



**XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**  
São Paulo Expo – 13 a 15 de setembro de 2023

**OTIMIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE SALAS DE CIRURGIA UTILIZANDO FLUXO DE AR UNIDIRECIONAL COM FOCO EM PROJETO, INSTALAÇÃO, PROTEÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.**

**PAPER 22**

**RESUMO**

O cuidado com a contaminação biológica em salas de cirurgia é uma preocupação crescente em linhas de pesquisa e desenvolvimento ao redor do planeta, isso porque a infecção hospitalar ainda representa ameaça relevante a saúde dos pacientes (WHO, 2020). Existem diversos estudos, ensaios e normas a respeito dos requisitos de projeto do sistema de condicionamento de ar de uma sala de operação, sendo que um dos sistemas mais recomendados para essa aplicação é o fluxo de ar unidirecional (TRAVERSARI, 2018). A análise dos perigos de contaminação através do ar nesses sistemas, em geral, é realizada através de simulação numérica computacional, porém, diversas considerações e simplificações desses modelos criam oportunidades de investigação experimental sobre os efeitos reais muitas vezes desprezados, para avaliação mais precisa dos riscos envolvidos (MEMARZADEH, 2003). Nesse contexto, este artigo traz como resultado valores otimizados dos parâmetros de projeto e melhores práticas de instalação, através de ensaios em uma sala de cirurgia simulada, equipada com fluxo de ar unidirecional, manequim aquecida (simulando o paciente), cirurgião e assistentes, sondas de termo anemômetros omnidirecionais, gerador de fumaça e contador de partículas. Com os resultados dos testes, sugerimos novos parâmetros de projeto objetivando maior proteção quanto a contaminantes no campo cirúrgico e ainda obtendo maior eficiência energética.

**Palavras-chave:** HOSPITAIS. CENTROS CIRÚRGICOS. UNIDIRECIONAL. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

**ABSTRACT**

Biological contamination precautions in operating rooms is a great worry in research and development lines around the world, because healthcare acquired infection still represents a relevant threat to the patients' health (WHO, 2020). There are several studies, tests and standards regarding the air conditioning design requirements in an operating room, and one of the most recommended systems for this application is the unidirectional air flow (TRAVERSARI, 2018). Air contamination in these systems, in general, is analyzed through computational numerical simulation, however, several considerations and simplifications of the models create opportunities for experimental investigation on the often-neglected real effects, for a more accurate assessment of the risks involved (MEMARZADEH, 2003). In this context, this article results in optimized values of design parameters and best installation practices, through tests in a simulated operating room, equipped with unidirectional airflow, heated mannequin (simulating the patient), surgeon and assistants, probes omnidirectional thermo anemometers, smoke generator and particle counter. With the results of the tests, we suggest new design parameters aiming at greater protection against contaminants in the surgical field and still obtaining greater energy efficiency.

**Keywords:** HOSPITALS. SURGERY THEATRES. UNIDIRECTIONAL. ENERGY EFFICIENCY.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a World Health Organization (2020) dos 234 milhões de pacientes que passam por cirurgia ao ano no mundo, 1 milhão vem a falecer por conta da infecção hospitalar. Isso demonstra como o controle de contaminação em ambientes de cirurgia é crítico, situação agravada em cirurgias ósseas e neurais, sendo que os possíveis mecanismos de infecção por bactérias presentes no ambiente cirúrgico são diversos e complexos (WANG C., et al, 2018).

As fontes de contaminantes são tratadas em diversas literaturas consagradas como em Lewis (1993) e Nobel et al. (1963) e podem ser resumidas em cinco: envoltória da sala de operação, paciente, equipe médica, instrumentos e fontes externas a sala.

Todas essas fontes propagam partículas nocivas através do ar ou por contato, portanto o controle aerodinâmico e de filtragem da atmosfera de uma sala de cirurgia é fundamental para a mitigação do risco de contaminação (TRAVERSARI, 2018).

O cuidado com a contaminação do ar em salas de cirurgia e seu controle mecânico possui os primeiros registros na década de 60, na ocasião com uso de exaustores e suprimento de ar naturalmente. Na mesma época, o senhor John Charnley consegue uma grande redução em infecções hospitalares através de um equipamento muito parecido com o fluxo unidirecional como hoje é conhecido. Pouco a pouco essa tecnologia foi avançando, com parâmetros mais adequados de velocidade, vazão, temperatura, nível de filtragem.

Hoje, o fluxo unidirecional é um dos mais recomendados para essa aplicação, uma vez que é possível controlar a direção das partículas em suspensão (JIYUN XU, 2013).

Jorge Zato (2019), fez um trabalho de revisão bibliográfica a respeito de normas e encontrou diversas divergências de informações e entendimento entre elas, tanto em relação ao tipo de difusão especificado como ao nível de pressão da sala, velocidade de fluxo de ar, temperatura, umidade relativa, nível de ruído e nível de filtragem (Tabela 1). A grande amplitude dos requisitos proporciona dúvidas de qual seria a especificação ótima em um projeto.

