

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



CATEGORIA (3)

CARTAS DE CONTROLE *EWMA* PARA MONITORAMENTO DO HEADWAY
PRATICADO PELAS LINHAS CPTM

INTRODUÇÃO

Um grande desafio para os operadores de transporte público ferroviário das regiões metropolitanas é o atendimento dos anseios dos passageiros, tais como um serviço mais regular, confiável e pontual. A busca de soluções adequadas a esses desafios rotineiros passa por uma melhoria operacional, sendo imprescindível responder de forma rápida e eficiente às adversidades que podem impactar na qualidade do serviço oferecido ao passageiro.

A concepção operacional da qualidade diz que a qualidade deve ser gerada no processo produtivo, de forma que a maioria das técnicas empregadas devem ser focadas em melhorias desse processo e consequentemente o pleno atendimento do cliente. No âmbito do transporte público ferroviário não é diferente e as melhorias realizadas no processo devem contemplar o pleno atendimento dos passageiros. Para que esse

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



atendimento seja possível a estratégia básica consiste na melhor organização do processo, dividido em três etapas: eliminação das perdas (atrasos e/ou desembarques), eliminação das causas das perdas e otimização do processo. Dessa forma é coerente dizer que não existe um processo que não possa ser melhorado. Essas melhorias podem ser viabilizadas através da implementação de métodos e ferramentas eficazes, com destaque para o controle estatístico de processo (CEP) (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Conforme Montgomery (2017), para que um produto ou serviço atenda ou mesmo exceda as expectativas de um cliente, ele deve de forma geral ser produzido em um processo que seja estável ou replicável. Ou, seja ele deve ter uma pequena variabilidade em torno das características propostas. Assim o controle estatístico de processo (CEP) é de extrema importância para essa estabilidade e conseqüentemente redução de variabilidade, melhorando o desempenho dos processos. As sete principais técnicas que fazem parte do CEP são: histograma, folha de controle, gráfico de Pareto, diagrama de causa e efeito, diagrama de concentração de defeito, diagrama de dispersão e os gráficos ou cartas de controle.

De todas as técnicas do CEP, a principal e mais utilizada para monitoramento de processos são os gráficos ou cartas de controle, que foram inicialmente desenvolvidas por Shewhart em 1931. Elas mensuram a característica da qualidade avaliada ao longo do tempo ou mesmo conforme número de amostras. Essas medidas devem ser distribuídas aleatoriamente ao longo de uma linha central e dentro de duas outras linhas denominadas limites de controle. As cartas de controle apresentam algumas

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



particularidades especialmente importantes para o monitoramento de processos, tais como: auxiliam a identificação do instante em que houve alguma alteração, é um método visual de monitoramento e diagnóstico de fácil compreensão, além também de evitar ajustes desnecessários nos processos (MONTGOMERY, 2017).

As cartas de controle podem ser divididas basicamente em dois tipos: cartas de controle de atributos (conforme/não conforme ou defeituoso/não defeituoso) e cartas de controle de variáveis (medidas numéricas), conforme Montgomery (2017). Cada um desses tipos pode variar de acordo com a característica da qualidade a ser avaliada. Em se tratando do transporte ferroviário de passageiros uma característica extremamente importante a ser avaliada é o intervalo entre os trens ou *headway*, ou seja, a medida numérica de tempo desse intervalo, que pode ser expressa em minutos ou segundos. Algumas das características do *headway* é a capacidade de ser sensível a pequenas mudanças no processo e a possibilidade de ser mensurado de forma individual. Coincidindo com algumas das particularidades da carta EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average* – média móvel exponencialmente distribuída).

DIAGNÓSTICO

A CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – é uma das empresas responsáveis pelo transporte ferroviário de passageiros na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Ela atende a 18 municípios, com uma malha de 196 km de extensão,

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

divididos entre 57 estações. Transporta em média cerca de 1,5 milhões de passageiros por dia útil (dados referentes a novembro de 2022) em suas 5 linhas: Linha 07 – Rubi (que liga a estação Brás no centro de São Paulo à estação Jundiaí na cidade de Jundiaí); a Linha 10 – Turquesa (liga a estação Brás à estação Rio Grande da Serra também na cidade de Rio Grande da Serra); a Linha 11 – Coral (estação Luz até a estação Estudantes, no município de Mogi das Cruzes); a Linha 12 – Safira (estação Brás até a estação Calmon Viana na cidade de Poá) e por último a Linha 13 – Jade (estação Engenheiro Goulart até a estação Aeroporto-Guarulhos, no município de Guarulhos). O detalhamento das linhas e estações pode ser visto na figura 1 seguinte:

