



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS



CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

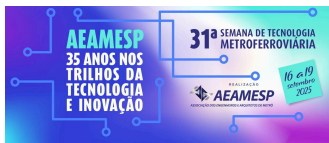
AUMENTO DA VELOCIDADE DE INSUFLAMENTO DO AR-CONDICIONADO

NOS TRENS SÉRIE 7000

SOBRE OS AUTORES

Rafael Montes do Amaral - Engenheiro mecânico com formação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), concluído em 2016. Possui uma certificação internacional em Gestão de Sistemas Ferroviários e Metroferroviários, obtida entre 2022 e 2024, através da Deustch Bahn e do Instituto de Transporte e Logística (ITL). Atualmente, Rafael atua como Consultor de Engenharia – Material Rodante na empresa MOTIVA desde julho de 2024. Anteriormente, ele ocupou a posição de Gerente de Manutenção – Material Rodante, Engenheiro de Manutenção e Analista de Planejamento e Controle de Manutenção no VLT Carioca, totalizando quase 10 anos de atuação no setor.

Paulo Sergio Florentino da Silva - Profissional com formação em Tecnologia em Sistemas Elétricos pelo Instituto Federal de São Paulo, concluído em 2023. Também possui formação técnica em Automação pela ETEC Santo Amaro (2013) e em Eletrônica pela ETEC Zona Sul (2010). Atualmente, Paulo atua como Analista de Engenharia –



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Material Rodante na MOTIVA desde janeiro de 2024. Anteriormente, ele ocupou a posição de Analista de Engenharia – Confiabilidade na mesma empresa (2022-2024). Sua experiência na VIA QUATRO incluiu o cargo de Agente de Engenharia – Indicadores (2022-2024), e antes disso, trabalhou como Agente de Manutenção – Material Rodante (2018-2021) e Agente de Manutenção – Restabelecimento (2011-2018).

Gabriel de Souza Pereira dos Santos - Profissional com formação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE), concluída em 2020. Ele também possui uma pós-graduação em Gestão de Pessoas pela Faculdade Metropolitana, concluída em 2024, e uma pós-graduação lato sensu em Automação e Controle pelo SENAI, concluída em 2023. Atualmente, Gabriel atua como Analista de Engenharia de Manutenção na MOTIVA desde maio de 2024. Anteriormente, ele ocupou a posição de Técnico de Atendimento e Manutenção (2021-2024) na mesma empresa. Sua experiência profissional também inclui o cargo de Técnico Montador na Delgo Metalúrgica (2018-2021), e antes disso, Operador de Máquinas na Urba Brosol IBBA (2017-2018).



AUMENTO DA VELOCIDADE DE INSUFLAMENTO DO AR-CONDICIONADO NOS TRENS SÉRIE 7000

1. INTRODUÇÃO

A Série 7000 de trens metropolitanos do Estado de São Paulo consiste em um Material Rodante do tipo Trem Unidade Elétrico (TUE), construída pela CAF¹. A formação é composta por 2 TUEs de 4 carros acopladas, formando uma composição de 8 carros. O contrato consistiu na fabricação de 40 composições de 8 carros, cujo projeto e fabricação se deu entre os anos de 2009 e 2011 e os primeiros trens começaram a operar

¹ CAF - Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A. é uma empresa situada em Beasain, País Basco, Espanha, dedicada a fabricação de equipamento ferroviário



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

em 2010. Atualmente, 19 trens da Série 7000 operam nas Linhas 8 – Diamante e 9 – Esmeralda, com idade média próxima a 15 anos e quilometragem acumulada superior a 2 milhões de quilômetros.

