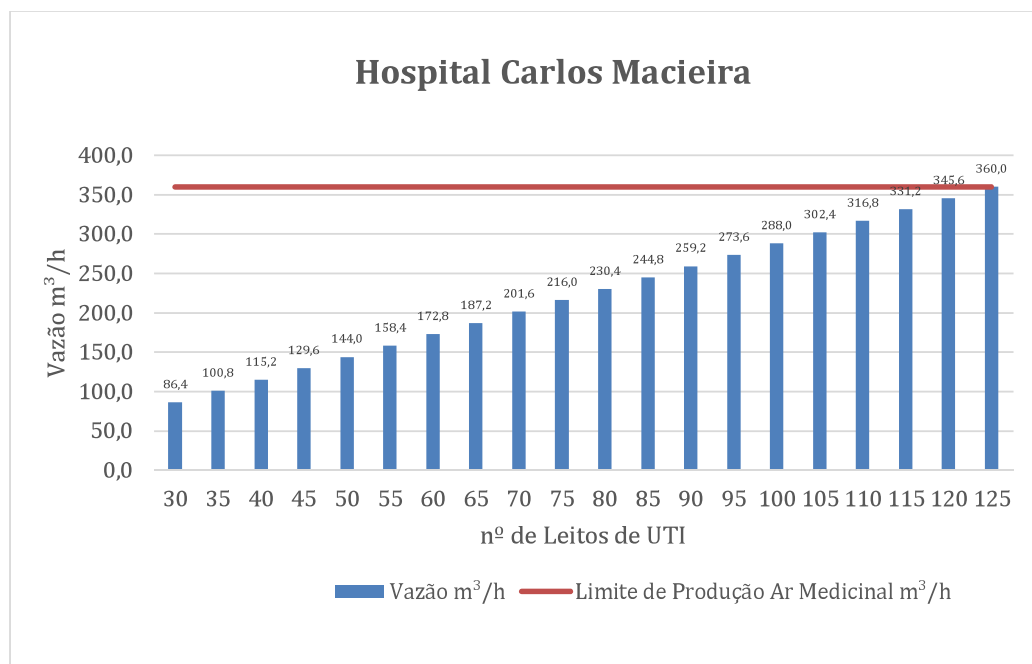


Figura 18 - Valores do Nº de Leitos x Vazão do Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (em m³/h)
Fonte: do autor, 2025.

Segundo recomendações da OMS e do Ministério da Saúde, a relação ideal de leitos de UTI é de 1 a 3 leitos para cada 10 mil habitantes. No Brasil esta proporção é de 2,2 leitos, enquanto no Maranhão esta estimativa referente aos hospitais gerenciados pelo Estado que corresponde a um total de 789 leitos de UTI Adulto e Infantil para um total de 7 milhões de habitantes.

6. CONCLUSÃO

A avaliação dos dados obtidos permite evidenciar que a pressão de distribuição encontra-se em acordo com a legislação no item 4.11.1.1 da NBR 12.188/2016, onde as pressões máximas observadas mantem-se em torno de 8kgf/cm² e as pressões mínimas em torno de 4kgf/cm².

De acordo com as condições de armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo nas Unidades de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de pressão e vazão nas centrais de distribuição de gases medicinais.

A partir do diagnóstico realizado foi observado que o atual sistema de distribuição de gases medicinais observado nas unidades de assistência à saúde avaliadas atendem as necessidades com relação a instrumentação, avaliação operacional da vazão e perda de carga e condições de armazenamento dos gases medicinais.

A estimativa obtida para a Unidade de Saúde UPA Paço do Lumiar observou que a mesma não poderá receber uma demanda de Leitos de UTI pois os três leitos disponíveis não atendem um possível aumento de demanda por de leitos de UTI.

7. CONTRIBUIÇÕES ATRELADAS A DISSERTAÇÃO

7.1 Importância Social

O estudo foi realizado nas Unidades de Saúde na Ilha de São Luís, as quais apresentam significativa relevância para a sociedade, pois prestam assistência médica referente a várias áreas em localidades de diferentes classes sociais, quanto ao acesso a todos de forma integral e equitativo aos serviços de saúde, garantido

mediante políticas sociais e econômicas, com acesso igualitário. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o hospital caracteriza-se por ser um organizador de caráter médico-social que deve garantir assistência médica, tanto curativa como preventiva para a população. Onde em todos os Hospitais destacados, foram evidenciados a qualidade na utilização dos gases medicinais para a população.