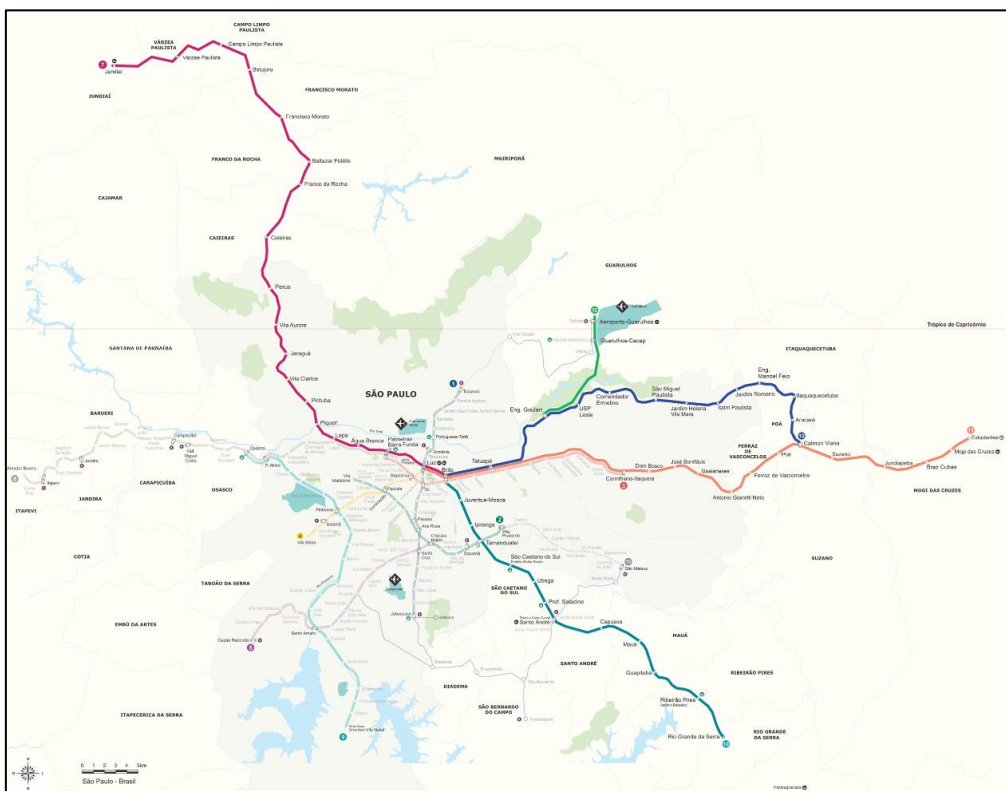


Figura 1 – Mapa das linhas da CPTM na RMSP

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Além disso é importante ressaltar que cada linha apresenta uma configuração operacional distinta com intervalos e extensões próprias que podem ser observadas na tabela 1:

Tabela 1 – características das linhas CPTM

Linha	Extensão	Headway - (dias úteis)	Horário de funcionamento	Passageiros (média dias úteis)
Linha 07 – Rubi	63,0 km	6,0 min	4h – 24h	373,4 mil
Linha 10 – Turquesa	38,0 km	6,0 min	4h – 24h	336,7 mil
Linha 11 – Coral	50,5 km	3,5 min	4h – 24h	503,9 mil
Linha 12 – Safira	39,0 km	5,0 min	4h – 24h	247,9 mil
Linha 13 – Jade	12,2 km	15,0 min	4h – 24h	19,3 mil

Um ponto importante a ser mencionado é que a CPTM apresenta um Sistema de Gestão da Qualidade com políticas e objetivos de qualidade bem definidos em todo o setor operacional. Dentre esses objetivos destacam-se a melhoria contínua do atendimento ao passageiro e da qualidade dos processos e serviços prestados. No contexto do Controle Estatístico de Processo (CEP) é essencial para o sucesso da implantação que a organização esteja comprometida com todo o contexto de melhoria de processos (COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS, 2023).

Para que as viagens realizadas diariamente pelos trens da CPTM consigam atender aos seus passageiros é importante que suas características funcionais sejam

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



constantes e pouco suscetíveis às variações causadas por fatores perturbadores. Uma característica funcional bastante crítica para os passageiros da CPTM é o tempo de espera nas estações, ou em outras palavras o *headway*. Percepção essa, evidenciada na última pesquisa de satisfação dos passageiros divulgada no site institucional. De tal modo, a escolha do *headway* como característica da qualidade a ser adotada para a implementação do CEP se mostrou bastante pertinente.

Em Malta et. al. (2017) pode ser visto que dentre todas as técnicas do CEP, a mais empregada para melhoria e acompanhamento de processos são as cartas ou gráficos de controle. Elas permitem a redução de variabilidade do processo, além de possibilitar a identificação de causas de instabilidade e indicação de ações de prevenção e correção das causas dessa instabilidade.

Em qualquer processo é esperada uma certa variabilidade, que podem ser resultantes de diversas pequenas perturbações inerentes ao próprio processo e normalmente inevitáveis, sendo chamadas de causas aleatórias ou comuns. Quando um processo está somente sob efeito de causas comuns ou aleatórias é dito que ele se encontra estatisticamente sob controle. Por outro lado, existem algumas variações decorrentes de causas que fogem ao padrão das pequenas perturbações rotineiras, representando um nível inaceitável do processo. Essas causas são chamadas de atribuíveis ou especiais e sua presença indica que o processo não está sob controle estatístico. Um dos maiores objetivos do CEP e conseqüentemente dos gráficos ou

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

cartas de controle é determinar quando uma causa especial ou atribuível age em um dado processo (MONTGOMERY, 2017).

Uma carta de controle pode ser definida como um gráfico contendo três linhas e um conjunto de pontos que representam as médias de pequenas amostras, normalmente chamadas de subgrupos racionais, cuja medição é periódica conforme a particularidade de cada processo. As três linhas do gráfico representam dois limites de controle (um superior (LSC) e um inferior (LIC)) e uma linha central (valor médio da característica avaliada), conforme Carvalho e Paladini (2012).