*Tabela 1 - Variação dos requisitos normativos para salas de cirurgia (Zato J., 2019)*

<b>Tipo de Fluxo</b>	Unidirecional (60% das normas) ou turbulento
<b>Velocidade</b>	0,17 - 0,45 m/s
<b>Temperatura</b>	16 - 26 °C
<b>Umidade Relativa</b>	20 - 70 %
<b>Nível de Ruído</b>	<35 dB(A) - <55 dB(A)

No Brasil a norma vigente para o projeto de ar condicionado em estabelecimentos essenciais de saúde (EAS) é a ABNT NBR 7256:2021. Esta norma estabelece para as salas de cirurgia pressão positiva, filtragem G4+F8+ISO35H(H13), temperatura entre 20 e 24°C, umidade de no máximo 60% e é classificada como classe de risco a saúde 3, o mais alto.

A grandeza utilizada para mensurar a contaminação é por meio da contagem do número e tamanho de partículas presentes no ar. Normas para ambientes controlados, como salas limpas (ABNT NBR ISO 14644-1:2019), classificam a limpeza do ar de acordo com estes critérios. A Tabela 2, indica a classe de limpeza em função da concentração e tamanho das partículas em suspensão no ar.

Tabela 2 - Classes de limpeza do ar – Adaptado ABNT NBR ISO 14644-1:2019

Número da Classe ISO (N)	Máximas concentrações permitidas (partículas/m <sup>3</sup> ) para partículas iguais ou maiores do que os tamanhos considerados abaixo					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
4	10.000	2.370	1.020	352	83	-
5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	-
6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
7	-	-	-	352.000	83.200	2.930
8	-	-	-	3.520.000	832.000	29.300
9	-	-	-	35.200.000	8.320.000	293.000

A análise dos perigos da contaminação através do ar nesses sistemas, em geral, é realizada através de simulação numérica computacional, que proporciona uma boa aproximação do comportamento aerodinâmico das partículas. Porém normalmente, diversas considerações e simplificações nessas simulações como, assumir a sala como isotérmica, efeitos das fontes de calor e geometrias em movimento (pessoas e equipamentos) apresentadas como desprezíveis, ignorar o efeito da envoltória, dentre outras, criam oportunidades de investigação experimental com o objetivo de avaliar de forma mais precisa estes efeitos, riscos e requisitos (MEMARZADEH, 2003).

## 2 OBJETIVO

Esse artigo objetiva desenvolver ensaios de laboratório em uma sala de cirurgia simulada, o mais próximo possível da operação real, para determinar os parâmetros ótimos de velocidade do ar no fluxo unidirecional, para diferentes condições de temperatura e pé-direito.

## 3 METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios experimentais propostos estabelecemos o ambiente de simulação prática da sala de cirurgia. Uma sequência de três ensaios diferentes foi estabelecida: determinação da direção do fluxo de ar, gradiente de velocidades e contagem de partículas no campo cirúrgico.

### 3.1 INFRAESTRUTURA

A Figura 1 apresenta de forma esquemática a infraestrutura montada para os testes dentro do laboratório de ensaios TROX Academy, em Curitiba-PR, Brasil. O equipamento utilizado para movimentação e controle do suprimento de ar foi uma UTA (unidade de tratamento de ar) com controle de vazão de ar e de água gelada, permitindo assim controlar as grandezas de vazão de ar e temperatura de forma automática. A umidade do ar foi monitorada e mantida entre 20 e 60%. O ar foi conduzido por um duto principal (o duto possui um trecho retrátil para possibilitar o controle da altura final da instalação) com ramais controlados por unidades VAV (volume de ar variável), sendo que cada ramal controla a vazão de uma caixa filtrante contendo um filtro HEPA ISO35H (H13). As caixas formam um forro filtrante de aproximadamente 2400x2400mm acima da mesa cirúrgica (simulada). Sobre a mesa de cirurgia foi posicionado um manequim com temperatura controlada através de resistências elétricas mantidas a aproximadamente 36°C, para simular um paciente em cirurgia.

Figura 1 - Diagrama esquemático da Infraestrutura de Testes. (Autores, 2023)

