



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA (3)

GESTÃO DO HEADWAY E MELHORIA DA QUALIDADE DO SERVIÇO NO METRÔ

BH POR MEIO DA METODOLOGIA CUMBUCA

1. INTRODUÇÃO

O Metrô BH é a concessionária responsável pela operação do serviço metroviário em Belo Horizonte e Contagem (MG) desde 2023, operando atualmente uma linha de 28,1 km e 20 estações, com aproximadamente 90 mil passageiros transportados diariamente. A frota total (maio/26) é composta por 30 trens — 14 da série 900 (Cobrasma), 9 da série 1000 (CAF) e 7 da série 2000 (CRRC) —, dos quais 24 encontram-se atualmente operacionais, enquanto os 6 restantes (3 CAF e 3 CRRC) aguardam a instalação do sistema ATC (*Automatic Train Control*) para entrarem em operação comercial. O horário operacional funciona das 5h15 às 23h, com headway programado de 7,5 minutos nos períodos de pico (manhã e tarde) e 15 minutos no período de vale, totalizando aproximadamente 205 viagens comerciais diárias. A expansão prevista pela Linha 2 (mais 10,5 km e 7 estações) deve ampliar ainda mais a demanda operacional, reforçando a importância da regularidade da circulação dos trens — medida pelo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

headway — como determinante da percepção de qualidade pelo cliente, com impacto direto sobre o tempo de espera, a previsibilidade das viagens e a confiabilidade do sistema.

Na teoria clássica do fluxo de tráfego, o headway é definido por Garber e Hoel (2014) a partir de duas grandezas complementares: o *time headway*, intervalo de tempo entre a passagem das frentes de dois veículos consecutivos por um mesmo ponto de referência, expresso em segundos; e o *space headway*, a distância entre as frentes desses mesmos veículos, medida em metros. No contexto ferroviário, o Metrô BH adota o *time headway* como referência para seus indicadores de qualidade, uma vez que essa grandeza reflete diretamente o tempo de espera de embarque percebido pelos passageiros — variável central para a experiência do usuário do sistema.

Desde janeiro de 2024, o Metrô BH passou a medir o headway realizado tanto nas partidas quanto nas chegadas dos trens, estruturando o acompanhamento em três indicadores de aderência: o headway de partidas, que verifica se o intervalo entre partidas consecutivas nas estações terminais está dentro da tolerância de 120 segundos (atraso ou antecipação) no horário de pico e 180 segundos (atraso ou antecipação) no horário de vale; o headway de chegadas, que segue a mesma lógica, mas com tolerância assimétrica no pico — 120 segundos para atrasos e 180 segundos para antecipações — e 180 segundos (atraso ou antecipação) no vale; e o headway geral, definido como a média aritmética dos dois indicadores anteriores. Cabe destacar que, na metodologia adotada pelo Metrô BH, o indicador é sempre calculado em relação às viagens efetivamente realizadas — e não ao programa horário —, o que o torna



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sensível a efeitos de propagação, em que um desvio pontual pode se refletir nas viagens subsequentes.

Atualmente, o Sistema de Operação Automática de Trens (ATO) encontra-se em fase de implantação no Metrô BH, o que faz com que a regularidade da circulação ainda dependa fortemente da condução manual dos maquinistas, da sinalização ferroviária e da atuação do Centro de Controle Operacional (CCO). Nesse cenário, fatores humanos exercem influência significativa sobre a aderência ao headway, tornando a gestão ativa do indicador, por meio de ferramentas de monitoramento, padronização de causas e capacitação das equipes, um elemento central para a qualidade do serviço prestado aos clientes.

Diante desse cenário, foi conduzido um projeto de melhoria com foco no indicador de headway, estruturado a partir da metodologia Cumbuca — uma prática de desenvolvimento de equipes baseada em estudo e discussão coletiva de referenciais técnicos, aplicada com apoio do livro "Gestão da Rotina", de Vicente Falconi. O objetivo central do trabalho foi aumentar a aderência entre o headway planejado e o realizado, melhorando a regularidade da circulação dos trens e a satisfação dos clientes. Buscou-se, ainda, fortalecer a cultura de gestão orientada por dados, padronizar a identificação das causas de perdas de aderência e ampliar o engajamento das equipes operacionais no acompanhamento do indicador.

2. DIAGNÓSTICO

2.1. Histórico Operacional de 2024



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O ponto de partida para a definição das metas de 2025 foi o histórico de desempenho do indicador de headway ao longo de 2024, apurado mensalmente pelo painel de Farol Operacional. A Tabela 1 apresenta a evolução mensal e o resultado acumulado do ano para os três indicadores monitorados.

Tabela 1 - Aderência ao Headway Programado, 2024 (%). Fonte: Os autores (2026)

Indicador Headway	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Acum
Partidas	94,70	96,06	92,28	97,31	98,42	97,78	95,45	95,74	96,89	95,03	95,43	97,15	96,02
Chegadas	78,33	79,74	76,73	83,68	86,33	84,62	83,35	83,38	79,54	77,83	80,83	84,74	81,59
Geral (média)	86,52	87,90	84,50	90,49	92,37	91,20	89,40	89,56	88,22	86,43	88,13	90,95	88,81

A análise da série histórica revela um padrão relevante: enquanto a aderência ao headway de partidas manteve-se consistentemente elevada ao longo do ano (mínimo de 92,28% em março), a aderência ao headway de chegadas apresentou desempenho significativamente inferior e mais instável, oscilando entre 76,73% (março) e 86,33% (maio). Essa disparidade indica que as perdas de aderência se concentravam, majoritariamente, ao longo do percurso entre terminais, e não no processo inicial das viagens.

Apesar de o resultado acumulado de 2024 já representar um patamar de desempenho relativamente consistente, o diagnóstico do projeto não partiu de uma crise de resultado, mas de uma lacuna de processo: a ausência de ferramentas padronizadas de registro e monitoramento em tempo real impedia a identificação sistemática das causas por trás das perdas de aderência, dificultando ações preventivas e colocando em risco a sustentabilidade dos resultados já alcançados.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Com base nesse histórico, foi aplicado o método da lacuna, de Vicente Falconi, de forma independente para os indicadores de headway de partida e de chegada. Antes do cálculo da meta, os dados de 2024 foram tratados por meio de uma Carta de Controle Estatístico de Processo: calculou-se a Média Real de cada indicador e seus respectivos limites de controle (LI e LS), estabelecidos como a Média Real ± 2 desvios padrão. Meses cujo resultado ficasse fora desses limites — considerados estatisticamente atípicos — eram excluídos, gerando uma "Nova Média" mais representativa do comportamento usual do processo.

Para o headway de partidas, o mês de março (92,28%) ficou abaixo do limite inferior de controle (92,71%) e foi excluído, resultando em uma Nova Média de 96,36% (ante 96,02% da média simples). Para o headway de chegadas, todos os 12 meses de 2024 permaneceram dentro dos limites de controle, de modo que a Nova Média manteve-se igual à média simples (81,59%).

A meta foi então calculada somando-se à Nova Média uma fração (20%) da diferença entre o melhor resultado mensal já alcançado em 2024 e essa própria Nova Média — ou seja:

$$\text{Meta} = \text{Média Real} + [(\text{Melhor Resultado Mensal} - \text{Média Real}) \times 20\%]$$

Para o headway de chegadas, com Nova Média de 81,59% e melhor resultado mensal de 86,33% (maio/2024), a meta resultante foi de 82,54%. Para o headway de partidas, com Nova Média de 96,36% e melhor resultado mensal de 98,42% (maio/2024), a meta resultante foi de 96,77%. O headway geral, por sua vez, não decorre de um cálculo de lacuna próprio, mas é



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

definido como a média aritmética entre as metas de partida e chegada, resultando em 89,66% para 2025.

A adoção de uma Carta de Controle Estatístico de Processo, associada ao método da lacuna, permitiu depurar a base de cálculo de eventuais meses atípicos, tornando a meta mais representativa do comportamento usual da operação, sem perder o caráter desafiador da melhoria contínua.

2.2. A Metodologia Cumbuca e a Escolha do Headway como Foco

A metodologia Cumbuca teve início em janeiro de 2025, estruturada em encontros quinzenais da equipe, com base no estudo do livro "Gestão da Rotina", de Vicente Falconi (9ª edição). A cada encontro, um integrante do grupo era sorteado para apresentar o conteúdo do capítulo estudado e propor um exemplo prático de aplicação dos conceitos na realidade operacional do Metrô BH, estimulando protagonismo, senso crítico e apropriação coletiva do conhecimento.

A partir do capítulo 6 (Como monitorar os resultados do seu processo), os exemplos de aplicação passaram a ser direcionados especificamente ao indicador de headway. Essa escolha não foi arbitrária: refletiu o desempenho observado nos primeiros meses de 2025, que



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

indicava dificuldade em sustentar as metas recém-estabelecidas. A Figura 1 apresenta os resultados de janeiro a março de 2025, contrapostos às faixas de atingimento da meta anual.