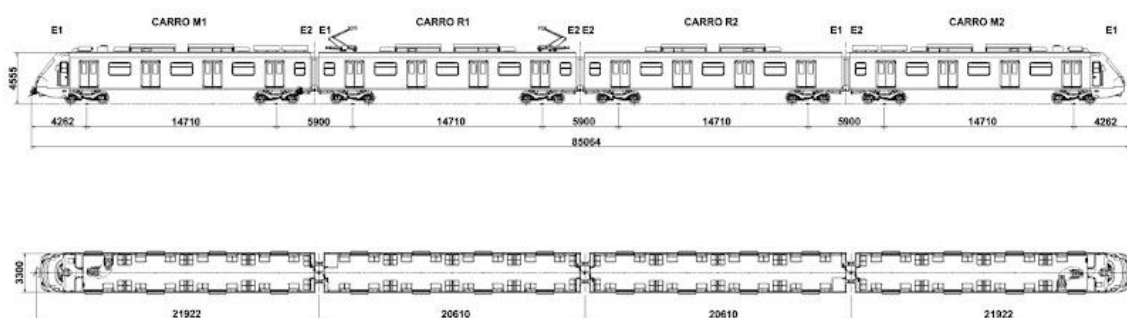


Figura 1 – TUE Série 7000. Fonte: Manual Trem 7000

Naturalmente, ao longo do ciclo de vida de um ativo como um Material Rodante ferroviário, com vida estimada entre 30 e 40 anos, algumas modernizações nos sistemas embarcados se fazem necessárias. Este trabalho trata de uma proposta de modificação do sistema de Ar-condicionado embarcado para a frota de trens Série 7000 que circulam nas linhas 8 – Diamante e 9 - Esmeralda, buscando melhorias no conforto dos clientes.

Com a tendência de aumento de temperatura nas grandes metrópoles do Brasil, os sistemas de Ventilação e Refrigeração dos trens tornam-se sistemas essenciais tanto para a operação quanto para o conforto dos usuários, exigindo atenção especial no que se refere à manutenção e à necessidade de modernizações, seja em face do tempo de vida do ativo, ou em face de novas condições de contorno e operacionais que se apresentem.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

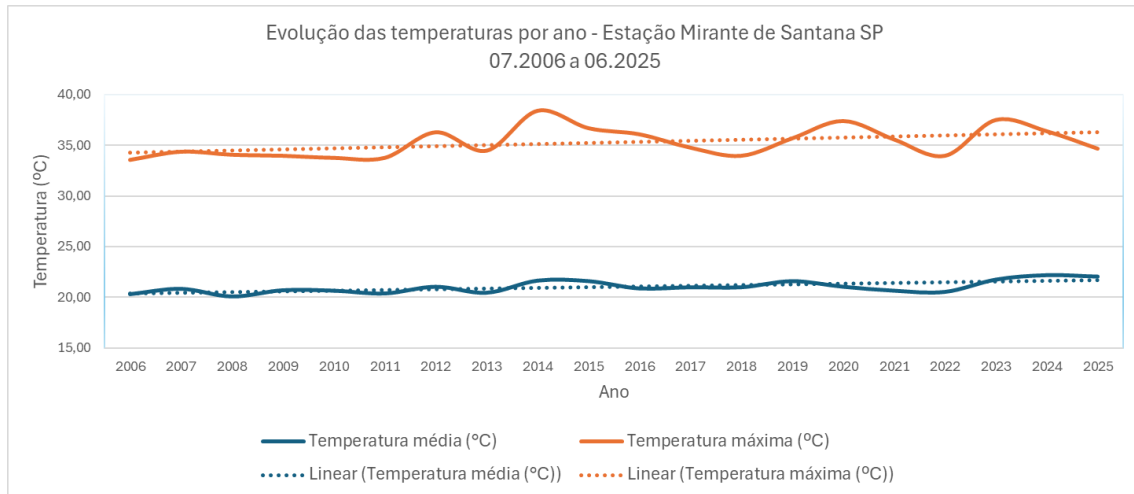


Figura 2 – Medições de Temperatura ao longo dos anos. Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>

Atualmente a maior parte dos trens em operação no Brasil possui um sistema de refrigeração embarcado, usualmente a partir de duas máquinas por carro, em ciclo de compressão de vapor e ventilação forçada do ar tratado (ar refrigerado).