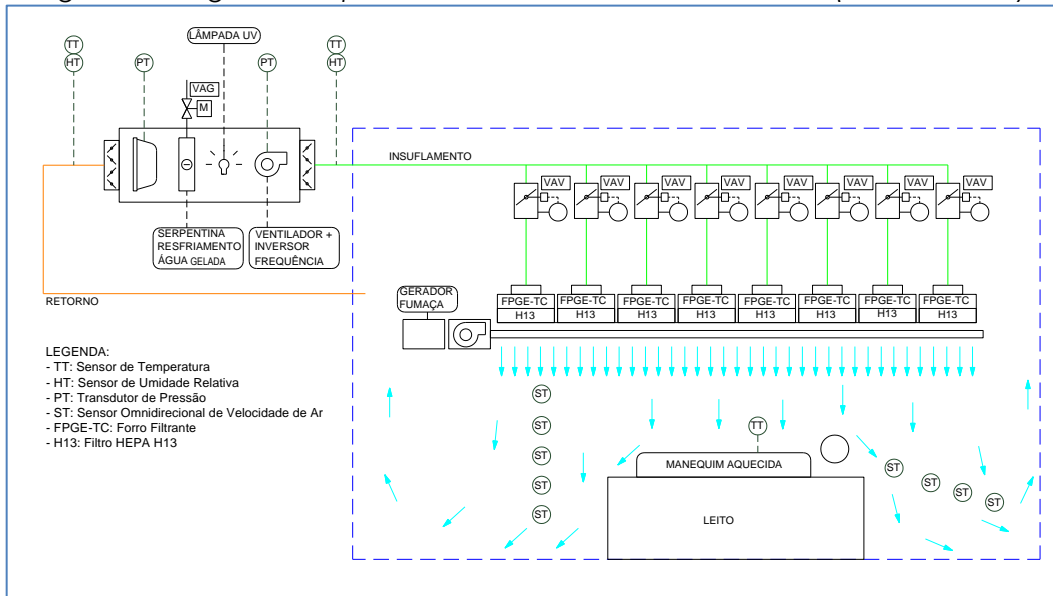


Figura 2 - Instalação. (Autores, 2023)



Os sensores omnidirecionais V1 a V8 foram posicionados a partir de testes prévios que determinaram o local mais representativo para o ensaio (Figura 2).

Uma área de “campo cirúrgico” foi estabelecida sobre o manequim na região da pélvis, sobre a qual, um bocal captor padronizado foi estrategicamente posicionado para captar partículas em suspensão medidas com um contador de partículas (Figura 3).

Dentro do “campo cirúrgico” também foi posicionado um tubo com o objetivo de simular contaminantes oriundos do próprio paciente. A contaminação foi obtida injetando ar contaminado com particulado atmosférico (ar externo) através de uma pequena bomba de baixa vazão.

Além da manequim e do tubo de injeção de contaminantes, um voluntário paramentado e, com as mãos devidamente higienizadas, realizou movimentos similares aos praticados por um cirurgião dentro do “campo cirúrgico” para simular diferentes condições de risco de contaminação.

Figura 3 – Campo cirúrgico. (Autores, 2023)



## 3.2 ENSAIOS

### 3.2.1 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DO FLUXO DE AR

Através de fumaça gerada por equipamento apropriado e distribuída através de tubulações, especificamente projetadas e construídas, conforme mostrado na Figura 2, foram visualizadas linhas de condução em diferentes velocidades de ar, temperaturas, alturas do forro filtrante e direcionadores (Tabelas 3 e 4).

A velocidade de saída da fumaça nos tubos foi medida com termo anemômetro a fim de obter uma velocidade similar há do fluxo de ar. Esta medição é muito difícil e imprecisa devido as dimensões dos tubos e do sensor, pelo que podemos apenas afirmar que são semelhantes.

Os diferentes testes tiveram suas imagens coletadas através de câmeras posicionadas no ambiente. O rastro visual do caminho aerodinâmico evidenciado pelas partículas de fumaça, permitiram analisar diferentes efeitos.

Tabela 3 - Impacto dos direcionadores. (Autores, 2023)

Bateria de Testes	Configuração
1	Com direcionador em todo perímetro com 300 mm de altura
2	Sem direcionador

Tabela 4 – Diferentes Condições de Teste. (Autores, 2023)

	Velocidade Setpoint do Ar para Teste (m/s)	Temperatura Insuflamento (°C)	Altura do forro filtrante (m)
Teste 1	0,10	19	2,7
Teste 2	0,15	19	2,7
Teste 3	0,25	19	2,7
Teste 4	0,35	19	2,7
Teste 5	0,45	19	2,7
Teste 6	0,10	22	2,7
Teste 7	0,15	22	2,7
Teste 8	0,25	22	2,7
Teste 9	0,35	22	2,7
Teste 10	0,45	22	2,7
Teste 11	0,10	24	2,7
Teste 12	0,15	24	2,7
Teste 13	0,25	24	2,7
Teste 14	0,35	24	2,7
Teste 15	0,45	24	2,7
Teste 16	0,10	19	3,15
Teste 17	0,15	19	3,15
Teste 18	0,25	19	3,15
Teste 19	0,35	19	3,15
Teste 20	0,45	19	3,15
Teste 21	0,10	22	3,15
Teste 22	0,15	22	3,15
Teste 23	0,25	22	3,15
Teste 24	0,35	22	3,15
Teste 25	0,45	22	3,15
Teste 26	0,10	24	3,15
Teste 27	0,15	24	3,15
Teste 28	0,25	24	3,15
Teste 29	0,35	24	3,15
Teste 30	0,45	24	3,15

### 3.2.2 GRADIENTES DE VELOCIDADES DO AR

Foram coletadas as velocidades do ar em 8 pontos através de sensores omnidirecionais para cada velocidade de *setpoint*, temperatura, alturas do forro filtrante e direcionadores (Tabelas 3 e 4). Os dados de velocidade foram coletados através de *hardware* de interface e o *software* de planilhas eletrônicas Microsoft Excel®. A amostragem de dados ocorreu a cada 01 (um) segundo.