A figura 2 mostra uma representação de uma carta de controle genérica com os elementos essenciais do gráfico:

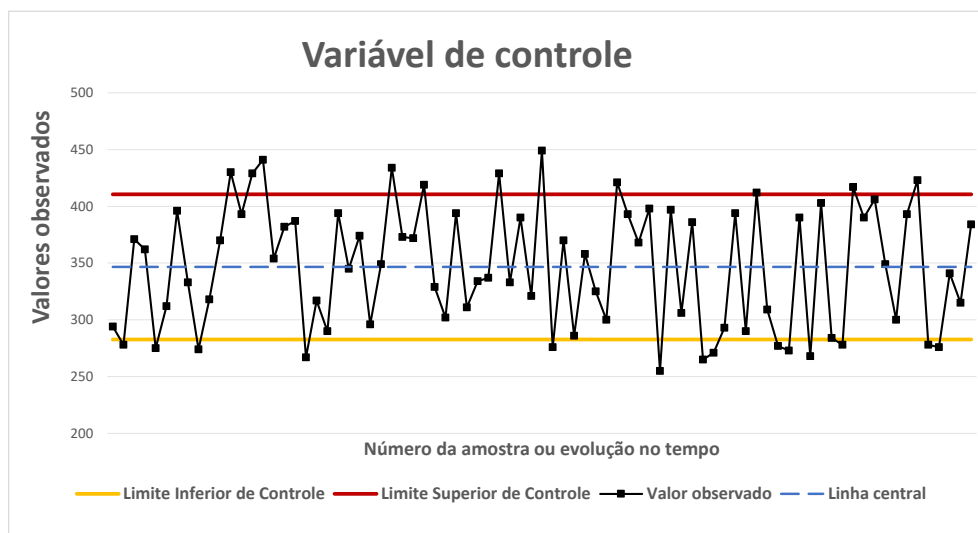


Figura 2 – Modelo de uma carta de controle

Para se calcular esses limites as equações de forma geral são dadas conforme a seguir:

$$LSC = \mu_0 + k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

$$LC = \mu_0$$

$$LIC = \mu_0 - k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

(1)

onde *LSC*: Limite Superior de Controle, *LC*: Linha Central, *LIC*: Limite Inferior de Controle, μ_0 : média, σ_0 : desvio-padrão, *n*: tamanho de cada subamostra ou subgrupo racional e *k*: 3 (a definição dessa constante se baseia no fato de considerar que cerca de 99,73% dos valores das médias amostrais se localizarem dentro dos intervalos de controle em um processo livre de causas especiais (SALES, 2020). As cartas de controle desenvolvidas por Shewhart deve seguir alguns princípios tais como a coleta de amostras independentes ao longo do tempo e que os dados provenientes dessas amostras sigam uma distribuição normal, conforme figura 3:

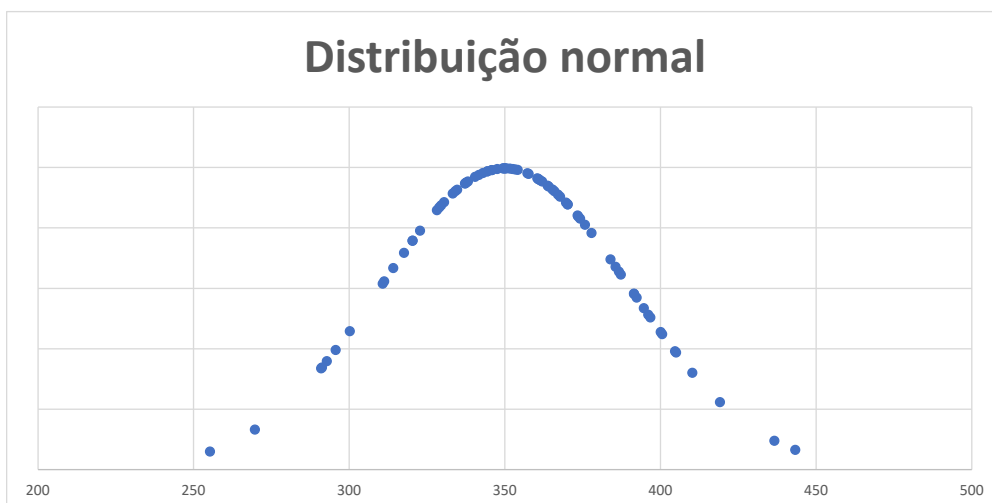


Figura 3 – Formado da curva de uma distribuição Normal

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Em Montgomery (2017) é dito que a interpretação de uma carta de controle pode ser feita de acordo com a posição dos pontos ao longo do tempo, onde o processo é dito estar sob controle caso todos os pontos estejam oscilando ao redor da média, dentro dos limites de controle e de forma aleatória e sem nenhum padrão evidente. Já para o processo que não está sob controle é importante observar de forma geral a existência de:

- Um ponto fora dos limites de controle de 3σ ;
- Dois a cada três pontos consecutivos além do limite de alerta de 2σ ;
- Quatro a cada cinco pontos consecutivos se localizam a uma distância de σ ou mais da linha central;
- Uma grande sequência de pontos crescente ou decrescente, indicando tendência ao aumento ou diminuição da característica observada.

É importante ressaltar que o critério básico são pontos fora dos limites de controle e que as observações anteriores são de caráter complementar para a análise das cartas de controle e respectivamente o desempenho do processo.