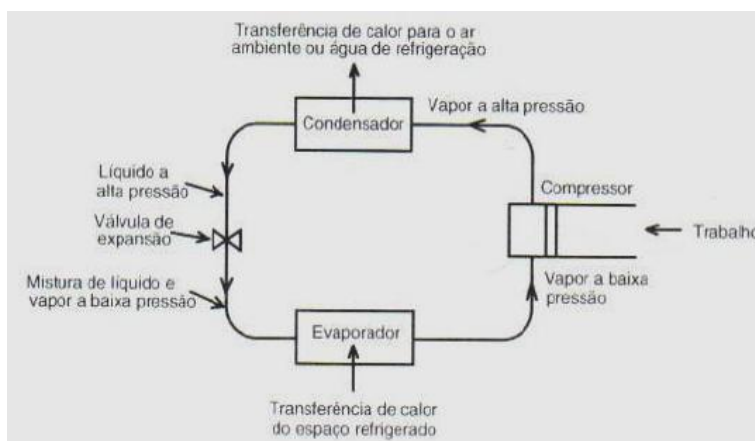


Figura 3 – Circuito de Refrigeração simplificado. Fonte: Autor

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

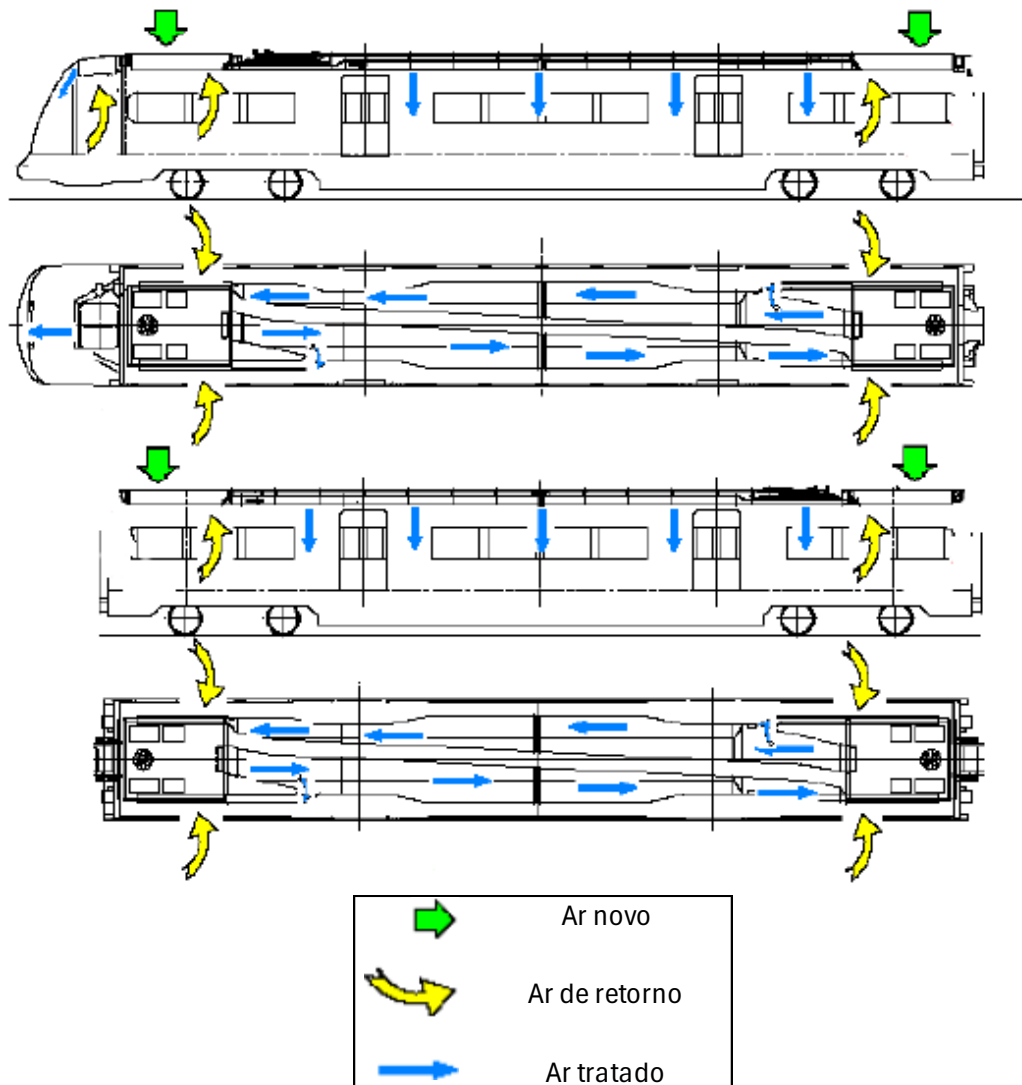


Figura 4 – Exemplo de fluxo de ar em Material Rodante ferroviário de passageiros.
Fonte: Manual Trem 7000

O sistema, na Figura 3, retrata de forma genérica o ciclo de trabalho do equipamento de ar-condicionado, semelhante ao utilizado nos trens série 7000. Similar a Figura 4, cada salão dispõe de dois equipamentos compactos, montados sobre o teto na extremidade do carro. Cada equipamento possui dois circuitos independentes de refrigeração e uma impulsão de ar tratado em uma das extremidades de cada equipamento.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