### 3.2.3 MEDIÇÃO DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

Foram realizadas medições de contagem de partículas, para cada velocidade de *setpoint*, temperatura, alturas do forro filtrante e direcionadores (Tabelas 3 e 4) e adicionalmente avaliando as quatro condições indicadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Condições de ensaio de contaminantes particulados. (Autores, 2023)

Bateria de Testes	Configuração
1	Sem a presença do "cirurgião" e sem geração de contaminantes
2	Com a presença do "cirurgião" e sem geração de contaminantes
3	Sem a presença do "cirurgião" e com geração de contaminantes
4	Com a presença do "cirurgião" e com geração de contaminantes

## 4 DADOS COLETADOS E ANÁLISES

### 4.1 DIREÇÃO DO FLUXO DE AR

A Figura 6 demonstra como os dados visuais foram obtidos, e na sequência, a Figura 7 demonstra como foi a sua interpretação e comparação. Os vídeos de todos os ensaios listados da Tabela 4 foram submetidos a esta análise obtendo as comparações, conforme indicado na Tabela 6. Nas comparações de velocidades para 19°C de insuflamento, verifica-se que o maior impacto para o fluxo unidirecional ocorre em velocidades abaixo de 0,25 m/s. Sendo que mesmo assim, nessa temperatura, os momentos de turbulência formados são eventuais. Nas mais baixas velocidades a temperatura mais fria favorece o efeito pistão e a formação das veias de ar no sentido ideal de fluxo.

Figura 6 - Resultado Visual dos Testes de Fumaça (Autores, 2023)

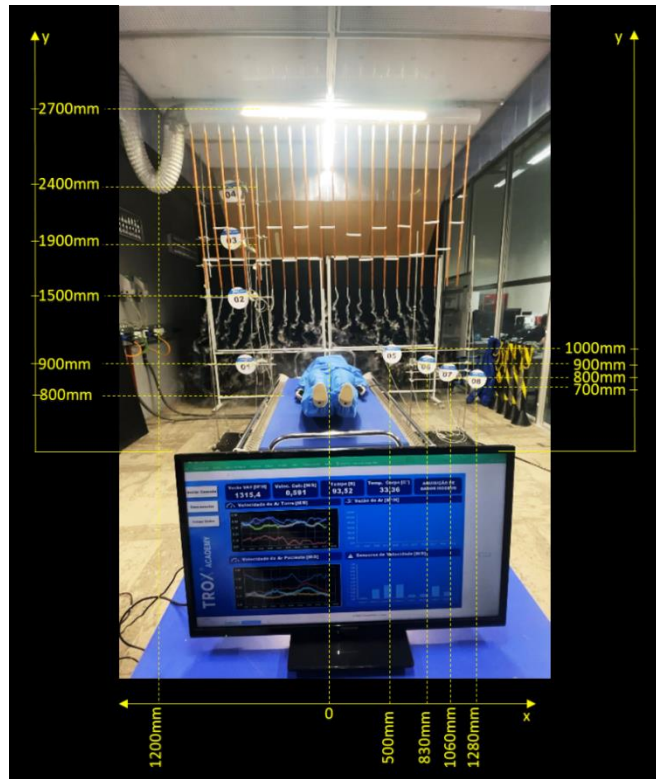


Figura 7- Comparações Aerodinâmicas para Diferentes Testes (Autores, 2023)