7.2 Importância Econômica

A cada dia os gastos com saúde apresentam um significativo crescimento devido ao aumento das demandas, onde as Unidades de Saúde têm um custo elevado para os estados e municípios com o uso contínuo de gases medicinais. Uma forma de reduzir estes custos é a criação de sistemas de controle, com a boa gestão dos contratos e monitoramento constante dos gastos dos sistemas de gases medicinais, pois são realizados rotineiramente, garantindo que os nossos sistemas de gestão dos contratos e gestão dos orçamentos dos gases medicinais terão a melhor forma de utilização desses recursos públicos da saúde para a população.

7.3 Importância Ambiental

O gerenciamento ambiental nos hospitais está relacionado com o uso de novas tecnologias e com a geração de novos sistemas mais limpos, com o implemento de energia renovável. Com a adoção de práticas sustentáveis onde ajuda a reduzir os impactos ambientais. Além de refletir no sistema de gestão ambiental. Para os equipamentos dos gases medicinais uma estratégia é a busca de tecnologias renováveis como o uso de sistema como a energia solar, onde utiliza um sistema de geração limpa e econômica e com a responsabilidade social para a gestão integrada de todo o sistema, com ganhos para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Ana Rafaela Maia de; CHAVES, Erika Almeida; MONTEIRO, Isabel Cristina; MARTINS, Leiliane de Lima, Referência e contrarreferência em uma policlínica: perspectivas de pacientes e profissionais de saúde, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, 2015.

ARAÚJO, Eunice Aristides; FURTADO, Francisca Marina de Souza Freire; PICHELLI, Ana Alayde Werba Saldanha. **Vulnerabilidade programática em saúde em cidades rurais paraibanas segundo os níveis de atenção**, Capítulo do Livro Tópicos em Ciência da Saúde, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2018/TRABALHO_EV108_MD1_SA13_ID2006_21052018085010.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12.188: Sistemas centralizados de oxigênio, ar, óxido nitroso e vácuo para uso medicinal em estabelecimentos assistenciais de saúde**. Rio de Janeiro, 2016. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13.587: Estabelecimento assistencial de saúde - Concentrador de oxigênio para uso em sistema centralizado de oxigênio medicinal**. Rio de Janeiro, 2017. 25p.

BIANCHI, Eduardo Carlos, **Análise Comparativa da influência da pressão e vazão no processo de retificação tangencial plana**, In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2000), 2000, Natal – RN, v.1 p.1 – 8.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002, dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de fevereiro de 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, RDC nº70, de 1 de outubro de 2008, dispõe sobre a notificação de Gases Medicinais de 11 de agosto de 2006, republicada no DOU de 21 de agosto de 2006, em reunião realizada em 30 de setembro de 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 870, de 17 de maio de 2024, dispõe sobre a notificação o registro e as mudanças pós-registro de Gases Medicinais enquadrados como medicamentos.** Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de maio de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: capacitação a distância. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde**, Projeto REFORSUS. Brasília, DF: MS, 2002. Disponível em:< Cópia de EQUIPAMENTOS MEDICO HO.PDF (saude.gov.br)> . Acesso em: 10 de agosto de 2024.

CATÁLOGO HOSPITALAR, Site Catálogo Hospitalar, (<https://catalogohospitalar.com.br/>). Acesso em: 25 maio 2024.

COFFMAN, Ken **Everything You Need to Know About Medical Gas Systems.** Published January 13, 2023. Disponível em: <<https://tri-techmedical.com/everything-you-need-to-know-about-medical-gas-systems/>> Acesso em 10 de agosto de 2023.

CORRAL, Vivian **Estudo para planejamento estratégico de crescimento arquitetônico sustentável de hospitais.** Revista Educação, Vol. 8, Nº Extra 2, 2013, p. 95-95.

COSTA, Gustavo Aguiar, **Regulação dos Gases Medicinais no Brasil**, 2022, 137f., Dissertação – Programa de Pós-Graduação da Escola de Direito do Rio de Janeiro da Fundação Getúlio Vargas para obtenção do título de mestre, Rio de Janeiro, 2022.

DINIS, Elisa; CAPOULAS, Miriam; NEVES, Vasco **Manual de Gases Medicinais. Ordem dos Farmacêuticos–Conselho do Colégio de Especialidade de Farmácia Hospitalar**, 2012.

DUARTE, Clayton da Silva, **Análise de fornecimento de ar medicinal por meio da destilação criogênica em uma instituição hospitalar**, TCC – Curso de Engenharia mecânica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017, 63p.