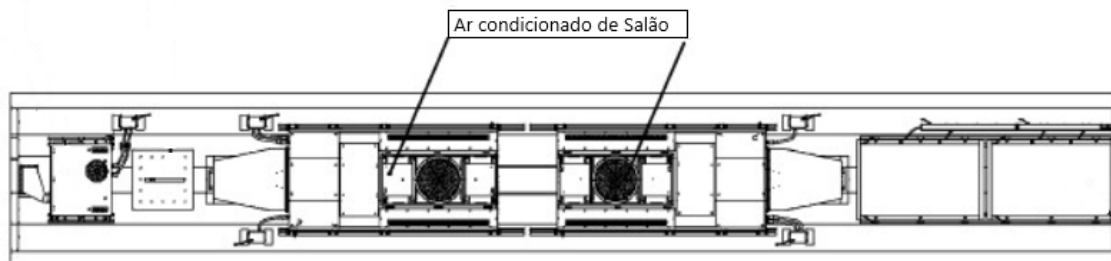


Figura 5 – Localização dos equipamentos de ar-condicionado Série 7000. Fonte: Manual Trem 7000.



Figura 6 – Detalhe dos equipamentos de ar-condicionado Série 7000. Fonte: Autor.

Cada equipamento possui características nominais, conforme tabela abaixo:

Tabela 1 – Características técnicas do Ar-condicionado. Fonte: Manual do trem 7000.

Equipamento compacto de ar-condicionado por carro	02 máquinas, 04 circuitos
Potência	44,4 KW
Vazão de ar impulsionado	5.100 m³/h
Vazão de ar de retorno	3.800 m³/h
Vazão de ar exterior	1.300 m³/h
Fluido refrigerante	R-407C
Regulação de potência de refrigeração	0%, 25%, 50%, 75% e 100%
Quantidade de refrigerante por circuito	6,3 +/- 5% Kg



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A norma ferroviária EN14750 - *Air conditioning for urban and suburban rolling stock* estabelece os parâmetros e metodologia de testes para grandezas de conforto aos passageiros em ambiente ferroviário, entre eles: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa, temperatura das superfícies interiores.

Os trens da série 7000 historicamente apresentam queixas de usuários quanto a sensação de baixa ventilação dentro do salão de passageiros, mesmo em condições que os parâmetros de refrigeração, notadamente a temperatura interior, estão dentro das faixas de conforto. Considera-se que o parâmetro de velocidade do ar é uma grandeza subjetiva, na qual parte dos usuários pode considerar a sensação de “vento” no interior do carro como algo incômodo, bem como parte dos usuários pode considerar uma maior velocidade do ar insuflado como mais adequado. Foi identificado ainda que, no momento da especificação técnica para aquisição de Material Rodante, não foi incluído como requisito o atendimento à referida norma ferroviária, o que pode ter contribuído para um sistema de dutos que não prioriza nem a velocidade de insuflamento nem a uniformidade da distribuição do ar.

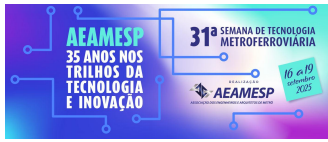
31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo investigar as causas das queixas sobre a baixa velocidade do ar insuflado nos salões de passageiros, à luz de normas ferroviárias e comparações com outras frotas, propondo uma solução de engenharia de baixo custo e fácil implementação, para aproximar os parâmetros de velocidade do ar, minimamente, aos requisitos de normas ferroviárias e de projeto do trem, considerando os fatores limitantes técnicos relacionados, bem como visando a menor intervenção estrutural possível. Diante do desafio permanente de elevar a qualidade da experiência do usuário, o estudo apresenta uma alternativa de baixo custo, alta replicabilidade e mínima intervenção estrutural, com potencial de aplicação em outras frotas com sistemas de insuflamento similares.



Figura 7 – Fluxo de ar Série 7000. Fonte: Autor.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Com base na Equação da Continuidade ($Q = v \times A$), que relaciona vazão, velocidade e área de escoamento do fluido, e no princípio da conservação de massa em sistemas fechados, desenvolveu-se a hipótese de que, sob estes princípios da hidrodinâmica, reduzindo a área de saída dos difusores, seria possível aumentar a velocidade do ar insuflado, assumindo-se constante a vazão fornecida pelas unidades de ar-condicionado. Como o ar é movimentado por ventiladores, trata-se de um escoamento forçado e, neste contexto, considerado incompressível (mesmo sendo ar), uma vez que a variação de densidade é desprezível em sistemas de baixa pressão, como os utilizados em trens.