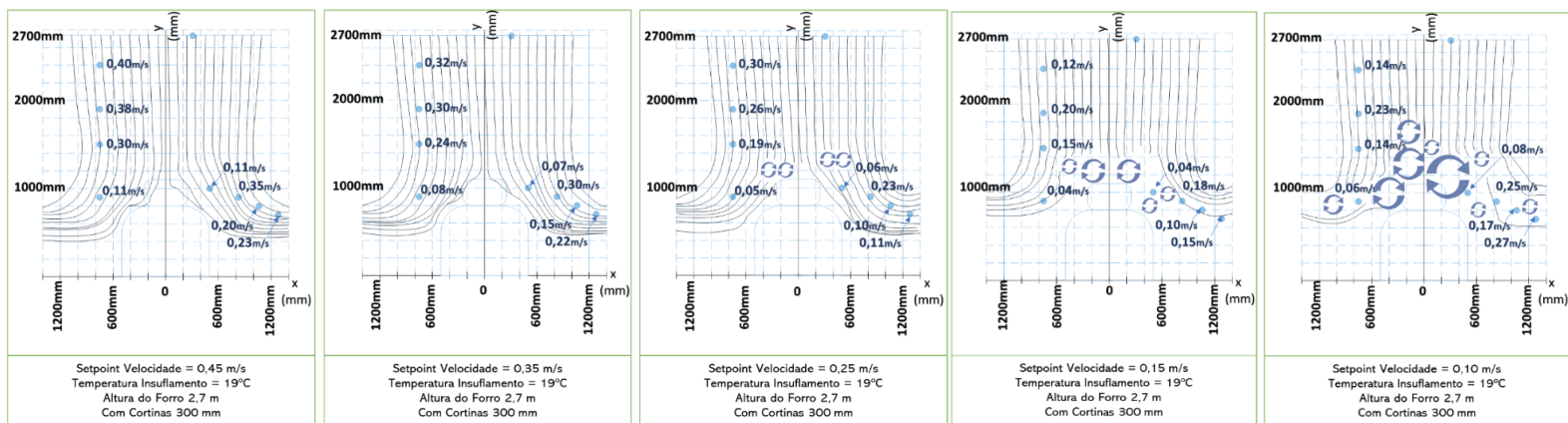


Tabela 6 - Análise visual de homogeneidade (Autores, 2023)

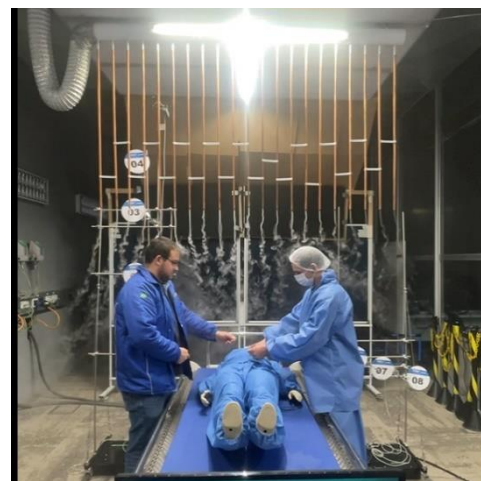
Direcionador	Temperatura Insuflamento (°C)	Setpoint de Velocidade (m/s)	Homogeneidade à 2,7 m	Homogeneidade à 3,15 m
Sem direcionador	19	0,10	Inexistente	Inexistente
		0,15	Instável	Instável
		0,25	Boa	Instável
		0,35	Muito boa	Boa
		0,45	Muito boa	Muito boa
	22	0,10	Inexistente	Inexistente
		0,15	Inexistente	Inexistente
		0,25	Boa	Instável
		0,35	Muito boa	Boa
		0,45	Muito boa	Muito boa
	24	0,10	Inexistente	Inexistente
		0,15	Inexistente	Inexistente
		0,25	Instável	Inexistente
		0,35	Boa	Instável
		0,45	Boa	Boa

Os testes comparativos do forro filtrante com e sem direcionador tiveram comportamento muito semelhante entre si o que indicou a indiferença de sua aplicação. Na Tabela 6 é possível observar os diferentes efeitos aerodinâmicos para diferentes temperaturas, velocidades e alturas do forro filtrante.

Com a altura de 3,15 m, foram realizados ensaios adicionais com a presença do “cirurgião” (voluntário) no fluxo de fumaça para identificar os efeitos na dispersão do fluxo. Na Figura 8, é possível observar um desses testes.

Um resultado interessante de observar é a influência do uso de máscaras da equipe médica. A respiração livre tem efeito relevante na dispersão do ar e que reforça a importância do uso desse item.

Figura 8 - Testes de Fumaça com "equipe" na sala (Autores, 2023)



#### 4.2 GRADIENTE DE VELOCIDADES DO AR

A Figura 9 mostram o gradiente de velocidade medido em X e Y através dos sensores V1 a V8 para as diferentes temperaturas, altura de forro de 2,7m e sem direcionador. Analisando os dados podemos observar alguns efeitos importantes.

Nos sensores V5 a V8 posicionados no eixo X, notamos uma estagnação nas velocidades medidas no sensor V4, proporcional a velocidade do fluxo de ar medido no sensor V5. Isto pode ser explicado pela mudança de direção do fluxo de ar (gerando pressão positiva) sobre o paciente e pela pena de ar quente oriunda do mesmo. Já no sensor V8 há uma aceleração que pode ser explicada pela junção das linhas de fluxo de ar desviadas para a lateral. Desta forma, os dados obtidos numericamente corroboram as observações realizadas com fumaça.



