

SISTEMA DE RENOVAÇÃO DE AR PARA AMBIENTES ASSISTENCIAIS DE SAÚDE CLIMATIZADOS POR CONDICIONADORES DE AR TIPO SPLIT

Nadson Ferreira dos Santos¹.

Universidade Católica do Salvador (UCSal), Salvador, Bahia.

<https://lattes.cnpq.br/4115130913360195>

RESUMO: Este artigo científico aborda o desenvolvimento de um sistema de renovação de ar de baixo custo para ambientes assistenciais de saúde artificialmente climatizados por condicionadores de ar tipo split. O objetivo é melhorar a qualidade do ar interior, promovendo condições ambientais seguras e saudáveis para pacientes e profissionais de saúde. O sistema proposto visa reduzir a concentração de poluentes e controlar a temperatura e umidade de forma eficiente. Além disso, busca minimizar o risco de transmissão de doenças nosocomiais, contribuindo para a segurança dos pacientes. A implementação de tecnologias acessíveis e eficazes de ventilação surgem como chaves para alcançar esses objetivos, ao mesmo tempo em que se busca otimizar a eficiência energética e cumprir normas regulatórias pertinentes. Este estudo destaca a importância de soluções adaptáveis e econômicas para melhorar o conforto e bem-estar dos pacientes, garantindo um ambiente hospitalar saudável e seguro.

PALAVRAS-CHAVE: Renovação do ar. Qualidade do ar interior. Conforto hospitalar.

LOW-COST AIR RENEWAL SYSTEM FOR HEALTH CARE ENVIRONMENTS ARTIFICIALLY CLIMATE BY SPLIT TYPE AIR CONDITIONERS

ABSTRACT: This scientific article addresses the development of a low-cost air renewal system for healthcare environments artificially air-conditioned by split-type air conditioners. The goal is to improve indoor air quality, promoting safe and healthy environmental conditions for patients and healthcare professionals. The proposed system aims to reduce the concentration of pollutants and control temperature and humidity efficiently. Furthermore, it seeks to minimize the risk of transmission of nosocomial diseases, contributing to patient safety. The implementation of affordable and effective ventilation technologies appears as key to achieving these objectives, while seeking to optimize energy efficiency and comply with relevant regulatory standards. This study highlights the importance of adaptable and cost-effective solutions to improve patient comfort and well-being, ensuring a healthy and safe hospital environment.

KEY-WORDS: Air renewal. Indoor air quality. Hospital comfort.

INTRODUÇÃO

As pessoas pouco conhecem sobre a qualidade do ar interior (QAI), elas vivem em ambientes em que o ar está degradado e adquirem doenças respiratórias devido a exposição aos agentes contaminantes do ar. O equipamento condicionador de ar mais utilizado é o modelo split. O split-system, são sistemas eficientes de resfriamento de ambiente sendo bastante utilizado na atualidade, no entanto, em seu projeto não há a previsão para renovação de ar necessária na eliminação ou diluição dos poluentes internos (SUZUKI; PRADO, 2010). Partindo deste pressuposto esta pesquisa apresenta a proposta de desenvolvimento de um sistema de renovação de ar automatizado de baixo custo para ambientes assistenciais de saúde climatizados por condicionadores de ar tipo split, que tem por finalidade a redução dos agentes nocivos a saúde que estão presentes em ambientes fechados, proporcionando melhor qualidade de vida, bem-estar, saúde e produtividade às pessoas. O projeto foi desenvolvido de forma técnica embasada nas leis, procedimentos, normas técnicas e disposições vigentes, com destaque para as ABNT 7256 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), voltada para o tratamento de ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), a resolução RE Nº 09, DE 16 de janeiro de 2003, da Associação Brasileira Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a norma técnica NBR 16401 da ABNT que definem parâmetros para determinar que as instalações de ar-condicionado em sistemas centrais garantam uma boa qualidade do ar.

OBJETIVO

O propósito do sistema de renovação de ar de baixo custo para ambientes assistenciais de saúde é garantir a qualidade do ar interior, promovendo um ambiente seguro e saudável para pacientes, profissionais de saúde e visitantes.