Uma das grandes desvantagens das cartas de controle de Shewhart é a utilização somente da informação mais recente do processo, ignorando todo o histórico de observações. Isso torna o gráfico pouco sensível às mudanças pequenas (inferiores a $1,5\sigma$) no processo, sendo pouco úteis para monitoramento de um processo já estabilizado. Outra grande desvantagem é a pressuposição da normalidade do conjunto de dados. Em processos reais dificilmente os valores observados seguirão uma

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



distribuição normal. Nesses casos, é interessante o uso de uma alternativa às cartas de Shewhart, onde seja possível o acompanhamento e monitoramento de processos não normais e que tenham pouca variação ao longo do tempo (SALES, 2020).

Em Moretti et. al. (2019) é dito que uma boa alternativa aos gráficos de Shewhart são as cartas de controle da Média Móvel Exponencialmente Ponderada (*Exponentially Weighted Moving Average*) – EWMA, concebida por Roberts em 1959. Nessa técnica, as informações sequenciais das observações são consideradas na carta de controle, de forma que os valores mais recentes possuem um peso maior e as observações mais antigas um peso menor. Outra importante consideração é o fato desta carta de controle não ser sensível à normalidade dos dados. A confecção da carta de controle então é dada pelas seguintes equações:

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (2)$$

onde: z_i é a estatística utilizada; $0 < \lambda \leq 1$ constante que indica o parâmetro dos pesos das observações (quando $\lambda = 1$ a carta EWMA equivale ao gráfico de Shewhart) e x_i a observação para cada amostra. Os limites de controle são dados conforme conjunto de equações da expressão 3 (onde o L indica o número de múltiplos de desvios-padrão em que os limites estão da linha central (LC)).

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (3)$$

$$LC = \mu_0$$

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} [1 - (1 - \lambda)^{2L}]}$$

Para a elaboração das cartas de controle do *headway* foram obtidos os dados referentes ao período compreendido entre fevereiro e junho de 2023, sendo um total de 102 observações por turno e por linha. Importante destacar que cada observação é referente a um subgrupo amostral, ou seja, para cada linha foram medidos os intervalos entre trens durante uma faixa de 60 minutos, com o tamanho de cada subgrupo variando conforme o *headway* realizado por linha, assim linhas que apresentam *headway* menor como a Linha 11 – Coral, possui um subgrupo maior do que a Linha 13 – Jade, visto que esta possui um *headway* maior.

Tabela 2 – Pontos de medição do Headway das linhas CPTM

Linha	Manhã		Tarde	
	Intervalo de medição	Estação	Intervalo de medição	Estação
Linha 07 – Rubi	06:00 - 07:00	Pirituba	17:30 - 18:30	Lapa
Linha 10 – Turquesa	06:30 - 07:30	Pref. Celso Daniel- Santo André	17:30 - 18:30	Pref. Celso Daniel- Santo André
Linha 11 – Coral	06:00 - 07:00	Corinthians - Itaquera	17:30 - 18:30	Corinthians - Itaquera

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Linha 12 – Safira	06:00 -	São Miguel	17:45 -	São Miguel
	07:00	Paulista	18:45	Paulista
Linha 13 – Jade	06:00 -	Guarulhos -	18:00 -	Guarulhos -
	07:00	CECAP	19:00	CECAP

Após a obtenção dos dados foram então elaboradas as estatísticas descritivas básicas para identificação da variabilidade presente no processo. Conhecendo a variabilidade das linhas por turno, pode-se então verificar a condição de normalidade do conjunto dos dados, e que conforme visto em Montgomery (2017) é um fator de extrema importância para a elaboração das cartas de controle. Foram realizados dois testes de normalidade no conjunto de dados, os testes de Lilliefors (uma variação do teste de Kolmogorov-Smirnov) e o teste de Anderson-Darling, ambos capazes de detectar não normalidades de forma satisfatória conforme visto em Ferreira (2022). Assim, foi possível então elaborar as cartas de controle para o *headway* das linhas CPTM. Para a execução do trabalho foram utilizadas planilhas eletrônicas do MS-Excel.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme dito anteriormente, inicialmente foram obtidas as estatísticas descritivas das linhas da CPTM para identificar o comportamento e a variabilidade dos subgrupos racionais em segundos, conforme resumido na tabela 3:

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



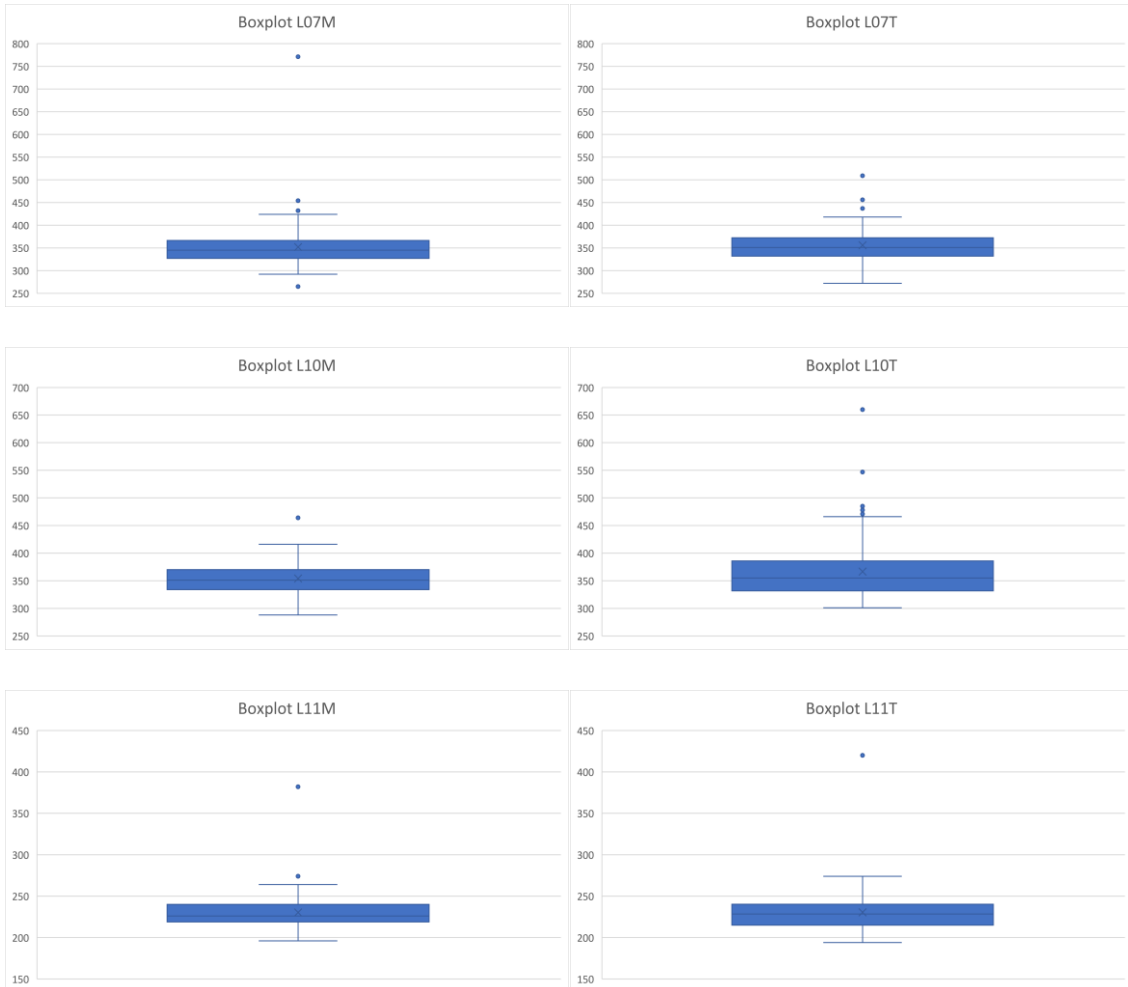
Tabela 3 - Resumo estatístico das linhas CPTM

Medidas (em segundos)	Linha 07 Rubi		Linha 10 Turquesa		Linha 11 Coral		Linha 12 Safira		Linha 13 Jade	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Média	351,79	355,66	354,15	366,42	230,28	230,38	327,71	335,86	898,54	897,09
Mediana	345,00	351,00	351,00	355,00	226,00	228,50	322,00	334,00	899,00	899,00
Modo	366,00	315,00	365,00	355,00	225,00	224,00	320,00	319,00	900,00	900,00
Desvio Padrão	52,34	40,14	30,48	54,22	21,91	25,37	32,53	38,27	9,60	16,21
Variância	2739,67	1610,94	929,26	2940,35	480,15	643,60	1058,13	1464,93	92,17	262,66
Mínimo	265,00	272,00	288,00	301,00	196,00	194,00	276,00	275,00	880,00	851,00
Máximo	771,00	516,00	467,00	660,00	382,00	420,00	540,00	490,00	949,00	990,00

Conhecendo os resultados das estatísticas descritivas é possível perceber a existência de variabilidade entre turnos da mesma linha e entre linhas de intervalos programados semelhantes, conforme visto na tabela 1 anteriormente. Graficamente falando essa variabilidade foi expressa por meio dos Diagramas de caixa ou Boxplot conforme figura 4 (cada gráfico é referente à um turno e uma linha de forma que L07M significa Linha 07 – Rubi turno da Manhã, e assim sucessivamente):