Figura 8 – Equação da Continuidade. Exemplo prático: Ao diminuir a área de saída da mangueira, a velocidade da água é aumentada. Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/equacao-continuidade.htm>

Desta forma, sob a Equação da Continuidade, buscou-se reduzir a área dos difusores de ar no salão de passageiros, aproveitando-se das características construtivas por chapas perfuradas, que possibilitam o estrangulamento da área de insuflamento de maneira facilitada, bem como uma rápida avaliação dos resultados desejados.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

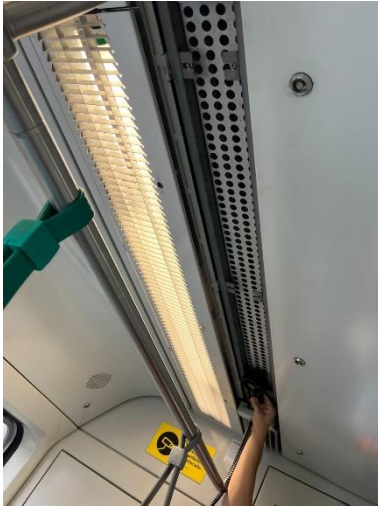


Figura 9 – Característica construtiva dos Difusores de ar: chapas perfuradas. Fonte: Autor.

3. DIAGNÓSTICO

O trabalho de diagnóstico contemplou as seguintes etapas:

- Cálculo teórico da velocidade de ar insuflado na saída da máquina;

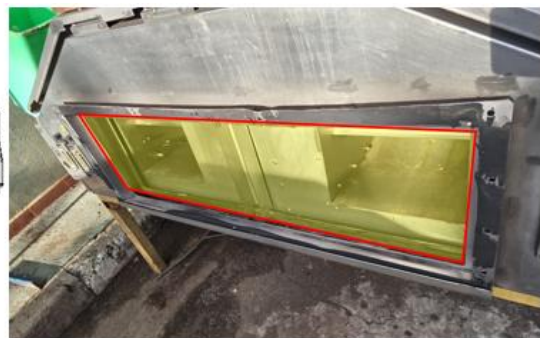
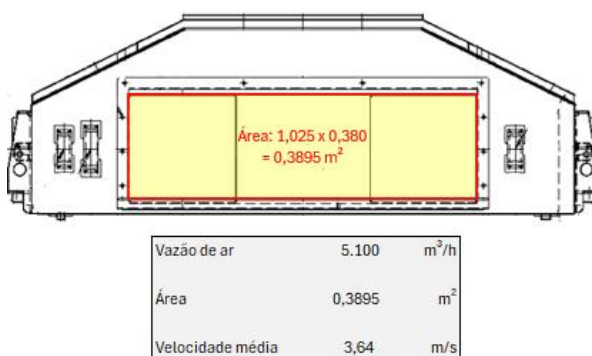
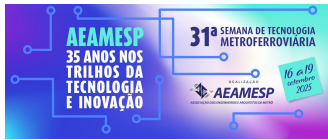


Figura 10 – Área de escoamento na descarga dos ventiladores. Fonte: Autor

A partir da área da seção transversal ($0,3895 \text{ m}^2$) e da vazão nominal da máquina de ar-condicionado ($5.100 \text{ m}^3/\text{h}$), sob a Equação da Continuidade ($Q = v \times A$) foi possível



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

calcular, os valores esperados de velocidade média do ar diretamente na saída da máquina de ar-condicionado, em 3,64 m/s, antes dos dutos.

- **Medição amostral da vazão de ar insuflado diretamente nas máquinas;**

Em seguida os valores foram comparados com medições em campo, através da medição de velocidade do ar com Anemômetro de Pás rotativas, separando a área de seção transversal de escoamento em dezesseis quadrantes, e calculando a velocidade média de todas as medições. Os resultados foram, então, comparados com os valores nominais, calculados, não havendo divergências significativas.