		Faixas de Atingimento da Meta				Peso	Meta	jan.-25	fev.-25	mar.-25
Indicadores	Melhor	0%	50%	75%	100%					
Aderência Headway (Média Partidas e Chegadas)	↑	88,98%	88,98%	89,32%	89,66%	15%	Anual	88,75%	89,12%	87,88%
Aderência Headway (Partidas)	↑	96,36%	96,36%	96,56%	96,77%	15%	Anual	94,06%	96,55%	96,00%
Aderência Headway (Chegadas)	↑	81,59%	81,59%	82,07%	82,54%	15%	Anual	83,43%	81,68%	79,75%

Figura 1 - Faixas de Atingimento da Meta 2025 e Resultados de Jan-Mar/2025 (%). Fonte: Os autores (2026).

Como se observa, o headway de partidas ficou abaixo da meta em janeiro (94,06% vs. 96,77%) e em março (96,00% vs. 96,77%); o headway de chegadas oscilou abaixo do patamar mínimo de 50% de atingimento em janeiro e fevereiro, chegando a 79,75% em março — inferior, inclusive, à própria média histórica de 2024 (81,59%). Em consequência, o headway geral também não sustentou a meta: em janeiro (88,75%) ficou na faixa de 0%, em fevereiro (89,12%) alcançou a faixa de 50%, e em março (87,88%) retrocedeu novamente para a faixa de 0%. Esse cenário evidenciou que, embora as metas tivessem sido calibradas com base em um referencial já demonstrado como alcançável em 2024, sua sustentação ao longo do tempo exigia mudanças estruturais — não bastava reafirmar o objetivo, era preciso atacar as causas da perda de aderência de forma sistemática. Diante disso, a equipe direcionou os encontros da metodologia Cumbuca para o aprofundamento do problema, dimensionando primeiro sua extensão real e, na sequência, investigando suas causas.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A partir do momento em que o headway passou a ser tema central das discussões da Cumbuca, as diferentes áreas envolvidas na operação passaram a acompanhar o indicador com maior atenção, o que já produziu ganhos de aderência antes mesmo da implementação das novas ferramentas de controle — efeito que ajuda a explicar a melhoria observada nos meses seguintes, consolidada posteriormente pelas ações estruturais descritas na seção 3.

2.3. Shakedown do Problema

Para dimensionar a extensão real do problema antes do desenvolvimento das ações corretivas, foi realizado um shakedown quantitativo das perdas de headway referentes a março de 2025 — técnica de diagnóstico estudada pela equipe no Capítulo 9 do livro "Gestão da Rotina" ("Prática do método de gerenciamento — PDCA — de melhorias"), que a define como etapa inicial de dimensionamento de um problema antes da aplicação de ferramentas de análise de causa. O shakedown foi desagregado por sentido de circulação (V1 e V2) e por natureza do indicador (chegadas, partidas e causas de perda).

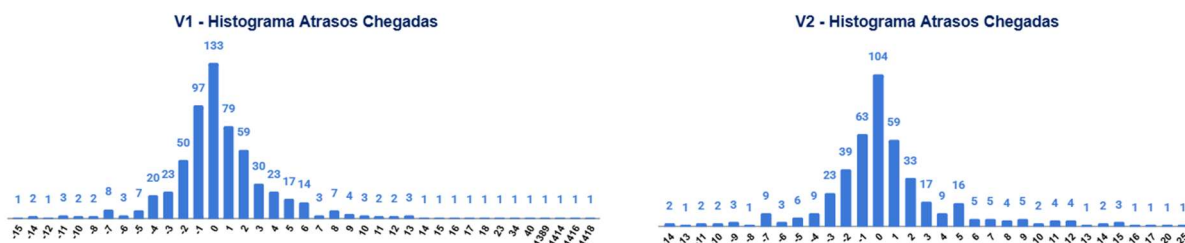


Figura 2 - Distribuição dos desvios de headway de chegadas por sentido de circulação, março/2025. Fonte: Os autores (2026).

Headway de Chegadas: No mesmo período, das 5.196 viagens realizadas, apenas 4.146 estavam aderentes ao headway de chegadas (79,75%), resultando em 1.050 viagens não



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

aderentes — um volume cinco vezes maior que o de partidas, sendo 610 viagens (58%) no sentido V1 e 440 viagens (42%) no sentido V2. A análise dos histogramas de atraso (Figura 2) revelou que essas perdas se concentravam predominantemente na faixa de ± 1 minuto em torno do horário programado — 74% das ocorrências no sentido V1 e 51% no sentido V2 —, indicando que a maior parte dos desvios era de pequena magnitude, porém suficiente para romper a tolerância operacional de 2 a 3 minutos quando acumulada ao longo do trajeto.

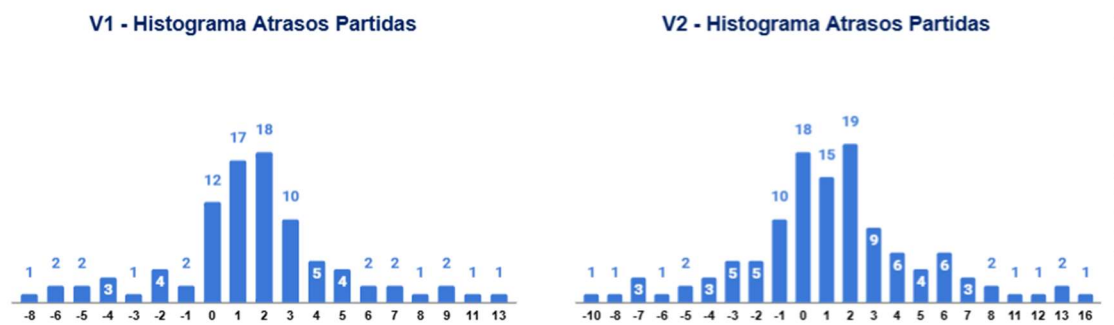


Figura 3 - Distribuição dos desvios de headway de partidas por sentido de circulação, março/2025. Fonte: Os autores (2026).

Headway de Partidas: Em março de 2025, das 5.196 viagens realizadas, 4.988 estavam aderentes ao headway de partidas (96,00%), resultando em 208 viagens não aderentes no mês — sendo 90 viagens (43%) no sentido V1 e 118 viagens (57%) no sentido V2. Esse volume, significativamente menor que o das chegadas, corrobora o diagnóstico de que as perdas se originavam majoritariamente ao longo do percurso, e não no processo de despacho inicial. Os histogramas de atraso (Figura 3) confirmam essa característica: as perdas de partida mostraram-se mais dispersas ao longo do dia, com apenas 34% (V1) e 36% (V2) das ocorrências concentradas na faixa central de desvio, sem um padrão de concentração tão evidente quanto o observado nas chegadas.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

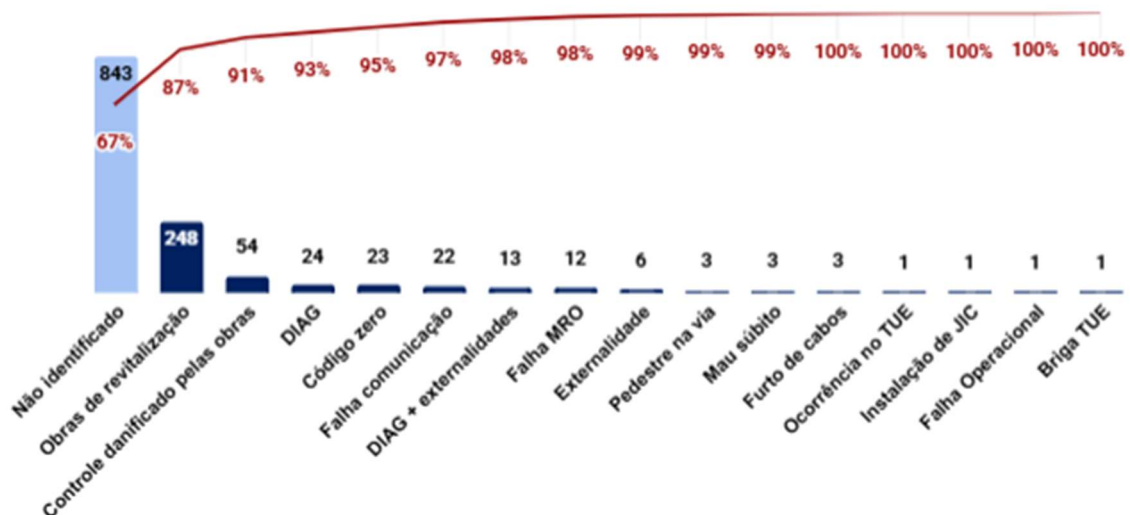


Figura 4 - Principais causas de perda de aderência ao headway (partidas e chegadas), março/2025. Fonte: Os autores (2026).