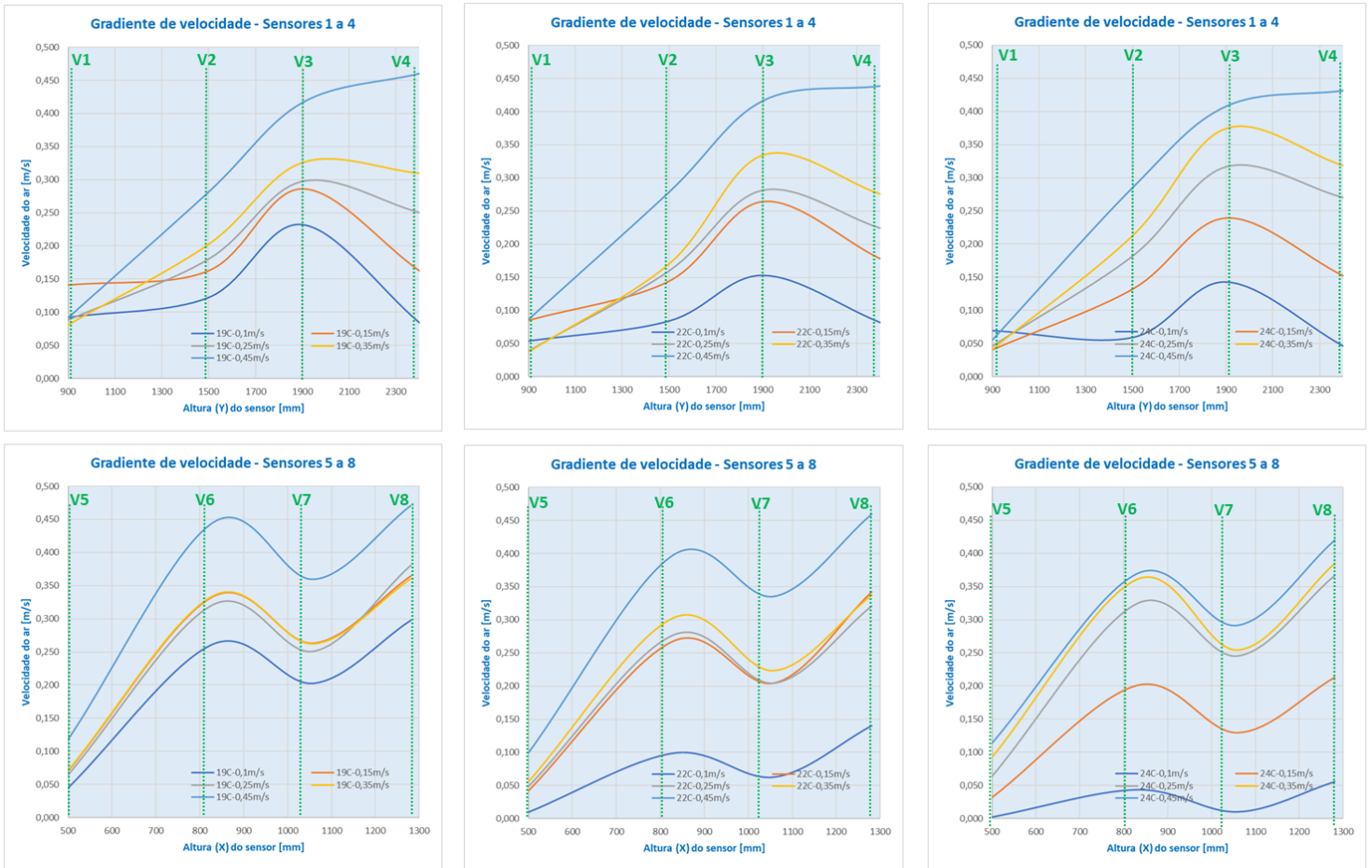


Figura 9 – Gradiente de velocidades a 19 °C, 22°C e 24°C, 2,7m e sem direcionador (Autores, 2023)

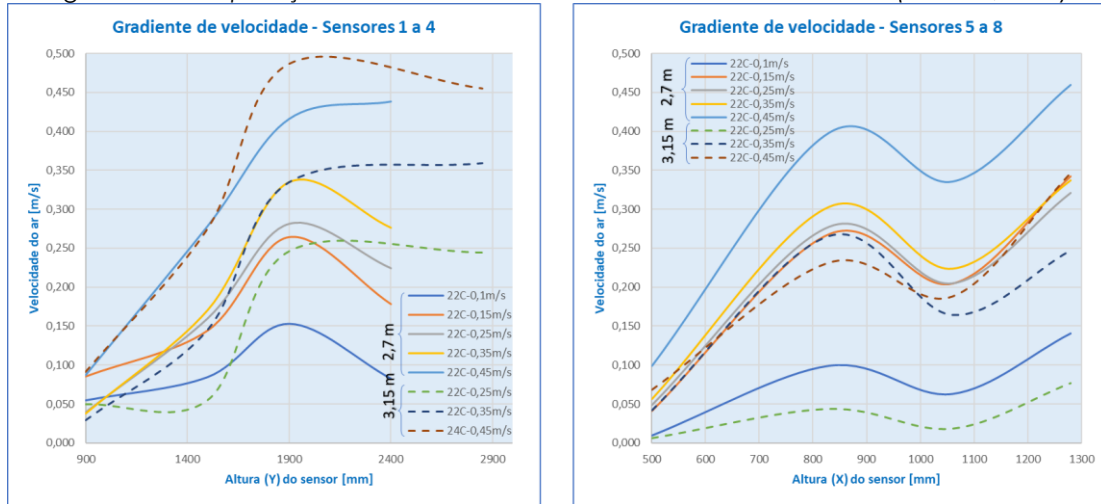
É possível também comparar as velocidades de ar nas diferentes alturas do forro. Na Figura 12 alguns dos testes foram comparados. Nota-se que o gradiente de velocidade é afetado em todas as condições de teste e tem seu ponto de estagnação (mudança de direção) modificado. Em temperaturas mais baixas, essa mudança é leve, mas em temperaturas mais altas transformou uma condição boa em 2,7 m para instável ou mesmo sem homogeneidade na altura de 3,15m.