Figura 11 – Medições em campo da velocidade do ar insuflado. Fonte: Autor

- **Cálculo teórico da velocidade de ar insuflado na saída dos difusores de ar no salão de passageiros;**

A partir da vazão nominal somada das duas máquinas de ar-condicionado por carro ($5.100 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ máquinas} = 10.200 \text{ m}^3/\text{h}$), levando em conta a área transversal de escoamento do fluido, neste caso, o somatório de área de cada orifício das chapas



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

perfuradas ao longo dos carros, foi possível calcular a velocidade do ar imediatamente na saída dos difusores.

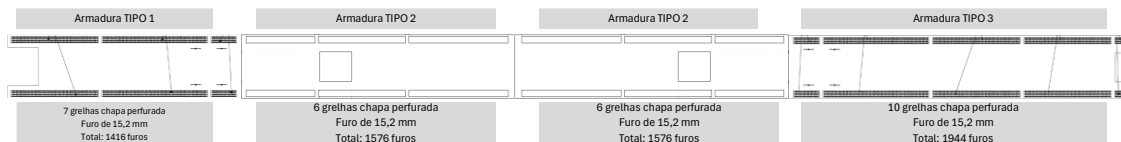


Figura 12 – Metodologia usada para cálculo da área nos difusores para um carro.
Fonte: Autor

Os resultados teóricos, obtidos para a velocidade do ar insuflado foram da ordem de 2,3 a 2,4 m/s (carro M e carro R).

- **Medição amostral da velocidade do ar insuflado nos difusores do salão de passageiros em trem da Série 7000 (Trem CAF – Operação nas Linhas 8 e 9);**

Utilizando anemômetro de pás rotativas e tomada de medição diretamente na saída dos difusores em diversos pontos ao longo do carro, foi possível obter resultados reais e comparar com os resultados teóricos, calculados.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 13 – Medição da velocidade do ar insuflado. Fonte: Autor

- **Medição amostral da velocidade do ar insuflado nos difusores do salão de passageiros em trem da Frota P (Trem CAF – Operação na Linha 5).**

Para efeitos de comparação, o mesmo trabalho de medição da velocidade do ar insuflado foi feito para um dos trens da frota P, os quais operam na Linha 5 de metrô do município de São Paulo. Nesta linha não há histórico relevante de queixas quanto a baixa sensação de ventilação no interior do salão de passageiros. Nota-se, no entanto, que o Material Rodante tem características construtivas que privilegiam uma melhor circulação do ar insuflado no salão, notadamente, a passagem livre entre carros, o que não ocorre nos trens da série 7000.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

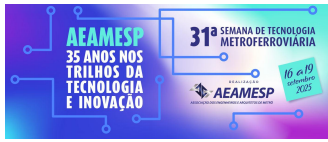


Figura 14 – Medição da velocidade do ar insuflado em trem da Frota P (Linha 5).
Fonte: Autor

- **Oportunidades de melhorias**

A luz do objetivo inicial de aumentar a velocidade de ar insuflado e melhorar a distribuição do fluxo de ar dentro do salão de passageiros, identificou-se oportunidade de melhorias sob o ponto de vista de manutenção, entre elas:

- Antecipação do processo de limpeza dos dutos de insuflamento. Previsto em Plano de Manutenção na intervenção de 2.4 M km.
- Troca do revestimento térmico dos dutos de retorno. Não prevista em plano de manutenção, mas já em condições degradadas em face do tempo de vida do ativo
- Desenvolvimento de junta para conexão flangeada entre a máquina de ar-condicionado e o duto de ligação com o salão de passageiros, para assegurar a estanqueidade dos dutos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4. DESENVOLVIMENTO

Por meio da redução da área útil dos difusores de ar, utilizando tampão de polímero, sob o conceito da Equação da Continuidade, posto em prática, verificou-se um aumento significativo na velocidade do ar insuflado e uma melhor distribuição do fluxo de ar, sem a necessidade de alterações estruturais e reprojeção no sistema de climatização. A proposta foi validada com medições comparativas antes e depois da intervenção, conforme os critérios estabelecidos na norma EN 14750 – *Air conditioning for urban and suburban rolling stock*, demonstrando ganhos mensuráveis na performance do sistema. Além disto, o projeto levou em conta condições de importantes, como o possível aumento da corrente elétrica dos motores dos ventiladores, o nível de ruído percebido no interior do carro e a garantia de manutenção da distribuição do ar em todos os difusores.



Figura 15 – Exemplo de aplicação dos tampões. Fonte: Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As medições em campo foram comparadas, antes e depois da instalação dos tampões.