Principais Causas das Perdas (Headway Geral): A análise consolidada das causas de perda de aderência — somando as ocorrências de partidas e chegadas (Figura 4) — foi realizada a partir do Livro de Passagem de Serviço (LPS) do CCO, principal registro histórico das ocorrências operacionais, totalizando 1.258 registros em março de 2025 e revelando o achado mais crítico do diagnóstico: 843 ocorrências (67% do total) não possuíam causa mensurada. Entre as causas efetivamente registradas, destacaram-se "Obras de Revitalização" (248 ocorrências, elevando o acumulado para 87%) e "Controle Danificado pelas Obras" (54 ocorrências, 91% acumulado), seguidas por causas de menor volume individual — DIAG (24), Código Zero (23), Falha de Comunicação (22), DIAG associado a Externalidades (13), Falha MRO (12), Externalidade (6), Pedestre na Via (3), Mau Súbito (3), Furto de Cabos (3), Ocorrência no TUE (1), Instalação de JIC (1), Falha Operacional (1) e Briga no TUE (1) — juntas responsáveis por menos de 6% do total de ocorrências.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse resultado evidenciou, em números concretos, a magnitude da falta de rastreabilidade das causas de perda de aderência ao headway, um problema que as ferramentas qualitativas aplicadas na sequência buscaram explicar em suas origens.

2.4. Análise SWOT

Como primeira ferramenta de diagnóstico, foi conduzida uma análise SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) voltada especificamente à gestão do headway (ANDREWS, 1971). A Tabela 2 sintetiza os resultados obtidos.

Tabela 2 - Análise SWOT da Gestão do Headway e do Metrô BH. Fonte: Os autores (2026).

	Fatores Internos	Fatores Externos
Fatores Internos	Pontos Fortes: Possibilidade de ajustar o headway quando necessário na troca do Programa Horário ¹ (PH) devido a externalidades; Uso do software CCO Alternativo ² com apoio de um desenvolvedor que pode inserir novas funcionalidades.	Pontos Fracos: Dificuldade em identificar a causa primária geradora do efeito cascata; Dificuldade na geração do PH para adequação de carrossel em falhas pontuais; Ausência de classificação dos atrasos quanto à origem (externalidade ou planejamento); Engajamento dos controladores restrito ao PH, sem foco no headway; Entendimento do controlador limitado à escolha do PH, sem adoção da funcionalidade específica de acompanhamento do headway.
Fatores Externos	Oportunidades: Ausência de concorrência eficiente de outros modais em relação ao planejamento da viagem (metrô); Nova sinalização (ALSTOM) em implantação; Elaboração do PH por meio do programa WPLEX.	Ameaças: Ocorrências fora do escopo de controle da operação; demanda imediata de ajuste versus processo demorado de geração e lançamento no sistema; Ocorrência simultânea de múltiplos eventos; poucos pontos de desvio disponíveis na via; Dependência de

¹ Programa horário é uma tabela que contém o plano de viagens do dia, contendo o horário previsto de partida e os horários de chegada nas demais estações.

² CCO Alternativo é o software de controle de tráfego do CCO usado pelo Metrô BH



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

		conhecimento concentrado em poucos profissionais-chave.
--	--	---

2.5. Diagrama de Ishikawa

Para aprofundar a compreensão das causas da perda de aderência ao headway, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa (diagrama de causa e efeito) (ISHIKAWA, 1990), organizando os fatores contribuintes em seis categorias clássicas: método, máquinas, medição, mão de obra, meio ambiente e materiais.

- **Método:** ausência de rotina padronizada de ajuste do programa horário; dependência do supervisor para apontar as causas de perdas de headway; falta de alternativa estruturada para o controlador corrigir o headway de chegada.
- **Máquinas:** o CCO Alternativo não emitia alertas automáticos de perda de headway ao controlador; não havia acompanhamento *full time* do resultado do headway no sistema; a ferramenta não exibia o intervalo entre trens de forma direta.
- **Medição:** ausência de causa apropriada registrada na maior parte das perdas; erros de apuração; obras de revitalização incorretamente classificadas como causa.
- **Mão de obra:** desconhecimento do conceito correto de headway pelas equipes; apontamentos genéricos de causas, sem padronização.
- **Meio ambiente:** volume excessivo de atividades concorrentes para o controlador; demora na confecção do PH.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **Materiais:** ausência de ferramenta que permitisse ao maquinista acompanhar o headway da própria viagem em tempo real.

2.6. Análise dos 5 Porquês

Complementarmente, foi aplicada a técnica dos 5 Porquês em três frentes de investigação — pessoas, processos e ferramentas —, partindo do mesmo evento inicial ("perda do headway") até a causa raiz de cada frente (OHNO, 1988). A Tabela 3 sintetiza as três análises.

Tabela 3 - Análise dos 5 Porquês. Fonte: Os autores (2026).

Frente	Sequência de porquês	Conclusão
Pessoas	Resultado abaixo da meta → falta de apontamento de perdas → falta de acompanhamento do headway → operador do CCO desconhece as tolerâncias do indicador → conceito do indicador é complexo	O conceito do indicador é complexo, gerando falta de conhecimento adequado pelas equipes.
Processos	Resultado abaixo da meta → falta de análises sobre headway → apontamentos genéricos, com erros ou ausência de identificação de causas → supervisor não está à frente do serviço para realizar o apontamento → modelo de processo concentrado no CCO	O modelo de processo depende do apontamento de causas pelo supervisor, sem distribuição de responsabilidade.
Ferramenta	Resultado abaixo da meta → maior parte das perdas sem apontamento de causa → cálculo manual do headway entre trens → complexidade para identificar perdas → ausência de alertas no CCO Alternativo	Falta de alertas automáticos de perda no CCO Alternativo, associada à complexidade de identificação manual.

2.7. Síntese Convergente do Diagnóstico

O achado central do shakedown — 67% das ocorrências (843 de 1.258) sem qualquer causa mensurada, segundo registros do Livro de Passagem de Serviço (LPS) do CCO — encontra



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

explicação direta na análise conjunta das três ferramentas qualitativas aplicadas na sequência, que convergem para três eixos centrais do problema, reforçando-se mutuamente:

Ausência de ferramentas de alerta e acompanhamento em tempo real: Esse eixo aparece nos Pontos Fracos do SWOT (controlador sem foco funcional no headway), na categoria Máquinas do Ishikawa (ausência de alertas automáticos e de acompanhamento *full time*) e na frente "Ferramenta" dos 5 Porquês (cálculo manual e falta de alertas no CCO Alternativo) — indicando que a limitação tecnológica do sistema era um gargalo estrutural, e não um problema isolado.

Falta de padronização na identificação e classificação das causas: Presente nos Pontos Fracos do SWOT (ausência de classificação dos atrasos), na categoria Medição do Ishikawa (perdas sem causa apropriada) e na frente "Processo" dos 5 Porquês (apontamentos genéricos e concentração da responsabilidade no supervisor) — confirmando que a rastreabilidade das ocorrências era insuficiente em todas as camadas da operação, explicando diretamente o percentual de 67% de ocorrências sem causa mensurada, mesmo estando o registro formalmente disponível no LPS.

Lacuna de conhecimento e engajamento das equipes: Refletida nos Pontos Fracos do SWOT (entendimento do controlador limitado ao PH), na categoria Mão de Obra do Ishikawa (desconhecimento do conceito de headway) e na frente "Pessoas" dos 5 Porquês (complexidade do conceito do indicador) — evidenciando que, independentemente das ferramentas disponíveis, havia uma barreira de compreensão técnica a ser superada.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essa convergência entre o shakedown e as três ferramentas qualitativas direcionou o desenho das ações corretivas: em vez de tratar os problemas isoladamente, a equipe estruturou um plano que atacasse simultaneamente a lacuna tecnológica (novas funcionalidades no CCO Alternativo), a padronização de processos (classificação obrigatória de causas) e a capacitação das equipes, conforme detalhado na seção seguinte.

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

3.1. Plano de Ação e Capacitação da Equipe

A partir da síntese convergente do diagnóstico, foi elaborado um plano de ação estruturado no formato de Relatório de 3 Gerações (Capítulo 9- Prática do método de gerenciamento PDCA de melhorias), envolvendo a área de Gestão e Performance, com o objetivo de endereçar de forma integrada as três causas-raiz identificadas: a lacuna tecnológica de monitoramento, a ausência de padronização na classificação de causas e a necessidade de capacitação das equipes. A Figura 5 apresenta o plano de ação completo, com as dez ações planejadas, seu status de execução, resultados obtidos, pontos problemáticos remanescentes e propostas de continuidade.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Relatório de 3 Gerações			Setor: Gestão e Performance	
Item de Controle: Aderência ao Headway				
Problema: Não atingimento das metas do indicador de headway				
Planejado	Executado	Resultados	Pontos problemáticos	Proposição
1 - Realizar benchmarking com outras concessionárias para saber se realizam alguma tratativa para identificar o motivo dos atrasos de cada viagem. 2 - Realizar brainstorming com os controladores para coletar insights para identificação das causas primárias e classificação dos atrasos. 3 - Conversar com os controladores sobre a importância da justificativa dos atrasos das viagens e o impacto nos indicadores. 4 - Mapear os dias que não tivemos imprevistos para verificar se a programação está adequada. Separar Planejado vs Imprevisto. (Realizar análise do headway por PH) 5 - Acompanhar diariamente (D-1) as interferências que causaram perdas de headway. Mapear TODAS as causas da perda de aderência. 6 - Realizar ajuste no PH no pico da tarde das viagens que possuem recorrência de perda no headway de chegadas. 7 - Elaborar e validar uma proposta para identificar as causas das perdas das viagens do headway pelo CCO Alternativo. 8 - Criar ferramenta para controle do headway de chegadas 9 - Implantar proposta validada no CCO Alternativo (Função de identificação de causas de não aderência dentro do CCO Alternativo). 10 - Ajustar a ferramenta de controle do headway de chegadas no CCO Alternativo para que o controlador saiba a margem de chegada que o TUE deve chegar na extremidade sem ter a necessidade de realizar cálculo.	1 - Conduzido com sucesso 2 - Conduzido com sucesso 3 - Conduzido com sucesso 4 - Atrasado 5 - Em desenvolvimento 6 - Em desenvolvimento 7 - Conduzido com sucesso 8 - Conduzido com sucesso 9 - Em desenvolvimento 10 - Em desenvolvimento	1 - Conhecer as estratégias de controle de headway de outras concessionárias. 2 - Formulários com os controladores. 3 - Sem resultado 4 - Em desenvolvimento 5 - Em desenvolvimento 6 - Em desenvolvimento 7 - Mapeamento das principais causas 8 - Ferramenta que mostra no painel do CCO Alternativo o horário de chegada da última viagem 9 - Em desenvolvimento 10 - Em desenvolvimento	1 - N/A 2 - Falta de conhecimento dos controladores sobre o indicador headway. 3 - Ainda não há ferramenta para auxiliar controladores 4 - N/A 5 - N/A 6 - N/A 7 - Sem problemas 8 - Operador ainda precisa fazer cálculo de range 9 - N/A 10 - N/A	2 - Capacitação dos controladores sobre indicador do headway (Montar manual de capacitação) 8 - Aprimorar a ferramenta de controle