METODOLOGIA

Foi abordada a metodologia quantitativa para avaliar o procedimento experimental que viabilizou a construção de um protótipo de sistema de renovação de ar de baixo custo para ambientes de saúde artificialmente climatizados por condicionadores de ar tipo split seguindo um experimento estruturado da seguinte forma:

1. Formulação da Hipótese: Estabelecimento uma hipótese clara sobre o desempenho do protótipo em melhorar a qualidade do ar em comparação com o sistema existente;
2. Modelagem e simulação fluidodinâmica do projeto de renovação de ar;
3. Seleção e preparação da base de Teste: construção de um ambiente simulado que represente o espaço físico de ambiente de saúde;

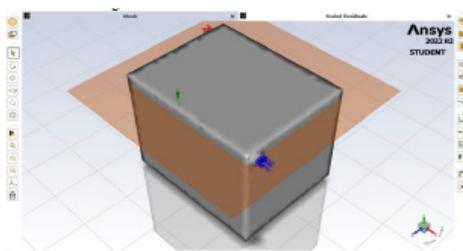
4. Instalação do Protótipo: Implementar o protótipo do sistema de renovação de ar de baixo custo de acordo com as especificações de projeto;
5. Medição de Parâmetros: Definir os parâmetros de qualidade do ar a serem medidos, como concentração de CO₂, temperatura, umidade relativa;
6. Coleta de Dados: Monitorar continuamente os parâmetros de qualidade do ar durante um período significativo para a conclusão dos ciclos de renovação de ar do protótipo;
7. Análise dos dados coletados para determinar a performance do protótipo.

Desenvolvimento virtual e simulação fluidodinâmica

A proposta de uma solução viável para reduzir os índices de contaminação por CO₂ no interior das unidades assistenciais de saúde foi iniciada através da Modelagem e Simulação Fluidodinâmica Computacional do comportamento do gás monóxido de carbono no interior de uma base de testes com área de 1 m² e volume 1 m³ na escala de 1:1000 (figura 1) projetada de acordo com os parâmetros da RE 09/2003 da ANVISA que estabelece o número mínimo amostral de 3 amostras a partir de 1000 m² de área construída, vazão do ar de insuflação e exaustão à 0,33 m³/h e velocidade do ar não superior a 0,75m/s.

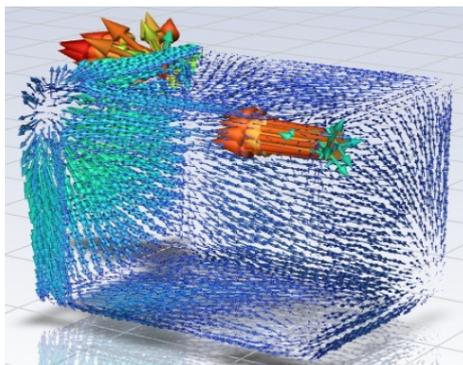
Na primeira simulação o ar interior da matriz de testes teve a sua concentração de CO₂ elevada para 1500 ppm. Ao atingir 600ppm os ventiladores de exaustão e insuflação foram ativados simultaneamente pelo sensor de CO₂ realizando o primeiro ciclo de renovação de ar, em 3 minutos os níveis de CO₂ no interior da matriz de testes foi medido em 450 ppm. O ciclo de renovação de ar pode ser visto na figura 2. No lado superior direito da figura 2 em vermelho é o cooler de insuflação inserindo o ar exterior na base de testes, os vetores em verde representa o gás o CO₂ sendo arrastado mecanicamente em direção ao lado inferior direito da figura, onde está localizado o ventilador de exaustão.

Figura 1: projeto 3D da base de testes no softwrw Ansys.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: simulação do ciclo de dissipação de CO2 no software Ansys.



Fonte: Autoria própria.

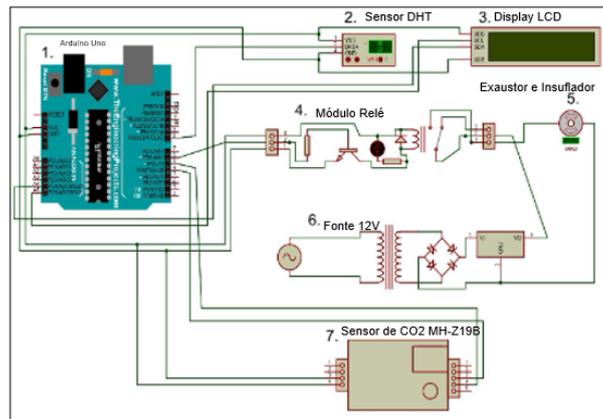
Os resultados obtidos através dos ensaios dinâmicos no Ansys viabilizaram a construção do protótipo do sistema de renovação.