Em face da limitação da quantidade de material disponível, para a validação da tese sob estudo, a comparação com tampões foi feita em metade de um carro.

Tabela 1: Medições em campo para velocidade do ar insuflado (antes dos tampões)

Grelha	Ponto de Medição	Lado	Resultado v (m/s)	Teórico - v médio (m/s)
1	A	Direito	1,02	2,40
1	B	Direito	1,42	2,40
2	A	Esquerdo	1,39	2,40
2	B	Esquerdo	1,75	2,40
3	A	Direito	2,36	2,40
3	B	Direito	1,04	2,40
4	A	Esquerdo	0,00	2,40
4	B	Esquerdo	1,08	2,40
5	A	Direito	1,05	2,40
5	B	Direito	1,30	2,40
6	A	Esquerdo	1,06	2,40
6	B	Esquerdo	1,01	2,40
7	A	Direito	1,09	2,40
7	B	Direito	0,00	2,40
8	A	Esquerdo	1,01	2,40
8	B	Esquerdo	1,82	2,40
9	A	Direito	2,63	2,40
9	B	Direito	1,52	2,40
10	A	Esquerdo	0,68	2,40
10	B	Esquerdo	1,44	2,40
11	A	Direito	1,15	2,40
11	B	Direito	1,63	2,40

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

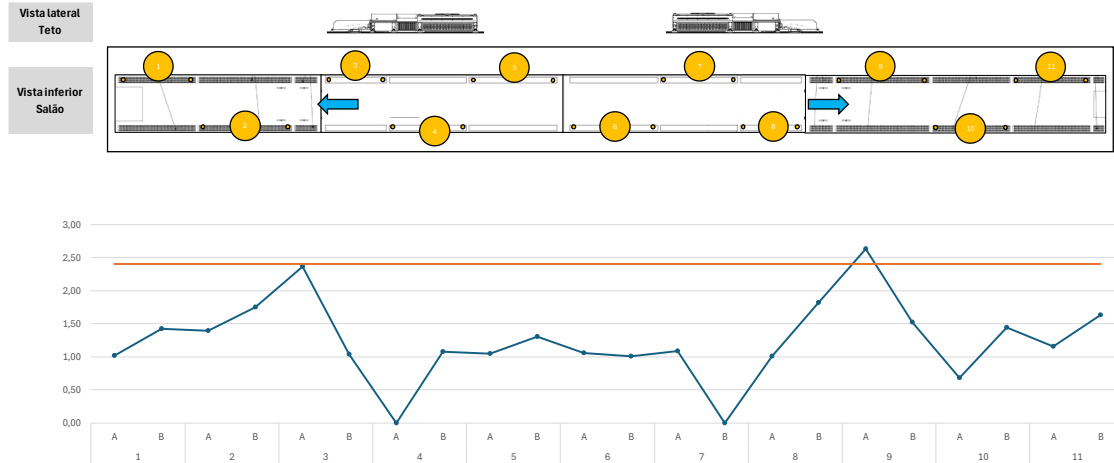


Figura 16: Resultados gráficos de velocidade do insuflamento ao longo do carro (antes dos tampões). Fonte: Autor.

Com a instalação inicial, em caráter experimental, dos tampões distribuídos uniformemente, reduzindo em 50% a área dos difusores em metade de um carro cabine, obteve-se resultados interessantes de aumento da velocidade do ar, em condições de uso normal, com filtros em uso, próximos ao ponto de substituição em manutenção preventiva. Após a instalação dos tampões não foram observados aumentos significativos na corrente dos motores das evaporadoras, bem como qualquer incremento de ruído no interior do salão de passageiros.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