Figura 5 - Relatório de 3 Gerações: Aderência ao Headway. Fonte: Os autores (2026).

Como parte do plano de ação (item 2 da Figura 5), foi aplicado um formulário/prova de conhecimento aos 16 controladores do CCO, com o objetivo de verificar o entendimento real da equipe operacional sobre o indicador de headway. O resultado confirmou, com dados primários, o ponto problemático identificado naquela etapa do plano de ação — a falta de conhecimento dos controladores sobre o indicador — e revelou, também por meio de feedback espontâneo dos avaliados, a falta de ferramentas adequadas para visualizar e controlar o headway durante a operação, evidência que reforçou diretamente o eixo de lacuna tecnológica já apontado na síntese convergente do diagnóstico (seção 2.7).

Com base nesse resultado, foi implementada a proposição de capacitação prevista no plano de ação, ampliando o escopo para 25 colaboradores da equipe do CCO — incluindo os 16 controladores avaliados, além de supervisores e coordenador —, abrangendo 100% do quadro responsável pela operação e monitoramento do headway. O treinamento teve como foco o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

conceito técnico do indicador (headway de partida, chegada e geral), tolerâncias operacionais por turno (pico manhã, pico tarde e vale) e o engajamento necessário para identificação dos problemas que impactam no indicador.

À medida que as novas ferramentas de controle foram desenvolvidas e implementadas no CCO Alternativo, adotou-se um modelo de capacitação em cascata: os supervisores foram treinados prioritariamente no uso de cada nova funcionalidade, tornando-se multiplicadores responsáveis por repassar o conhecimento aos controladores em suas respectivas equipes. Esse modelo permitiu que a capacitação técnica avançasse de forma sincronizada com a maturação das ferramentas, descritas a seguir.

3.2. Ferramentas de Controle do Headway no CCO Alternativo

Em paralelo à capacitação da equipe, foram desenvolvidas e implementadas no programa de controle de tráfego do CCO usado pelo Metrô BH - O CCO Alternativo - quatro novas funcionalidades voltadas ao monitoramento e controle em tempo real do headway, descritas a seguir.

- **Tabela MCC (Mapa de Controle de Circulação)**

O mapa de controle de circulação é um relatório produzido pelo CCO Alternativo em forma de tabela que apresenta um resumo de cada viagem realizada durante a operação, contendo informações como tipo de viagem, missão, TUE (Trem Unidade Elétrica), origem, horário programado de partida e realizado de partida, destino, e horário programado e realizado de chegada. O desenvolvedor do software, a pedido da equipe participante da cumbuca,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

incrementou a versão do MCC que aparece junto ao controle de tráfego com um sistema de coloração que destaca automaticamente, em rosa, as viagens não aderentes ao headway — seja por desvio no horário de partida, seja no horário de chegada —, permitindo identificação visual imediata de irregularidades pelo controlador (Figura 6).

Mapa Controle Circulação REDUZIDO 05/06/2025 às 11:05:11

Tipo	Missão	Viagem	TUE	Início	Partida	Partiu	Chegou	Horário	Previsão
12	613	183	T21	UVL	09:03:37	09:03:37	PSG	09:34:40	09:34:40
4	107	159	T29		09:08:00				09:13:00
6	108	50	T11	UVL	09:17:00	09:17:45	UEL	10:16:11	10:08:00
4	110	52			09:21:00				09:43:13
6	102	57	T29	UEL	09:26:00	09:25:56	UVL	10:15:26	10:17:00
6	101	54	T34	UVL	09:42:00	09:42:07	UEL	10:36:36	10:33:00
6	104	59	T30	UEL	09:51:00	09:51:12	UVL	10:43:18	10:42:00
6	105	56	T27	UVL	10:07:00	10:07:38	UEL	10:58:37	10:58:00
5	108	61	T11	UEL	10:16:00	10:18:13	UWL	11:04:55	11:07:00
5	102	58	T29	UVL	10:32:00	10:34:12	ULG	11:05:12	11:23:00
5	101	63	T34	UEL	10:41:00	10:44:02	UCT	11:03:51	11:32:00
5	104	60	T30	UVL	10:57:00	10:56:58	UPM	11:04:17	11:48:00
1	105	65			11:06:00				11:57:00
1	108	62			11:22:00				12:13:00
1	102	67			11:31:00				12:22:00
1	101	64			11:47:00				12:38:00
1	104	69			11:56:00				12:47:00

Figura 6 - Tabela MCC (Mapa de Controle de Circulação) no painel do CCO Alternativo.
Fonte: Os autores (2026).

- **Relógio de Controle de Chegadas**

O relógio de controle de chegadas foi mais um item acrescentado ao CCO Alternativo para ajudar os controladores a dominar o headway de chegadas. Trata-se de um quadro localizado no painel de tráfego próximo às estações terminais e permite ao controlador acompanhar em tempo real a aderência da próxima viagem a chegar. O relógio altera sua coloração conforme o status da previsão: verde, quando a próxima chegada está aderente ao headway programado; vermelho, quando não está. Ao posicionar o cursor sobre o relógio, o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

controlador acessa informações complementares, como o horário da última chegada registrada, o intervalo programado, a previsão da próxima chegada e a janela de tolerância aceitável para que a viagem seja considerada aderente (Figura 7).

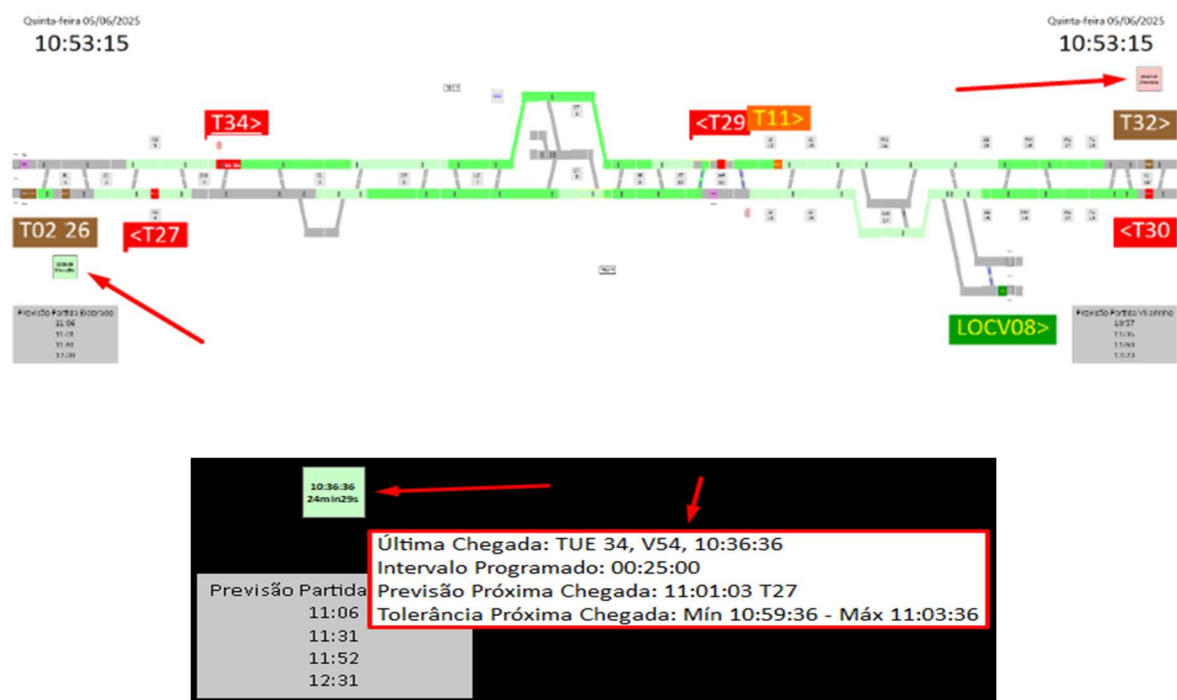


Figura 7 - Relógio de Controle de Chegadas. Fonte: Os autores (2026).