Desenvolvimento do protótipo

O projeto de monitoramento e renovação de CO2 foi desenvolvido com a utilização do Arduino Uno. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica a qual possui um microprocessador, pinos I/O e memória interna. O hardware e software livres permitem que o Arduino seja utilizado para diversas finalidades (MCROBERTS,2011). Para a escolha foram consideradas questões como: maiores possibilidades de automação e adequação às normas e às necessidades do projeto, fácil instalação, manutenção e acessibilidade para compra dos componentes. O projeto foi construído e testado virtualmente através da plataforma Proteus.

A programação do sistema segue a seguinte lógica, o sensor de CO2 realiza o monitoramento do CO2 presente no ar interior da base de testes, quando for detectada uma concentração acima de 450 ppm o sensor envia a informação para a central de controle, a central aciona os ventiladores de exaustão e insuflação automaticamente através dos módulos relés. Quando a concentração de CO2 voltar para 450 ppm o sistema vai desligar automaticamente. O sistema é programado para o monitoramento full time do nível de CO2, temperatura e umidade relativa do ar, esses dados estarão visíveis no display da central de controle.

Figura 3: Modelagem do protótipo de renovação e monitoramento de CO₂ no software Proteus.



Fonte: Autoria própria.

Montagem física do protótipo

A construção do projeto físico foi embasada nas orientações da norma ABNT NBR 7256 e 16401 e a RE 09/2003 da ANVISA que estabelecem que projetos para renovação de ar devem contar com leitura direta dos níveis de CO₂ por meio de sensor sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica, faixa: de 0 a 5.000 ppm, exatidão: ± 50 ppm + 2% do valor medido, monitoramento da temperatura nas condições internas para verão, deverá variar de 23°C a 26°C e umidade relativa do ar nas condições internas para verão, deverá variar de 40% a 65% para o inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 35% a 65%(ANVISA, 2003). Para atender a essas demanda foi inserido ao protótipo o sensor digital infravermelho de gás carbônico MH-Z19B é um pequeno componente inteligente com tecnologia infravermelho não dispersivo (NDIR - Nondispersive infrared sensor). Essa tecnologia apresenta espectroscópico para detecção do gás, permitindo leituras com maior sensibilidade e boa estabilidade. Além de baixo consumo de energia, também apresenta encapsulamento anticorrosivo e não sofre interferências por vapor de água. Tem a capacidade de verificação da presença de CO₂ em ambientes com concentrações entre 0 a 5000 ppm, além de medir a temperatura e a umidade relativa.

Figura 4: Sensor digital infravermelho de gás carbônico MH-Z19B.



Fonte: Autoria própria.

Foi construída uma base de testes com área de 1m^2 e volume de 1m^3 na escala 1:1000 em madeira MDF com uma boca de visita em acrílico para observação do experimento. Foram instalados dois ventiladores de 100 mm de diâmetro com velocidade de $2,4\text{ m/s}^2$, tipo cooler nas extremidades direita e esquerda da estrutura, um ventilador para exaustão o outro para isuflação.

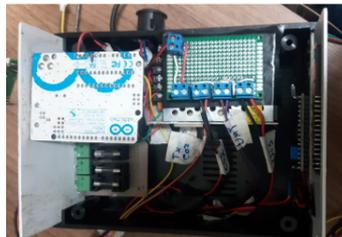
Figura 5: Base de testes.



Fonte: Autoria própria.

Foi construída uma central de automação e monitoramento do sistema, que pode ser integrada com o windows excel para o tratamento dos dados, criação de gráfico e dashboards.

Figura 6: Montagem do protótipo de renovação e monitoramento de CO_2 .



Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Protótipo da central de monitoramento e controle de CO_2 .



Fonte: Autoria própria.

Testes

Os testes dos ciclos de renovação de ar do sistema foram realizados com base no procedimento estabelecido na RE 09/2003 da ANVISA. O sensor digital infravermelho de CO₂ MH-Z19B foi instalado no interior da estrutura posicionado à 1,5 m do piso de acordo a recomendação da RE nº 09/2003 da ANVISA (ANVISA, 2003).

A RE 09/2003 estabelece que os testes de amostragem dos níveis de CO₂ devem ser pela leitura direta do sensor de CO₂ infravermelho (ANVISA, 2003).

Tabela 1: Parâmetros para testes de níveis CO₂ no ar interior.

Amostrador: Leitura Direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica.	
Calibração: Anual ou de acordo com especificação do fabricante.	Faixa: de 0 a 5.000 ppm.
	Exatidão: ± 50 ppm + 2% do valor medido

Fonte: Agência Brasileira de Vigilância Sanitária.