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

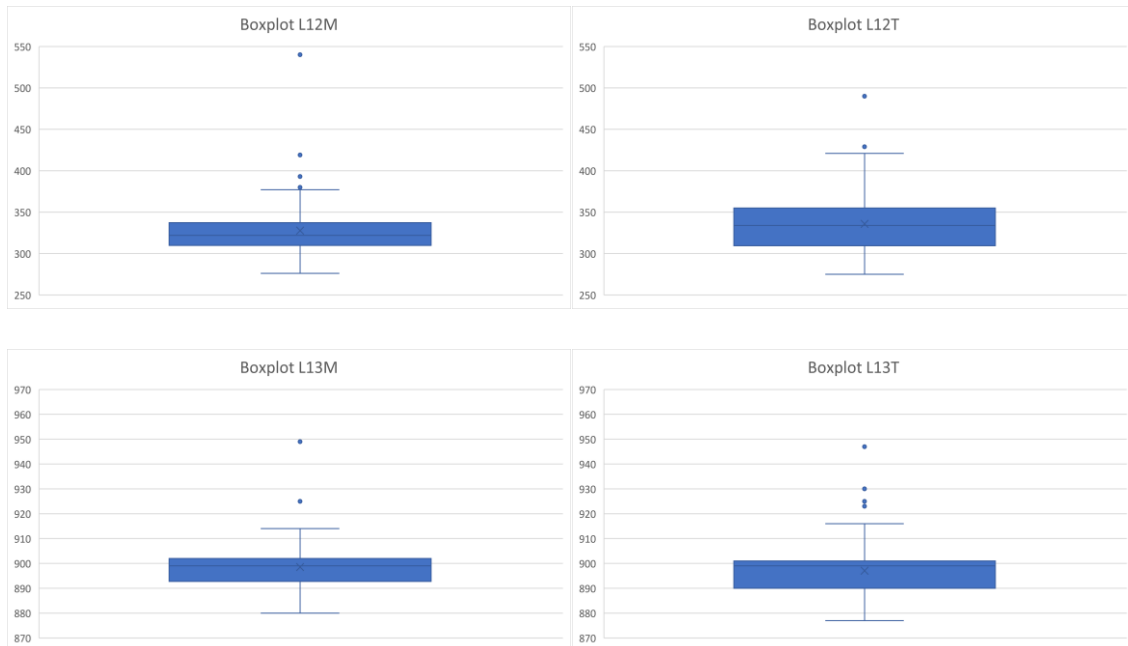


Figura 4 – Diagramas de caixa (Boxplots) para os *headways* realizados pelas linhas CPTM.

Esses diagramas mostram a distribuição dos dados de acordo com os quartis, ou seja, a amplitude do conjunto de dados. A base da caixa corresponde ao 1º quartil, a linha que divide a caixa mostra a mediana ou (2º quartil) e a parte superior da caixa mostra o 3º quartil. As linhas horizontais ou “bigodes” delimitam a amplitude do conjunto de dados. Um ponto importante a ser observado é a presença de *outliers* (os pontos fora dos limites de amplitude). Esses pontos indicam resultados bastante incomuns para o processo. Especificamente para cada linha e cada turno houve ocorrências ou interferências durante o processo que levaram o aumento do intervalo entre trens durante a medição dos tempos. Em cada um desses casos existe uma ação responsiva

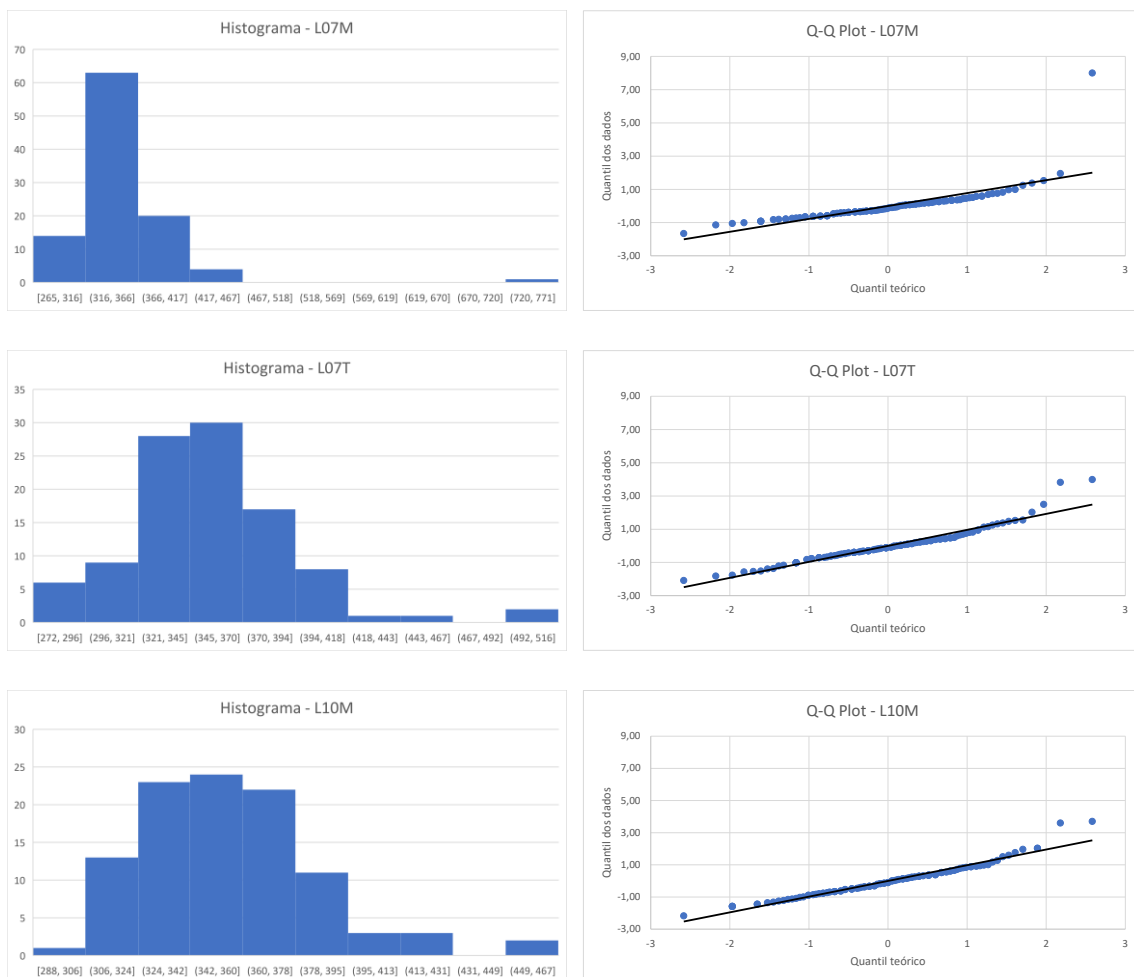
29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