- Cotas de Controle do Headway

Trata-se de uma ferramenta desenvolvida para exibir, por meio de uma linha de cota no painel operacional, inspirada nas cotas de desenho técnico, o intervalo esperado entre trens consecutivos, comparando o headway planejado com o headway executado. A coloração das cotas segue uma lógica de três níveis: verde, quando a viagem está aderente (desvio de até 1,5 minuto); amarela, quando o desvio supera 1,5 minuto mas ainda está dentro do limite máximo permitido no período; e vermelha, quando o desvio ultrapassa os limites máximos definidos, caracterizando não aderência (Figura 8).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 8 - Cotas de Controle do Headway no CCO Alternativo. Fonte: Os autores (2026).

- **Combobox de Causas de Atrasos.**

Ferramenta central do plano de ação, criada para atacar diretamente a fragilidade de rastreabilidade identificada no shakedown (67% das ocorrências sem causa registrada). Sempre que uma viagem chega ou parte de uma estação terminal com perda de headway, o sistema exibe automaticamente uma tela de preenchimento obrigatório, na qual o controlador deve classificar a ocorrência em dois níveis — tipo (Falha Interna de Operação, Falha de Sistema de Manutenção, Atuação do Agente de Atendimento e Segurança - AAS, Obras, ou Outros) e causa específica dentro de cada tipo (por exemplo, condução lenta ou acelerada, falha de comunicação, falsa ocupação, falha de sinalização, suicídio ou tentativa, vandalismo, entre outras) —, com campo de anotação de preenchimento obrigatório sempre que a causa selecionada for "Outros". A obrigatoriedade do preenchimento é reforçada visualmente pela alteração da cor do título da ferramenta entre preto e vermelho, garantindo que o controlador não ignore o registro (Figura 9).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 9 - Combobox de Causas de Atrasos. Fonte: Os autores (2026).

Em conjunto, essas quatro ferramentas endereçam diretamente os três eixos identificados na síntese convergente do diagnóstico: a Tabela MCC, o Relógio de Chegadas e as Cotas de Controle atacam a lacuna de monitoramento em tempo real, enquanto o Combobox de Causas ataca diretamente a lacuna de padronização e rastreabilidade, permitindo que os controladores — agora capacitados sobre o conceito do indicador — atuem de forma preventiva e assertiva, orientando maquinistas sobre velocidade e permanência em plataforma para recuperação da regularidade operacional.

3.3. Aprofundamento da Análise: Desempenho por Sentido, Faixa Horária e Condutor

Concomitantemente ao desenvolvimento das ferramentas de controle no CCO Alternativo, a área de Gestão e Performance e Tráfego conduziu análises complementares de desempenho das viagens, buscando identificar padrões ou desvios que oferecessem pontos de atenção adicionais à operação. Para validar a aderência entre o planejamento e a realização das viagens, foram investigados os tempos de percurso por sentido e por faixa horária,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

comparando cada viagem tanto ao plano original quanto ao desempenho da viagem anterior — esta última, referência para o cálculo do headway realizado.

A análise dos motivos de não aderência às chegadas em março de 2025 (Figura 10) revelou que os atrasos do trem propriamente dito representavam a maior parcela dos desvios (40,40%), seguidos por antecipações do trem (20,25%), atrasos do trem anterior (24,62%) e antecipações do trem anterior (14,73%) — ou seja, as antecipações (próprias ou herdadas da viagem anterior) somavam 35% dos desvios totais. Esse dado chamou a atenção da equipe: diferentemente dos atrasos — frequentemente associados a restrições de via, falhas de material rodante ou outras variáveis operacionais que reduzem a velocidade média de deslocamento —, as antecipações estão mais diretamente relacionadas à conduta do maquinista ao operar o trem, o que motivou o aprofundamento da análise para o nível individual de condutor.

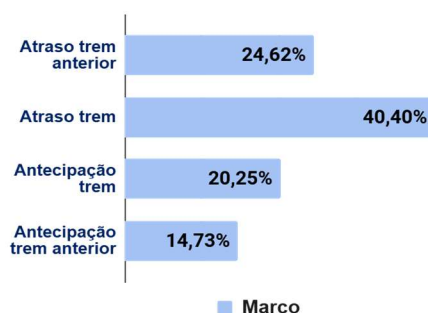


Figura 10 - Motivo de Não Aderência às Chegadas (Geral), março/2025. Fonte: Os autores (2026).

A partir de maio de 2025, o desempenho das viagens passou a ser analisado também por condutor, envolvendo um quadro de aproximadamente 112 profissionais. A análise de antecipações (Figura 11) identificou que um número reduzido de condutores concentrava a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

maior parte dos desvios: em maio, o condutor identificado como "Condutor A" registrou 24 antecipações — volume muito superior ao segundo colocado (12) —, e manteve-se recorrente nos meses seguintes (7 em junho, 18 em julho, 3 em agosto), assim como o "Condutor B" (12, 10, 8 e 14 antecipações em maio, junho, julho e agosto, respectivamente).

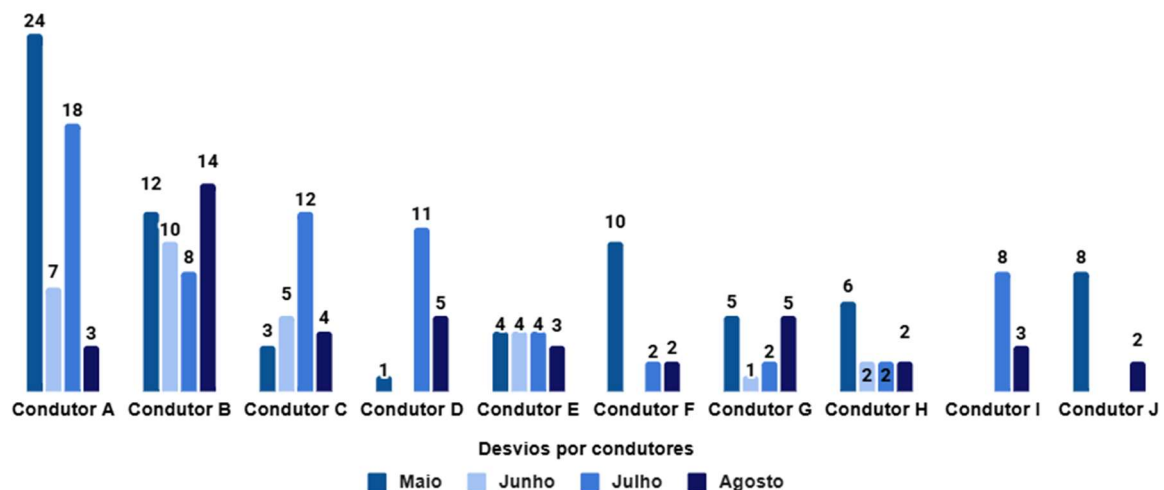


Figura 11 - Quantidade de Desvios por Condutor (Antecipação de Viagem Top 10), Maio–Agosto/2025. Fonte: Os autores (2026).

A análise de atrasos por condutor (Figura 12) mostrou comportamento mais uniforme entre a maioria dos profissionais em maio, com destaque para o condutor "Condutor 1 e 2" (8 atrasos) e "Condutor 3" (15 atrasos) como os de maior volume no mês. Nos três meses seguintes, observou-se recorrência de alguns condutores entre os que mais acumulavam atrasos, com destaque para "Condutor 1" (7, 10 e 17 atrasos em junho, julho e agosto) e "Condutor 5" (1, 2 e 13 atrasos no mesmo período).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

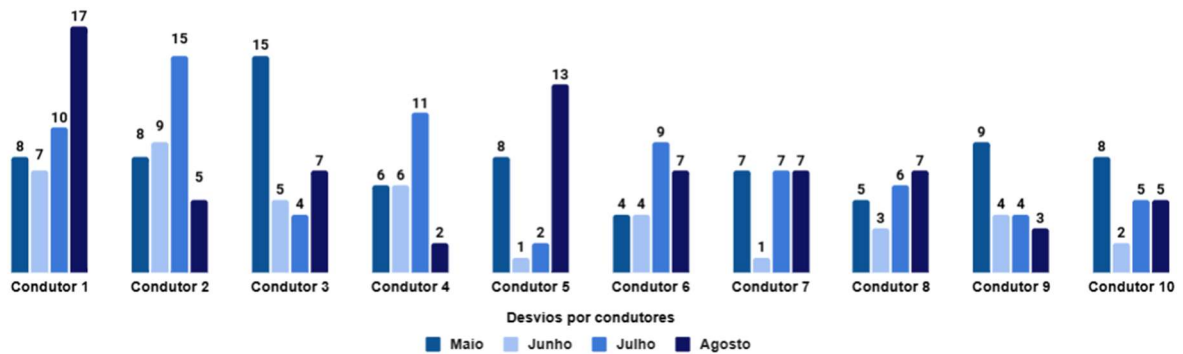


Figura 12 - Quantidade de Desvios por Condutor (Atraso de Viagem Top 10), Maio– Agosto/2025. Fonte: Os autores (2026).