FERRI, Sônia Mara Neves, **Modelo de acolhimento com classificação de risco em unidade de pronto-atendimento: Estratégia para reorganização do trabalho e reordenação do acesso à rede de saúde**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

FORNARI JUNIOR, Celso Carlino Maria, **Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde**. INGEPRO, Inovação, Gestão e Produção, setembro de 2010, vol. 02, no. 09, ISSN 1984-6193.

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

GOMES, Pedro; COUTO, B. **Pedro Gomes Engenharia**. Disponível em: <<http://pedrogomes.eng.br/gasesmedicinais/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

GÓMEZ-CHAPARRO, Miguel; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, Justo; MÁRQUEZ, Luis Armenta **Analytical determination of medical gases consumption and their impact on hospital sustainability**. *Sustainability*, v. 10, n. 8, p. 2948, 2018.

HIGHLEY, David **Medical gases, their storage and delivery**. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, v. 10, n. 11, p. 523-527, 2009.

LEAL, Adelson Belizário, **Estudo do escoamento de fluidos não newtonianos em dutos**, 2005, Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

LEITE, Viviane Otero, **Produção Local de Oxigênio Hospitalar**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006, disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/09ed9b5d-149a-40c6-972a-f10493b4e482/VIVIANE%20OTERO%20LEITE%20PME06.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

LOPEZ, Marisol Pais; ABREU, Fernanda Raimunda **Central de gases medicinais: coração de uma instituição hospitalar**. Caderno de Estudos Tecnológicos, v. 1, n. 1, 2013.

MACHADO, Cristiani Vieira; LIMA, Luciana Dias; O'DWYER, Gisele; ANDRADE, Carla Lourenço Tavares; BAPTISTA, Tatiana Wargas de Faria; PITTHAN, Rachel Guimarães Vieira; IBÁÑEZ, Nelson, Gestão do trabalho nas Unidades de Pronto Atendimento: estratégias governamentais e perfil dos profissionais de saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 32, n. 2, 2016.

MACHADO, Cristiani Vieira, PEREIRA, A. M. M., FREITAS C. M., organizadores. **Políticas e sistemas de saúde em tempos de pandemia: nove países, muitas lições**. Série Informação para ação na Covid-19. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2022. DOI: <https://doi.org/10.7476/9786557081594>.

MACINTYRE, Archibald Joseph **Instalações hidráulicas, prediais e industriais**, LTC – Livros técnicos e científicos Editora, Rio de Janeiro – RJ, 3ª Ed., 1996.

MARCHON, Simone Grativol; MENDES JUNIOR, Walter Vieira, Segurança do paciente na Atenção Primária à Saúde: Revisão Sistemática, Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, 30 (9): 1 – 21, Set., 2014.

MARCZYK, Carlos Emilio Stigler, **Análise de folgas na infraestrutura de unidades de terapia intensiva: estudo no contexto da pandemia da COVID-19**, 2022, 132f., Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MIMBARCAS JUNIOR, Gilberto Vinholes **Iniciando o processo de gestão de gases medicinais em um hospital filantrópico**, 2018, 65f., Trabalho de Conclusão de Curso, CEng – Centro de Engenharias – Curso de Engenharia Produção, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atenção Primária e Atenção Especializada: Conheça os níveis de assistência do maior sistema público de saúde do mundo**. [S. /], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/marco/atencao-primaria-e-atencao-especializada-conheca-os-niveis-de-assistencia-do-maior-sistema-publico-de-saude-do-mundo>. Acesso em: 25 maio 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atendimento na Unidade de Pronto Atendimento Assistencial UPA**. [S. /], 2023.

MOLL, Jorge R.; MOLL, Ana V. S.; GUTTMAN, Armin; TORRES FILHO, Ivo P.; RIBEIRO, Manoel C. S. Almeida; MATHIAS, Lúgia Andrade da SilvaTelles, **Usinas concentradoras de oxigênio: evolução da fração inspirada de oxigênio e repercussões no paciente anestesiado em sistema com absorvedor de CO₂**. Estudo piloto. Revista Brasileira de Anestesiologia, v. 57, p. 649-657, 2007.

NASCIMENTO, Genildo Ribeiro, **Escoamento multifásico não isotérmico em riser flexível: modelagem e simulação**, 2011, 144 f., Tese de Doutorado – Curso de Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NAVA JÚNIOR, Manoel Maria Henrique, **Programa de gestão da manutenção predial para edificações hospitalares da rede de atendimento no município de**

Fortaleza, 2007, 265 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Estruturas e Construção Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2007.