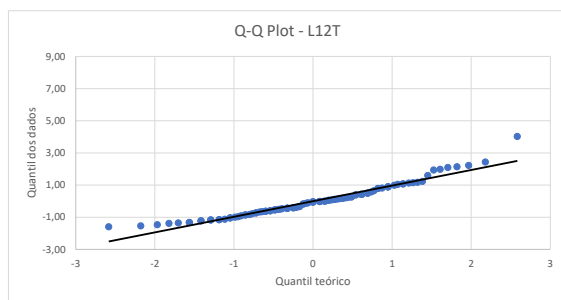
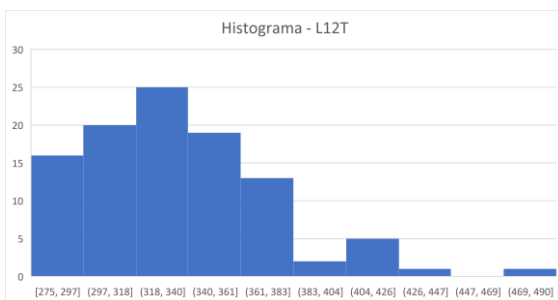
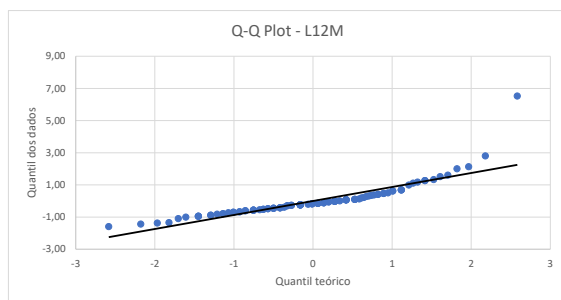
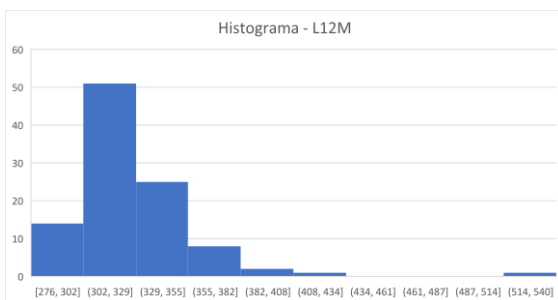
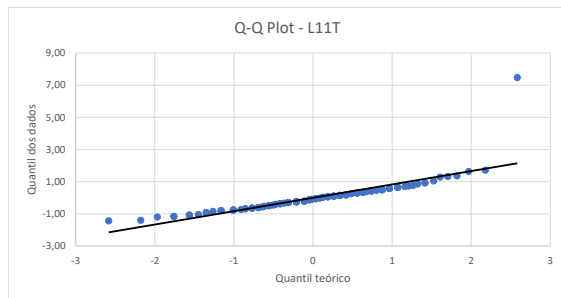
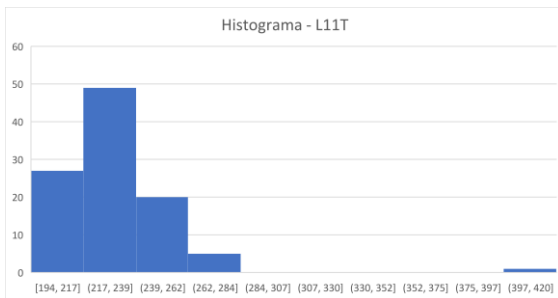
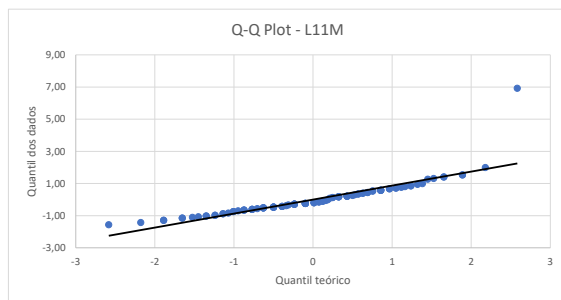
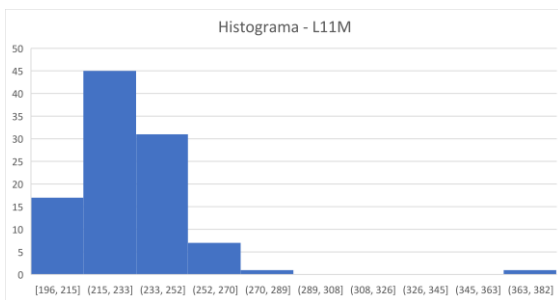
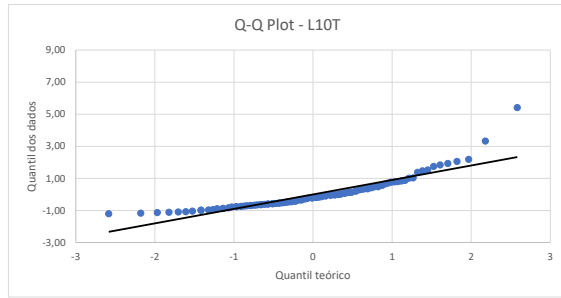
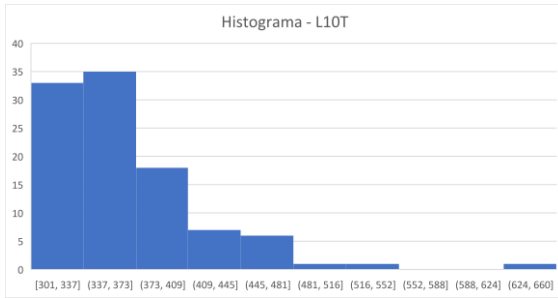
das equipes envolvidas para que a circulação de trens e conseqüentemente o intervalo entre eles seja restabelecido às condições regulares.