A identificação desses padrões de recorrência — tanto em antecipações quanto em atrasos — chamou a atenção da coordenação de Tráfego, que direcionou **auditorias específicas** aos condutores com maior recorrência de desvios, conduzidas pela equipe de observação de tarefas, com o objetivo de orientar e reforçar a **condução padronizada** dos trens — ação que complementa, do ponto de vista comportamental, as intervenções tecnológicas e de processo já implementadas no CCO.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Evolução Mensal do Indicador em 2025

A Figura 13 apresenta a evolução mensal completa dos três indicadores de headway ao longo de 2025, contraposta às faixas de atingimento da meta anual.

		Faixas de Atingimento da Meta				Peso	Meta	jan.-25	fev.-25	mar.-25	abr.-25	mai.-25	jun.-25	jul.-25	ago.-25	set.-25	out.-25	nov.-25	dez.-25
Indicadores	Melhor	0%	50%	75%	100%														
Aderência Headway (Média Partidas e Chegadas)	↑	88,98%	88,98%	89,32%	89,66%	15%	Anual	88,75%	89,12%	87,88%	91,40%	92,05%	91,53%	90,67%	93,14%	90,77%	89,89%	90,11%	85,00%
Aderência Headway (Partidas)	↑	96,16%	96,36%	96,56%	96,77%	15%	Anual	94,06%	96,55%	96,00%	98,24%	98,46%	97,64%	97,71%	98,73%	98,22%	95,17%	97,10%	94,93%
Aderência Headway (Chegadas)	↑	81,54%	81,59%	82,07%	82,54%	15%	Anual	83,43%	81,68%	78,71%	84,55%	85,64%	85,42%	83,64%	87,54%	83,31%	84,61%	83,11%	77,10%



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Figura 13 - Aderência ao Headway, 2025 (%). Fonte: Os autores (2026)

A trajetória mensal revela um ponto de inflexão claro a partir de abril de 2025 — mês imediatamente posterior à aplicação das ferramentas de diagnóstico (shakedown, SWOT, Ishikawa e 5 Porquês, realizados em março) e ao início da implementação das primeiras ações do plano de 3 Gerações. Entre abril e setembro, todos os três indicadores permaneceram consistentemente na faixa de 100% de atingimento da meta, com destaque para agosto, mês de melhor desempenho do ano (93,14% no geral, 98,73% em partidas e 87,54% em chegadas).

Observam-se, contudo, dois pontos de reversão parcial que merecem atenção: em outubro, o headway de partidas recuou para 95,17%, caindo para a faixa de 0% de atingimento da meta; e em dezembro, tanto partidas (94,89%) quanto chegadas (77,10%) apresentaram os piores resultados do segundo semestre, levando o headway geral a 86,00% — seu pior patamar desde março.

4.2. Resultado Consolidado vs. Metas Estabelecidas

Apesar das oscilações pontuais registradas em outubro e dezembro, o resultado acumulado de 2025 superou as três metas estabelecidas com base no método da lacuna. A Tabela 4 apresenta o comparativo final.

Tabela 4 - Resultado Acumulado 2025 vs. Metas. Fonte: Os Autores (2026)

Headway	Meta 2025	Resultado 2025	Diferença
Partidas	96,77%	96,90%	+0,13 p.p
Chegadas	82,54%	83,32%	+0,78 p.p
Geral	89,66%	90,11%	+0,45 p.p



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Em todos os três indicadores, o resultado superou a meta, com destaque para o headway de chegadas — justamente o indicador que, no histórico de 2024 e no diagnóstico de início de 2025, havia se mostrado mais instável e mais distante do ideal. A superação de +0,78 p.p. neste indicador é particularmente relevante, pois representa a reversão do principal ponto de fragilidade identificado ao longo de todo o diagnóstico.

Comparando com o histórico de 2024 (Tabela 1), o avanço se torna ainda mais evidente: o headway geral passou de 88,81% para 90,11% (+1,30 p.p.), o de partidas de 96,02% para 96,90% (+0,88 p.p.), e o de chegadas de 81,59% para 83,32% (+1,73 p.p.) — este último, mais uma vez, com o maior ganho relativo entre os três indicadores.

4.3 Evolução da Rastreabilidade das Causas

Um dos objetivos centrais do conjunto de ações implementadas — em especial o Combobox de Causas de Atrasos (seção 3.2) — foi reduzir o percentual de ocorrências sem causa identificada, fragilidade que representava o achado mais crítico do shakedown realizado em março de 2025 (seção 2.3). Para avaliar esse efeito, foi realizada uma nova apuração de dados em novembro de 2025, replicando a mesma metodologia do shakedown inicial.

A Tabela 5 apresenta o comparativo entre março e novembro de 2025 para os volumes de viagens não aderentes. Além da melhora nos percentuais de aderência (partidas de 96,00% para 97,10%; chegadas de 79,79% para 83,11%), o volume total de viagens não aderentes (partidas + chegadas) caiu de 1.258 em março para 963 em novembro — redução de 23,4% no número absoluto de ocorrências



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 5 - Comparativo de Viagens Não Aderentes: Março vs. Novembro/2025. Fonte: Os autores (2026).

Indicador	Mês	Viagens Totais	Viagens Aderentes	Headway (%)	Não aderentes V1	Não aderentes V2	Total não aderentes
Partidas	Mar	5.196	4.988	96,00%	90	118	208
	Nov	4.868	4.727	97,10%	75	66	141
Chegadas	Mar	5.196	4.146	79,79%	610	440	1050
	Nov	4.868	4.046	83,11%	457	365	822

Mais relevante que a redução do volume, contudo, é a evolução da rastreabilidade das causas dessas ocorrências, o que melhora o diagnóstico dos problemas e direciona tratamentos mais eficazes. A Figura 14 apresenta o gráfico de Pareto das principais causas de perda de aderência em novembro de 2025, elaborado com a mesma metodologia utilizada no shakedown de março (Figura 4), a partir dos registros do Combobox de Causas implementado no CCO Alternativo.

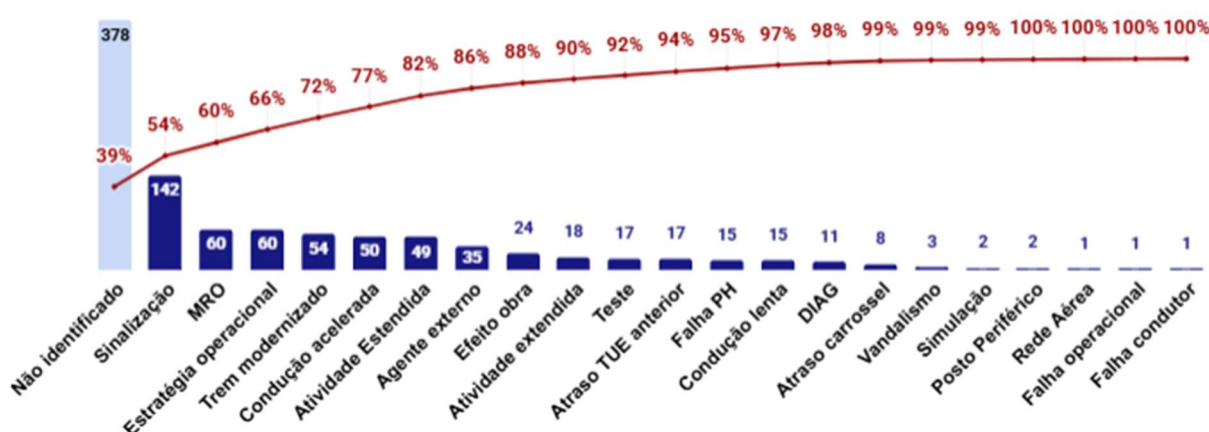


Figura 14 - Principais Causas das Perdas de Aderência (Geral), Novembro/2025. Fonte: Os autores (2026). Fonte: Os autores (2026).

Enquanto em março 67% das ocorrências (843 de 1.258) não possuíam causa mensurada, em novembro esse percentual caiu para 39% (378 de 963) — uma redução de 28 pontos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

percentuais na proporção de ocorrências sem causa identificada. Entre as causas passíveis de identificação, destacaram-se "Sinalização" (142 ocorrências, 54% acumulado), "MRO" (60), "Estratégia Operacional" (60), "Trem Modernizado" (54), "Condução Acelerada" (50) e "Atividade Estendida" (49), entre outras causas de menor volume individual.

Esse resultado confirma, com dados concretos, a efetividade do Combobox de Causas de Atrasos como ferramenta central do plano de ação: ao tornar obrigatório o registro da causa-raiz de cada perda de aderência, a ferramenta permitiu que a operação passasse de um cenário em que dois terços das ocorrências eram invisíveis à gestão para um cenário em que menos de 40% permanecem sem identificação — parcela que tende a se reduzir ainda mais à medida que a cultura de registro se consolida entre as equipes do CCO.