Foram realizados durante os testes foram realizados 3 ciclos de renovação do ar interior da base de testes, obedecendo os parâmetros estabelecidos pela RE 09/2003 da ANVISA que estabelece um numero amostral de 3 amostras a partir de 1000 m² de área construída (ANVISA, 2003).

Tabela 2: Determinação do número de amostras para testes de níveis de CO₂ no ar interior.

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3

Fonte: Agência Brasileira de Vigilância Sanitária.

Foi desenvolvido um sistema automatico de emissão de CO₂ que simula a produção humana do monóxido de carbono que de acordo com a Norma ABNT NBR 16401-3 o volume CO₂ produzido por uma pessoa em repuso é 0,31 L/min (ABNT NBR 16401-3)..

Figura 8: sistema automático de emissão CO₂



Fonte: Autoria própria.

O equipamento de emissão consiste em um cilindro de CO₂ de 10,8 Kg com um manômetro regulador de pressão e fechamento. A conexão com a base de testes foi feita com tubulação de cobre de 1/4" SCH 40. Foi colocada uma válvula solenoide na tubulação, responsável pela liberação do CO₂ na base. Para a automação do sistema Utilizando uma placa de arduino uno, um relé shield e uma botoeira de acionamento, para que a vazão do CO₂ que entra na Base de testes atendesse os 0,31 L/m. Para isso foi calculada a vazão do CO₂ para a tubulação de cobre de 1/4" através da equação 2.4 da ABNT NBR 16401-3.

Figura 9: Equação para cálculo de vazão do CO₂

$$V_0 = \frac{N}{(C_s - C_0)}$$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 16401-3.

Onde **V₀** representa a vazão de ar exterior por pessoa , **N** representa taxa de geração de CO₂ por pessoa = 0,31 L/min; **C_s** representa a concentração de CO₂ no recinto = 503 ppm segundo a indicação do display da central de controle e monitoramento; **C₀** representa a concentração de CO₂ no ar exterior = 450 ppm (ABNT NBR 16401-3).

Calculando os valores temos : $V = (0,31 \text{ L/min}) / (503\text{ppm} - 450\text{ppm}) = 0,006 \text{ L/min}$ ou 609,57 ppm. Para que a quantidade de escoamento do CO₂ para a base de testes estivesse de acordo com a quantidade emitida pelo metabolismo humano, foi cronometrado o tempo de abertura da válvula solenóide. Quando o a central de monitoramento indicou os níveis de

CO2 em 1500 ppm o a válvula foi fechada e o tempo foi contabilizado. Esse procedimento foi realizado 3 vezes e o tempo médio calculado para que o sistema automático de emissão de CO2 alcançasse 1000 ppm foi de 3 s. Esse tempo foi adicionado à programação de abertura automática da válvula.

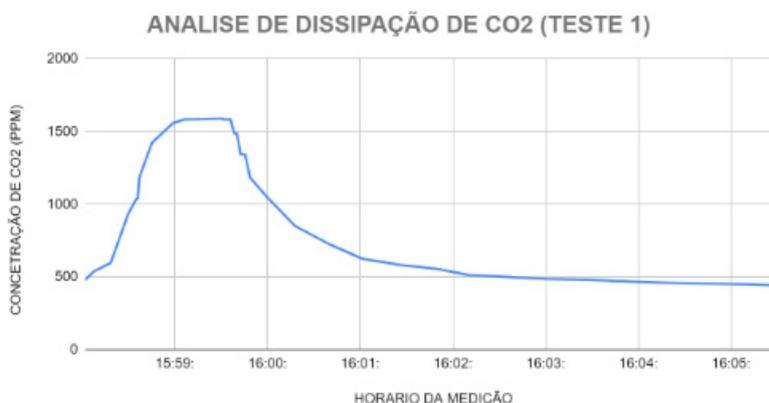
Em seguida foram realizados testes de funcionamento do sistema de renovação de ar. Os níveis de CO2 foram elevados rapidamente pelo sistema de automático de emissão de CO2 para 1500 ppm, que é valor que corresponde a produção em L/min, através do processo de respiração de duas pessoas em repouso.