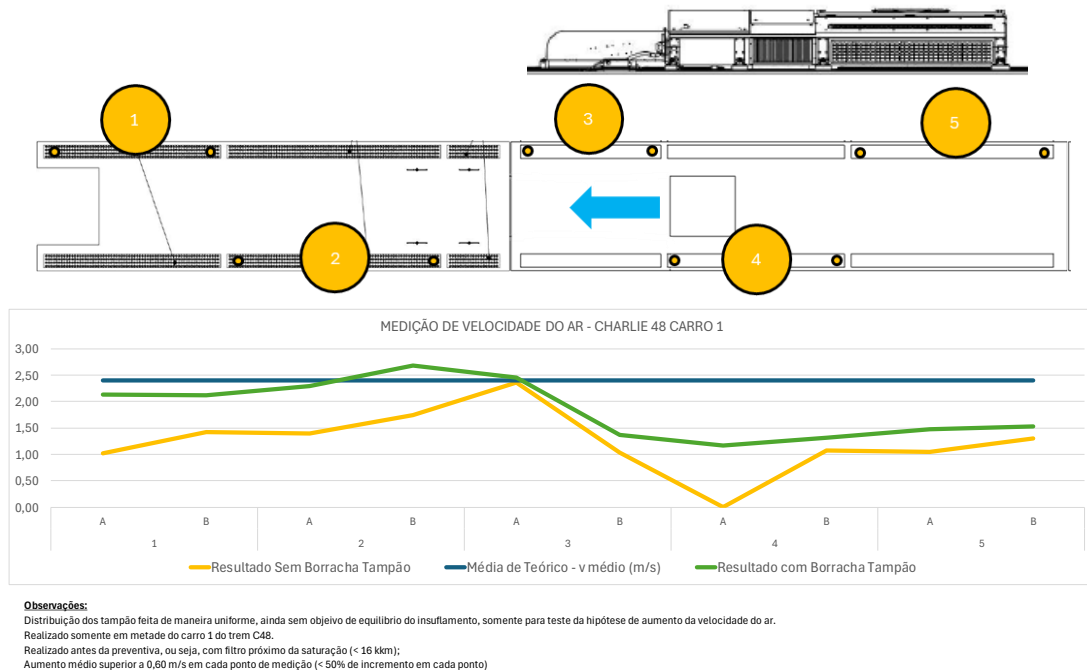


Figura 17: Resultados gráficos de velocidade do insuflamento ao longo do carro (antes dos tampões). Fonte: Autor.

6. CONCLUSÕES

A partir do estudo, foi possível comprovar de maneira satisfatória que os frequentes relatos de clientes quanto a baixa sensação de velocidade do ar insuflado, tem fundamento, tanto em se observando os requisitos normativos para Material Rodante ferroviário, quanto os de projeto do sistema de ventilação do trem série 7000. Desta forma, justifica-se a busca por iniciativas que adequem os patamares de velocidade do ar no interior do salão.

Os resultados indicam tanto uma baixa velocidade média do ar insuflado, ao longo do carro, quanto uma má distribuição do ar insuflado ao longo do carro, com notável



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

deficiência no centro dos carros, localizado em desacordo com o fluxo de saída de ar proveniente das máquinas de ar-condicionado.

As medições realizadas após a intervenção sob estudo demonstraram aumentos relevantes na velocidade média do ar, da ordem de 50%, sem qualquer impacto a performance do sistema. Também se observou uma melhor distribuição do ar insuflado já na primeira intervenção, objeto do estudo. Em termos comparativos, os resultados, após intervenção, superaram a média de velocidade de ar insuflado medida no trem da Frota P, que opera na Linha 5, sem histórico de queixas quanto a ventilação, o que é um parâmetro relevante para o objetivo de tratar as queixas dos clientes.

Os tampões a serem utilizados foram especificados em observância à norma internacional EN 45545 *Fire safety in rail vehicles*, que define requisitos de flamabilidade para componentes instalados em trens.

Os próximos passos indicados são a revisão de aspectos dos planos de manutenção, aquisição de material (tampões), definição do melhor cenário de distribuição dos tampões em busca de homogeneização da distribuição do ar e aumento médio da velocidade de insuflamento do ar, e finalmente, aplicação da solução otimizada em toda a frota de trens da série 7000 que operam nas linhas 8 – Diamante e 9 – Esmeralda.

A implementação contribui diretamente na melhoria da sensação de conforto térmico dos clientes, e a proposta demonstrou-se eficaz e promissora, reforçando a importância



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de soluções simples, de baixo custo e alta replicabilidade como instrumentos de melhoria contínua da manutenção ferroviária e da experiência dos passageiros



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 14750-1:2006 - Railway applications – Air conditioning for urban and suburban rolling stock – Part 1: Comfort parameters*. Brussels: CEN, 2006

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 14750-2:2006 - Railway applications – Air conditioning for urban and suburban rolling stock – Part 2: Type tests*. Brussels: CEN, 2006

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 45545-2:2013 - Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*. Brussels: CEN, 2013

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS - CPTM. Especificação Técnica: Material Rodante – Trens Unidade Elétricas. ET-R-X-99-99-9999/4-X98-999. São Paulo, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física: v. 1 – Mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.