Isso deve ser observado com cuidado nos projetos de sala de cirurgia, pois o fluxo unidirecional pode não atingir o “campo cirúrgico” e toda a instalação existente perder seu propósito.

Outras conclusões são importantes da Figura 12. Nota-se que a aceleração das linhas de fluxo causadas pelo estreitamento do “sino” ocorre, porém de forma mais atenuada. Além disso, nota-se que no sensor V1 com o forro a 3,15 m, a velocidade é muito baixa com o setpoint já com 0,25 m/s, ou seja, o espectro de possibilidade de uso do equipamento é restrito a velocidades maiores que 0,25 m/s a depender da temperatura, que pode elevar ainda mais essa velocidade.

Essa velocidade muito próxima a zero pode ser observada também nos sensores 05 a 08 no teste com 0,25 m/s. O que demonstra que a área abaixo dos sensores V5 a V8 não está coberta pelo fluxo unidirecional.

Figura 12 - Comparações de Velocidades em Alturas diferentes do Forro (Autores, 2023)



### 4.3 CONTAMINANTES PARTICULADOS

A Tabela 7 dispõe os resultados obtidos com contador de partículas nas diferentes situações previstas. Nela os dados obtidos são muito claros e nos permitem entender o principal gerador de contaminantes que é o cirurgião, devido certamente a sua dinâmica de movimentação. Também nos permite afirmar que a temperatura de insuflamento e a altura do forro filtrante afetam significativamente os resultados.

Desta forma, é possível estabelecer que na pior das hipóteses é possível alcançar em qualquer condição um grau de limpeza ISO 5 a 6 em repouso e ISO 5 a 7 em operação, o que é um excelente resultado. Este resultado certamente não poderia ser alcançado com sistemas de regime turbulento.

Tabela 7 - Análise com contador de partículas (Autores, 2023)

Temperatura Insuflamento Média (°C)	SetPoint Velocidade Forro (m/s)	Altura do Forro (m)	SEM CONTAMINAÇÃO	COM CONTAMINAÇÃO	COM MÉDICO	COM MÉDICO E CONTAMINAÇÃO		
19,2	0,10	2,7	ISO 5	ISO 5	ISO 6	ISO 6		
19,5	0,15	2,7						
18,7	0,25	2,7						
20	0,35	2,7			ISO 5	ISO 5	ISO 5	
19,5	0,45	2,7						
22,7	0,10	2,7			ISO 6	ISO 6	ISO 6	
22,7	0,15	2,7						
22,1	0,25	2,7						
22,2	0,35	2,7			ISO 7	ISO 7	ISO 7	
22,3	0,45	2,7						
23,5	0,10	2,7			ISO 5	ISO 5	ISO 6	ISO 7
23,7	0,15	2,7						
23,5	0,25	2,7						
23,4	0,35	2,7			ISO 5	ISO 5	ISO 5	ISO 5
24	0,45	2,7						
19,2	0,10	3,15	ISO 5	ISO 5	ISO 7	ISO 7		
19,5	0,15	3,15			ISO 6			

18,7	0,25	3,15				ISO 6	
20	0,35	3,15					
19,5	0,45	3,15					ISO 5
22,7	0,10	3,15			ISO 7	ISO 7	
22,7	0,15	3,15					
22,1	0,25	3,15					
22,2	0,35	3,15					
22,3	0,45	3,15					
23,5	0,10	3,15			ISO 6	ISO 7	ISO 7
23,7	0,15	3,15					
23,5	0,25	3,15					
23,4	0,35	3,15					
24	0,45	3,15	ISO 5	ISO 5	ISO 6		

## 5 CONCLUSÕES

Os testes foram realizados em uma condição específica, e sabe-se que a dinâmica de uma sala de cirurgia é muito variada. Outros fatores como o número e o posicionamento das pessoas na sala, higiene, temperatura do paciente, velocidade de deslocamento nas atividades e outros focos de calor, podem influenciar os resultados.

Entretanto, o objetivo principal de um fluxo unidirecional em uma sala de cirurgia é minimizar a contaminação na região do campo cirúrgico, e os dados comprovam que este permite mitigar estes riscos, e com a ajuda de outros cuidados médico hospitalares, permitirão o resultado desejado de prevenir a contaminação do paciente durante a cirurgia.