4.4. Análise da Trajetória e Fatores Explicativos

O salto de desempenho observado já em abril, mês seguinte à aplicação do shakedown e das ferramentas qualitativas de diagnóstico (SWOT, Ishikawa e 5 Porquês, realizadas em março), não decorre da maturação completa das novas funcionalidades do CCO Alternativo, que só viriam a ser implementadas e consolidadas entre junho e julho. Esse ganho inicial está mais associado ao efeito de atenção multissetorial: a partir do momento em que o headway passou a ser tema central da metodologia Cumbuca, as diferentes áreas envolvidas na operação passaram a acompanhar o indicador com maior rigor, ainda que de forma manual e sem o suporte tecnológico que viria a seguir.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A sustentação desse patamar elevado entre abril e setembro, e o novo pico observado em agosto, coincide com o período de implementação e maturação das quatro ferramentas de controle (Tabela MCC, Relógio de Chegadas, Cotas de Controle e Combobox de Causas) e com o modelo de capacitação em cascata (supervisores → controladores). Ou seja, a trajetória sugere um processo em duas camadas: um primeiro ganho, de natureza comportamental e atencional, seguido de um segundo ganho, de natureza estrutural, sustentado pelas ferramentas e pela padronização de processos — esta última evidenciada de forma concreta na evolução de rastreabilidade das causas apresentada na seção 4.3.

As reversões parciais de outubro (queda no headway de partidas, para 95,17%) e dezembro (queda simultânea em partidas, para 94,89%, e chegadas, para 77,10%) indicam que os ganhos obtidos ainda não estavam totalmente blindados contra fatores externos, sazonais ou pontuais. Esse comportamento reforça que a sustentabilidade dos resultados depende da continuidade das ações de monitoramento e da manutenção da cultura de gestão orientada por dados ao longo do tempo, e não apenas do esforço inicial de implementação.

4.5. Benefícios Institucionais e para o Cliente

4.5.1. Benefícios Institucionais

Ao longo de sua execução, a metodologia Cumbuca totalizou 14 encontros quinzenais, cada um dedicado ao estudo de um capítulo do livro "Gestão da Rotina", de Vicente Falconi, realizados entre janeiro e agosto de 2025, com duração de 1 hora cada, conduzidos integralmente pela equipe de Gestão e Performance — composta por 5 colaboradores, todos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

com participação em 100% dos encontros. Para além do embasamento teórico que fundamentou diretamente etapas específicas do projeto — como o shakedown do diagnóstico (seção 2.3) —, a iniciativa fortaleceu o trabalho colaborativo tanto internamente na coordenação quanto entre as diferentes áreas envolvidas na gestão do indicador — CCO, Engenharia de Operações e Tráfego —, aproximando equipes que, até então, tratavam o problema de forma mais fragmentada.

Um dos principais legados institucionais da iniciativa foi a disseminação, entre as áreas envolvidas, da importância da tomada de decisão baseada em dados, em contraposição a decisões pautadas apenas pela percepção subjetiva dos profissionais — mudança de mentalidade que se reflete diretamente no desenho das ferramentas de rastreabilidade de causas implementadas no CCO Alternativo (seção 3.2).

A relevância da metodologia extrapolou o escopo original do projeto: a experiência da Cumbuca aplicada à gestão do headway abriu caminho para que outros grupos da Superintendência de Operação e Manutenção adotassem o mesmo formato de leitura e discussão em grupo como ferramenta de desenvolvimento de equipes — não restrito ao conteúdo específico do livro de Falconi, mas replicado como metodologia de aprendizagem coletiva aplicável a diferentes temas. Até maio de 2026, 3 edições da metodologia Cumbuca já haviam sido concluídas em outras gerências da Superintendência — sendo uma delas a citada neste trabalho, e as demais fundamentadas em outras obras técnicas —, com outras 3 edições em andamento, também baseadas em diferentes referenciais teóricos. Essa diversificação de conteúdo evidencia que o que se consolidou como prática institucional foi o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

próprio modelo de aprendizagem — protagonismo rotativo, discussão coletiva e aplicação prática dos conceitos —, e não apenas a repetição de um único material de referência.

4.5.2. Benefícios para o Cliente

Os ganhos operacionais documentados ao longo deste trabalho refletem-se diretamente na percepção dos usuários do sistema, mensurada pelo Indicador Geral de Satisfação dos Passageiros (ISP) — indicador contratual de avaliação da qualidade do serviço metroviário, apurado anualmente por instituição de pesquisa independente, contratada pela concessionária e aprovada pelo Poder Concedente. A metodologia do ISP avalia sete atributos gerais do serviço (rapidez, conforto, confiabilidade, segurança operacional, segurança pública, atendimento e informação ao passageiro), com base em uma amostra mínima de 1.000 passageiros entrevistados por linha, utilizando escala de avaliação de 1 (péssimo) a 5 (excelente). Entre os indicadores que compõem o atributo "confiabilidade" está especificamente o tempo de espera entre um trem e outro — item diretamente associado ao headway, foco deste trabalho.

A comparação entre a 2ª Pesquisa Oficial (março/2025) e a 3ª Pesquisa Oficial (fevereiro/2026) evidencia evolução consistente nos três atributos mais diretamente relacionados ao tempo de viagem e de espera, conforme apresentado na Tabela 6.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

**Tabela 6 - Impacto na Percepção do Cliente (ISP Ano Contratual 2 vs. Ano Contratual 3).
Fonte: Os Autores (2026)**

Avaliação do passageiro sobre:	2ª Pesquisa Oficial (Mar/2025)	3ª Pesquisa Oficial (Fev/2026)	Variação
Tempo gasto dentro do trem	63,79%	74,30%	+10,51 p.p.
Tempo gasto na espera do trem na plataforma	42,64%	54,97%	+12,33 p.p.
Tempo de espera entre um trem e outro (headway)	51,01%	60,53%	+9,52 p.p.

O item mais diretamente relacionado ao objeto deste trabalho — a aprovação sobre o tempo de espera entre um trem e outro, um dos indicadores que compõem o atributo "confiabilidade" do ISP — apresentou crescimento de 9,52 pontos percentuais no período. Uma particularidade operacional reforça a robustez desse resultado: os planos de intervalo de viagens praticados pela concessão permaneceram inalterados desde o início do período analisado (7,5 minutos nos picos e 15 minutos no vale). Ou seja, a melhora na percepção dos passageiros quanto ao headway não decorre de uma redução dos intervalos planejados, mas sim de um melhor desempenho e regularidade dos trens ao longo do percurso — exatamente o efeito perseguido pelo conjunto de ações descritas neste artigo: maior aderência ao headway planejado, e não a alteração do planejamento em si.

Esse resultado é particularmente relevante por representar uma validação externa e independente dos ganhos internos de aderência apresentados na seção 4.2: a melhoria de 1,73 ponto percentual no headway de chegadas entre 2024 e 2025 (Tabela 1 vs. Tabela 4) encontra correspondência direta na percepção do usuário final do serviço, fechando o ciclo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

entre gestão operacional orientada por dados e qualidade percebida do serviço metroferroviário.

5. CONCLUSÕES

Como síntese da transformação promovida ao longo deste trabalho, a Tabela 7 apresenta um comparativo qualitativo entre a situação da gestão do headway antes e depois da aplicação da metodologia Cumbuca — elaborado pela própria equipe como reflexão de encerramento do ciclo de estudos, correspondente ao Capítulo 14 do livro "Gestão da Rotina" ("Caminhando para o futuro").

Tabela 7 - Gestão do Headway: Antes e Depois da Metodologia Cumbuca. Fonte: Os autores (2026).

Antes	Depois
Desconhecimento conceitual da equipe operacional sobre a meta do headway	Conhecimento do conceito e parâmetros da meta
Falta de ferramentas que auxiliassem no acompanhamento do headway	Ferramentas que auxiliam o controle do indicador
Falta de engajamento da equipe com o indicador	Engajamento maior da equipe com o indicador
Tomada de decisões baseada em empirismo	Tomada de decisões baseada em dados
Falta de entendimento das causas da não aderência ao headway	Melhora das causas da não aderência ao headway
Falta de tratamento das causas da não aderência	Análise focada nas causas de não aderência
Análise focada no efeito, e não nas causas	Análise intersetorial do headway (controladores x maquinistas x planejamento)
Resistência da equipe em assumir controle do headway e identificar desvios	Mudança de mindset da equipe, criação de mentalidade de guardião do indicador
Ausência de material de apoio sobre o indicador	Cartilha do Headway
Ausência de rotina de análise detalhada do headway	Rotina de análise detalhada mensal do headway



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse comparativo qualitativo encontra correspondência direta nos resultados quantitativos apresentados ao longo deste trabalho. Em 2025, os três indicadores de headway superaram as metas estabelecidas pelo método da lacuna — partidas (96,90% vs. 96,77%), chegadas (83,32% vs. 82,54%) e geral (90,11% vs. 89,66%) —, com avanço ainda mais expressivo frente ao histórico de 2024, especialmente no headway de chegadas (+1,73 p.p.), indicador historicamente mais frágil da operação. Paralelamente, a rastreabilidade das causas de perda de aderência evoluiu de forma substancial: o percentual de ocorrências sem causa identificada caiu de 67% em março para 39% em novembro de 2025, evidenciando o impacto direto do Combobox de Causas de Atrasos sobre a qualidade da gestão do indicador. Por fim, esses ganhos internos encontraram correspondência na percepção do usuário final, com o Índice Geral de Satisfação dos Passageiros registrando evolução de 9,52 pontos percentuais na avaliação sobre o tempo de espera entre trens.