Quando a taxa de CO2 no ambiente ultrapassou os 450 ppm o sistema de exaustão e insuflação funcionou automaticamente. Os níveis de CO2 no momento dos testes atingiram o pico de 1500 ppm, porém o sistema de renovação de ar se mostrou eficaz dissipando em poucos minutos o ar degradado com CO2 e inserindo ar limpo no ambiente interno da estrutura. No momento a taxa de CO2 atigiu os 450 ppm o sistema de renovação de ar ficou no modo stand by, completando o seu primeiro ciclo de renovação de ar. Foram coletadas 3 amostras de acordo com a RE 09/2003 da ANVISA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

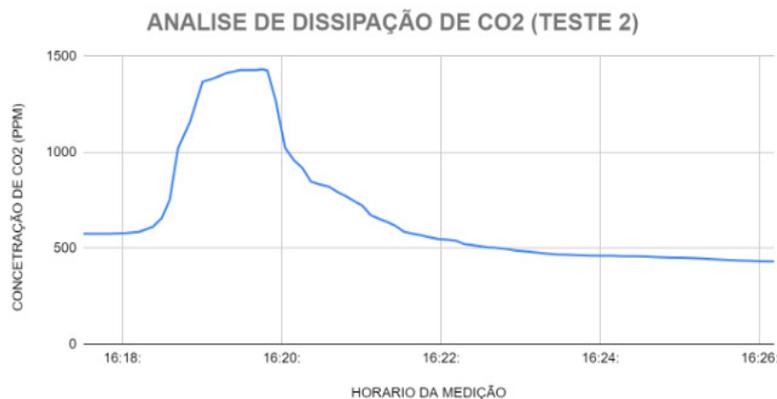
Os dados transmitidos pelo sensor de CO2 MH-Z19B para a central de controle e automação viabilizou a construção de gráficos para a análise da performance do sistema de renovação de ar. De acordo com medições coletadas o sistema operou com uma taxa de renovação de ar média de 6,3924 PPM/s de CO₂. O ciclo de renovação de ar do sistema levou em média 3 minutos para dissipar a quantidade de 1000 PPM de CO2 do ambiente interno da estrutura.

Gráfico 1: Análise da performance do protótipo no primeiro ciclo de renovação de ar.



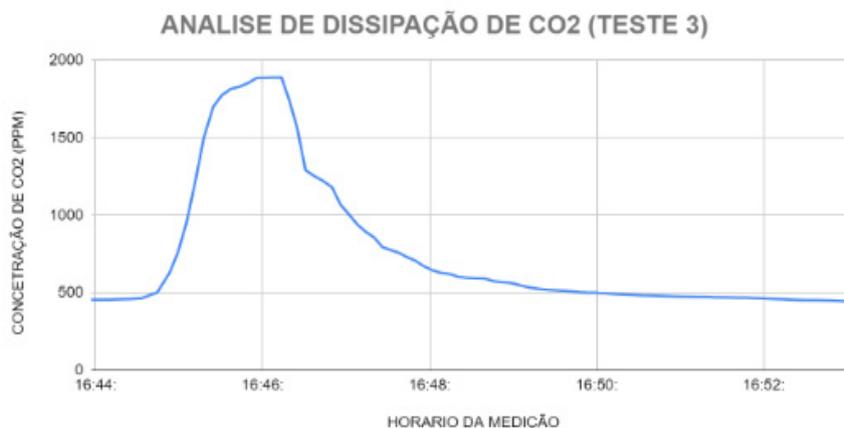
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 2: Análise da performance do protótipo no segundo ciclo de renovação de ar.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1: Análise da performance do protótipo no terceiro ciclo de renovação de ar.



Fonte: Autoria própria.

O sistema mostrou-se funcional e atende os parâmetros para controle e renovação de ar estabelecidos pelas normas NBR 16401, NBR 7256 e a RE 09/2003 da Anvisa, pois foi capaz de manter os níveis de CO₂ no ambiente interno em 450 ppm de forma autônoma e com baixo custo de produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo oferece uma estrutura significativa para avaliar objetivamente o desempenho do protótipo de sistema de renovação de ar em ambientes de saúde artificialmente climatizados, garantindo a confiabilidade dos resultados através de medidas precisas e análises estatísticas adequadas. O desenvolvimento deste projeto fomenta possíveis futuras pesquisas, como estudos mais longos ou abrangentes envolvendo aplicação direta do equipamento de renovação de ar em diferentes tipos de hospitais e

condições ambientais.

REFERÊNCIAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 9: Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo**. Farias, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários, parte 1: projeto das instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3. **Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários, parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7253. **Tratamento de ar em estabelecimentos assistências de saúde (EAS): Requisitos para projeto e execução das instalações**. Rio de Janeiro, 2021.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**; Novatec Editora, São Paulo, 2011.

SUZUKI, E. H.; PRADO, R. T. A. **Avaliação do Conforto Térmico e do Nível de CO2 em Edifícios de Escritório com Climatização Artificial na Cidade de São Paulo**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010. Anais. Canela, 2010.