Os dados obtidos e a experiência sensorial durante os ensaios nos permitem várias conclusões extremamente relevantes.

A primeira delas é a confirmação da não necessidade de direcionador de ar. Os resultados obtidos nos permitem afirmar que o desempenho com e sem direcionador é muito semelhante. No entanto, é necessário observar que esta conclusão serve para retornos de ar posicionados a uma significativa distância do forro filtrante. Em condições em que o retorno se encontra na área perimetral adjacente ao forro filtrante é muito provável que o direcionador seja necessário e este teste será realizado futuramente de forma complementar para comprovar esta teoria.

A segunda constatação é de que a temperatura do ar insuflado afeta em muito o desempenho do fluxo unidirecional, então todas as literaturas e normas que estabelecem valores fixos podem ser questionadas. Em seu lugar devemos considerar uma relação temperatura do ar insuflado *versus* sua velocidade. Abaixo tabela contendo esta relação:

Tabela 8 - Temperatura vs Velocidade do Ar (Autores, 2023)

Direcionador	Estado	Altura do Forro (m)	Temperatura Insuflamento (°C)	Setpoint de Velocidade (m/s)
Sem	Ocupado	2,7 a 3,15m	18-20	0,25
			20-22	0,30
			22-24	0,35
	Desocupado		18-24	0,10

Neste sentido, sistemas automáticos podem controlar a velocidade de insuflamento em função da temperatura da sala, obtendo assim o melhor desempenho com o menor consumo energético. Isso permite uma garantia de funcionamento nas mais diferentes condições de uma sala de cirurgia. Por exemplo, salas de realizações de partos do tipo cesárea, em geral, são

reguladas com temperaturas mais altas para maior segurança e conforto do bebê; um sistema automático regularia também a velocidade do ar em função da temperatura da sala desta forma mantendo o grau de limpeza no campo cirúrgico.

A terceira conclusão está relacionada a sala em repouso (sem paciente e equipe médica). Teoricamente, em salas de cirurgia não é possível desligar o ar condicionado, pois é necessário manter a cascata de pressão da sala para impedir a entrada de contaminantes externos e assim preservar a assepsia do local. Desta forma, podemos concluir que apenas uma velocidade de 0,10m/s é suficiente para este objetivo, propiciando a diminuição do consumo de energia. Com a utilização de sistemas automáticos é possível controlar dois estados, ocupado e desocupado com velocidades conforme Tabela 8, o que resulta em grande redução do consumo de energia.

Graças aos resultados obtidos na Tabela 7 é possível afirmar que, mesmo com as turbulências constatadas na Figura 7, o efeito envoltório do fluxo unidirecional minimiza a dispersão dos contaminantes, ao ponto de poder afirmar que mesmo com uma velocidade muito baixa de 0,10m/s se obtém uma proteção relevante. Mas, é importante levar em consideração que quanto maior a velocidade do fluxo de ar, maior a proteção obtida, e considerando que movimentações mais bruscas dos médicos podem ser observadas, deve-se adicionar um coeficiente de segurança aos resultados. E foi desta forma que foram selecionados os resultados da Tabela 8.

Outra constatação é a de que o uso de máscaras pelo médico e assistentes é fundamental pois a sua respiração desvia o fluxo de ar a sua frente aumentando a possibilidade de contaminação do campo cirúrgico. Este resultado apenas reforça o que a medicina já conhece sobre o uso de máscaras e é um assunto que foi bastante explorado durante a recente pandemia mundial de Covid-19 (2019-2023).

A Tabela 8 representa o resultado final deste estudo que poderá influenciar a complementação de normativas na área. Outros ensaios complementares serão conduzidos futuramente para ampliar ainda mais o conhecimento já obtido.

## REFERÊNCIAS

Safety, WHO Patient, and World Health Organization. *WHO guidelines for safe surgery 2020: safe surgery saves lives*. No. WHO/IER/PSP/2008.08-1E. World Health Organization, 2020.

Traversari, Roberto. "Aerogenic Contamination Control in Operating Theatres."

Memarzadeh, Farhad. "Reducing risks of surgery." *ASHRAE journal* 45.2 (2003): 28.

Wang, Cong, Sture Holmberg, and Sasan Sadrizadeh. "Numerical study of temperature-controlled airflow in comparison with turbulent mixing and laminar airflow for operating room ventilation." *Building and Environment* 144 (2018): 45-56.

Zato, Jorge. "ESTUDO COMPARATIVO DE NORMAS E RECOMENDAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS APLICADAS AO AR CONDICIONADO DE CENTROS CIRÚRGICOS – TEMPERATURA, UMIDADE, VELOCIDADE DO AR, PRESSURIZAÇÃO, RUIDO E PROTEÇÃO MICROBIOLÓGICA", Paper 44, VI CONBRAVA (2019)

ABNT NBR ISO 14644-1 (2019) – Salas limpas e ambientes controlados associados – Parte 1: Classificação da limpeza do ar.