Entre as principais lições aprendidas, destaca-se que a melhoria de um indicador operacional complexo como o headway não decorre de uma única intervenção, mas de um processo em camadas sucessivas: um primeiro ganho, de natureza comportamental, decorrente do simples aumento de atenção multissetorial ao tema a partir da metodologia Cumbuca, seguido de um segundo ganho, de natureza estrutural, sustentado pelo desenvolvimento de ferramentas tecnológicas e pela padronização de processos de registro. As reversões parciais observadas em outubro e dezembro de 2025 reforçam, ainda, que a sustentabilidade desses ganhos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

depende da continuidade do monitoramento e da manutenção ativa da cultura de gestão orientada por dados e não apenas do esforço inicial de implementação.

Como próximos passos, a equipe já identificou quatro frentes de continuidade do projeto: (i) intensificação do treinamento e reciclagem do CCO para uso das ferramentas de justificativa de atrasos; (ii) aprofundamento da análise sistemática das justificativas registradas, buscando reduzir ainda mais o percentual de ocorrências sem causa identificada; (iii) desenvolvimento de um painel de indicadores de headway em tempo real diretamente nas telas do CCO; e (iv) intensificação da análise do indicador pela área de Engenharia de Operações. Adicionalmente, a expectativa é de que a implantação plena do Sistema de Operação Automática de Trens (ATO), atualmente em curso no Metrô BH, reduza ainda mais a dependência de fatores humanos na regularidade da circulação, complementando — sem substituir — a cultura de gestão por dados consolidada por este projeto.

Por fim, a experiência relatada neste trabalho demonstra que a combinação entre uma metodologia de desenvolvimento de equipes baseada em estudo coletivo (Cumbuca), ferramentas clássicas de diagnóstico da qualidade (SWOT, Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e shakedown) e o desenvolvimento de funcionalidades tecnológicas de monitoramento em tempo real constitui um modelo replicável para outras concessionárias de transporte metroferroviário que enfrentem desafios semelhantes de aderência a indicadores de regularidade operacional. Mais do que a melhoria pontual de um indicador, o principal legado deste trabalho foi a institucionalização de uma prática de aprendizagem coletiva e gestão orientada por dados, que já se expandiu para outras áreas da Superintendência de Operação



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

e Manutenção do Metrô BH, reforçando seu potencial de sustentabilidade e replicabilidade para além do escopo original do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARBER, N. J.; HOEL, L. A. **Traffic and Highway Engineering**. 5. ed. Stamford: Cengage Learning, 2014.

FALCONI, Vicente. **Gestão da Rotina do Trabalho do Dia a Dia**. 9. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. Tokyo: 3A Corporation, 1990.

ANDREWS, Kenneth R. **The Concept of Corporate Strategy**. Homewood: Dow Jones-Irwin, 1971.

DEMING, W. Edwards. **Out of the Crisis**. Cambridge: MIT Press, 1986.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. New York: Productivity Press, 1988



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANEXO A - MEMÓRIA DE CÁLCULO

A.1. Cálculo da Média Real e dos Limites de Controle (LI/LS)

Para cada indicador (partidas e chegadas), calculou-se a Média Real de 2024 (média aritmética simples dos 12 meses) e o desvio padrão da série, estabelecendo os Limites Inferior (LI) e Superior (LS) de controle estatístico, conforme a regra de ± 2 desvios padrão:

$$LI = \text{Média Real} - 2 \times \text{Desvio Padrão} ; LS = \text{Média Real} + 2 \times \text{Desvio Padrão}$$

Headway de Partidas:

- Média Real = 96,02%
- 2×Desvio Padrão = 3,31 p.p.
- LI = 96,02% – 3,31% = 92,71%
- LS = 96,02% + 3,31% = 99,33%
-

Headway de Chegadas:

- Média Real = 81,59%
- 2×Desvio Padrão = 6,29 p.p.
- LI = 81,59% – 6,29% = 75,30%
- LS = 81,59% + 6,29% = 87,88%

Aderência ao Headway de Partidas									
Mês	Partidas Aderentes	Partidas Totais	Headway Partidas	Média Real	2 * Desvio Padrão	LI	LS	Novo Headway	Nova Média
Janeiro	4.610	4.868	94,70%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	94,70%	96,36%
Fevereiro	5.041	5.248	96,06%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	96,06%	96,36%
Março	4.779	5.179	92,28%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%		96,36%
Abril	5.031	5.170	97,31%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	97,31%	96,36%
Maio	5.175	5.258	98,42%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	98,42%	96,36%
Junho	4.896	5.007	97,78%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	97,78%	96,36%
Julho	5.245	5.495	95,45%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	95,45%	96,36%
Agosto	5.012	5.235	95,74%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	95,74%	96,36%
Setembro	5.011	5.172	96,89%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	96,89%	96,36%
Outubro	5.160	5.430	95,03%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	95,03%	96,36%
Novembro	4.634	4.856	95,43%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	95,43%	96,36%
Dezembro	5.050	5.198	97,15%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	97,15%	96,36%
2024	59.644	62.116	94,56%	96,02%	3,31%	92,71%	99,33%	94,56%	96,36%

Nota: o mês de março, por apresentar resultado abaixo do LI, foi excluído do cálculo da Nova Média.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Aderência ao Headway de Chegadas									
Mês	Chegadas Aderentes	Chegadas Totais	Headway Chegadas	Média Real	2 * Desvio Padrão	LI	LS	Novo Headway	Nova Média
Janeiro	3.814	4.869	78,33%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	78,33%	81,59%
Fevereiro	4.185	5.248	79,74%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	79,74%	81,59%
Março	3.974	5.179	76,73%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	76,73%	81,59%
Abril	4.326	5.170	83,68%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	83,68%	81,59%
Mai	4.539	5.258	86,33%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	86,33%	81,59%
Junho	4.237	5.007	84,62%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	84,62%	81,59%
Julho	4.580	5.495	83,35%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	83,35%	81,59%
Agosto	4.365	5.235	83,38%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	83,38%	81,59%
Setembro	4.114	5.172	79,54%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	79,54%	81,59%
Outubro	4.226	5.430	77,83%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	77,83%	81,59%
Novembro	3.925	4.856	80,83%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	80,83%	81,59%
Dezembro	4.405	5.198	84,74%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	84,74%	81,59%
2024	50.690	62.117	81,60%	81,59%	6,29%	75,30%	87,88%	81,60%	81,59%

Nota: nenhum mês ficou fora dos limites de controle; a Nova Média manteve-se igual à Média Real.

A.2. Cálculo da Meta 2025 pelo Método da Lacuna

Aplicou-se a fórmula: **Meta = Nova Média + [(Melhor Resultado Mensal – Nova Média) × 20%]**

Headway de Partidas:

- Nova Média = 96,36%
- Melhor Resultado Mensal (maio/2024) = 98,42%
- Diferença: 98,42% – 96,36% = 2,06 p.p.
- 20% da diferença: 2,06 × 0,20 = 0,412 p.p.
- Meta = 96,36% + 0,412% = 96,77%**

Headway de Chegadas:

- Nova Média = 81,59%
- Melhor Resultado Mensal (maio/2024) = 86,33%
- Diferença: 86,33% – 81,59% = 4,74 p.p.
- 20% da diferença: 4,74 × 0,20 = 0,948 p.p.
- Meta = 81,59% + 0,948% = 82,54%**

A.3. Headway Geral — Média Aritmética das Metas

Meta Geral = (Meta Partidas + Meta Chegadas) / 2 = (96,77% + 82,54%) / 2 = 89,655% ≈ 89,66%



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A.4. Percentual de Aderência ao Headway (Shakedown e Rastreabilidade)

Fórmula: **% Aderência = (Viagens Aderentes / Viagens Totais) × 100**

- Headway de Chegadas, março/2025: 4.146 / 5.196 = **79,79%**
- Headway de Chegadas, novembro/2025: 4.046 / 4.868 = **83,11%**
- Headway de Partidas, março/2025: 4.988 / 5.196 = **96,00%**
- Headway de Partidas, novembro/2025: 4.727 / 4.868 = **97,10%**

A.5. Percentual de Ocorrências Sem Causa Identificada

Fórmula: **% Sem Causa = (Ocorrências Sem Causa / Total de Ocorrências) × 100**

- Março/2025: 843 / 1.258 = 67,01% ≈ **67%**
- Novembro/2025: 378 / 963 = 39,25% ≈ **39%**
- Redução: 67% – 39% = **28 pontos percentuais**

A.6. Redução do Volume de Viagens Não Aderentes

Fórmula: **% Redução = [(Volume Inicial – Volume Final) / Volume Inicial] × 100**

$(1.258 - 963) / 1.258 = 295 / 1.258 = \mathbf{23,45\% \approx 23,4\%}$