PEREIRA, Rodrigo Serapião, **Melhoria da eficiência energética em sistemas de geração de vapor**. 2022, 24f., Trabalho de Conclusão de Curso, Repositório Universitário da Ânima (RUNA), 2022.

RIBEIRO, Marco Antônio, **Instrumentação**. Tek Treinamentos LTDA, v. 16, 1999.

RODRIGUES, Thalisson Silva. **Proposta de implantação da gestão estratégica de materiais em um hospital filantrópico de médio porte utilizando Matriz de Posicionamento Estratégico de Materiais e Classificação ABC**, 2021, 69f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2021.

ROLLINS, John P. Manual de Ar Comprimido e Gases. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SANTOS, Rubia Alves da Luz, **Sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais- uma abordagem para o gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar**. 2002. 166p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

São Paulo Oxigênio Gases Medicinais e Industriais. **Central com alimentação através de cilindros**. Disponível em: <<https://saopaulooxigenio.com.br/>> Acesso em 10 de agosto de 2023.

SARANGI, Sushmita; BABBAR, Savita; TANEJA, Dipali **Safety of the medical gas pipeline system**. *Journal of anaesthesiology, clinical pharmacology*, v. 34, n. 1, p. 99, 2018.

SCHNEIDER, Elmo Ebanês, **Instalações de dispositivos segurança para máquinas operatrizes conforme a norma regulamentadora nº12 com ênfase em dispositivos elétricos**, 2011, 47f., Monografia – Pós-Graduação em Engenharia de

Segurança do Trabalho, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

SILVA, Anny M. A.; LIMA, Marina; MEYER, João Frederico C A. Modelagem e simulação dos Diferentes Cenários da Pandemia de COVID-19 no Brasil. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 8, n. 1, 2021.

SILVA, Márcia Moraes Paulino; RIBEIRO, Aline Farias, SILVA, Kezia Rayane Paulino; SILVA, Marcos Valério Santos Elaboração de um plano de gestão farmacêutica de gases medicinais em um hospital universitário público de Belém. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. e20612230236, 2023.

SOUZA, Celina, **Coordenação de políticas públicas**. Brasília, DF: Escola Nacional de Administração Pública, ENAP; 2018. 72 p.

WHITE, Frank M., **Mecânica dos Fluidos**, Editora AMGH, 8ª. Edição, 2018.

WOLKER, Sergio Luiz; COSTA, Tania Portella; PETERLINI, Olga Laura Giral di. Revisão integrativa sobre o processo de compra e distribuição de materiais médicos e hospitalares. **Revista de Saúde Pública do Paraná**, [s. l.], v. 2, p. 103–112, 2019.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Questionário/Checklist de verificação das Unidade de Saúde

Checklist Verificação Unidades de Saúde - UPA Paço do Lumiar					
1. Verificar pressão da USINA	Valor Pressão Oxigênio e Ar Medicinal				
2. Verificar limpeza do Equipamento	Adequada		Média		Ruim
3. Verificar as condições da Rede Hospitalar	Adequada		Média		Ruim
4. Verificar Pressão Enfermarias / UTI	Oxigênio		Ar Medicinal		
5. Verificar as condições dos Cilindros	Adequada		Média		Ruim
Checklist Verificação Unidades de Saúde - Hospital Genésio Rego					
1. Verificar pressão do Tanque	Valor Pressão Oxigênio				
2. Verificar pressão do Módulo de ar	Valor Pressão Ar medicinal				
3. Verificar limpeza do Equipamento	Adequada		Média		Ruim
4. Verificar as condições da Rede Hospitalar	Adequada		Média		Ruim
5. Verificar Pressão Enfermarias / UTI	Oxigênio		Ar Medicinal		
6. Verificar as condições dos Cilindros	Adequada		Média		Ruim
Checklist Verificação Unidades de Saúde - Hospital Carlos Macieira					
1. Verificar pressão do Tanque	Valor Pressão Oxigênio				
2. Verificar pressão do Módulo de ar	Valor Pressão Ar medicinal				
3. Verificar limpeza do Equipamento	Adequada		Média		Ruim
4. Verificar as condições da Rede Hospitalar	Adequada		Média		Ruim
5. Verificar Pressão Enfermarias / UTI	Oxigênio		Ar Medicinal		
6. Verificar as condições dos Cilindros	Adequada		Média		Ruim