O próximo passo para a confecção das cartas de controle é verificar o comportamento das observações conforme sua aderência ou não à distribuição Normal. Uma maneira visual de fazer essa verificação é por meio de histogramas (uma das ferramentas do CEP, conforme visto anteriormente) e os gráficos de Quantil ou QQ-Plot, que comparam a distribuição de probabilidade real dos dados com uma distribuição Normal teórica. O que pode ser visualizado na figura 5:



29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

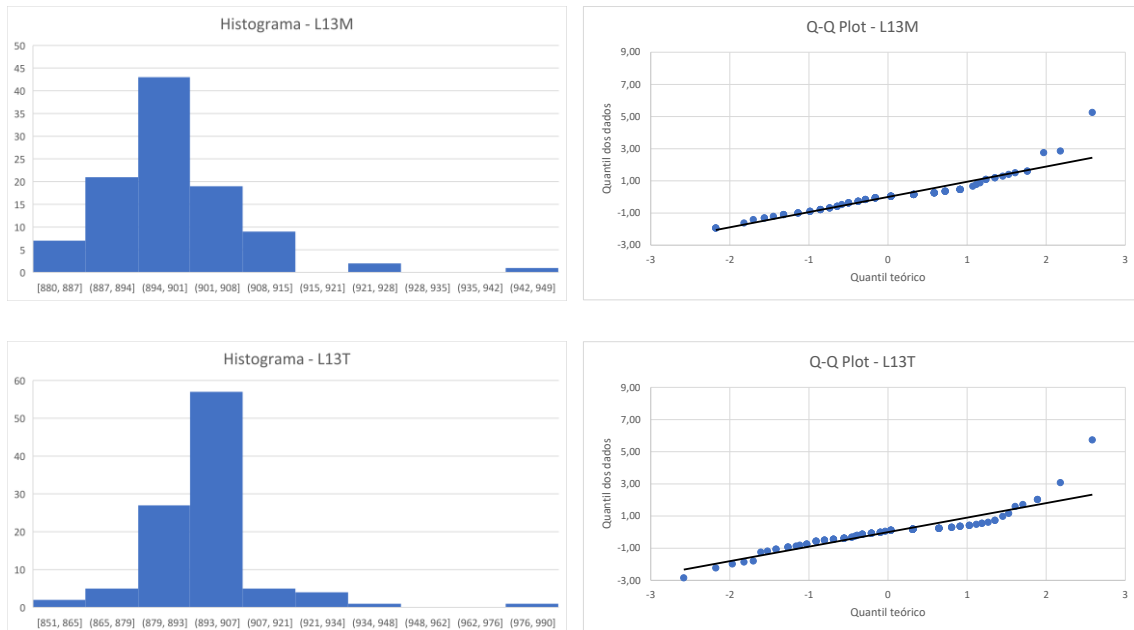


Figura 5 - Histogramas e Q-Q Plots obtidos

Em todos os gráficos de Quantis foi possível verificar a influência dos valores extremos das séries, porém ao realizar a verificação conjunta do histograma nota-se que o caráter assimétrico à direita dos dados se mantém, independentemente da presença dos *outliers*. Embora em alguns casos a curva possa se assemelhar à uma distribuição Normal (como no processo da Linha 07 – Rubi turno da tarde, Linha 10 – Turquesa turno da tarde e Linha 13 – Jade turno da manhã), é necessário a realização de testes não-paramétricos para a verificação da normalidade dos dados.

De acordo com Ferreira (2022), existem vários testes de normalidade que se diferenciam por apresentarem métodos diferentes de verificação e de adequação das amostras. Para os valores de *headway* foram realizados os testes de Lilliefors e de Anderson-Darling por serem testes mais adequados ao tamanho das amostras obtidas

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



e serem sensíveis à assimetria observada nos histogramas. O funcionamento básico de um teste de normalidade é o mesmo de um teste comum de hipótese, onde se é testado a rejeição ou não da hipótese nula H_0 . Assim caso o valor da estatística calculado seja maior que o tabelado a hipótese nula H_0 deve ser rejeitada e os dados não seguem uma distribuição normal. A tabela 4 mostra o resumo dos resultados obtidos para os testes de normalidade:

Tabela 4 - Resultados dos testes de normalidade

Testes	Linha 07 Rubi		Linha 10 Turquesa		Linha 11 Coral		Linha 12 Safira		Linha 13 Jade	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Lilliefors Tabelado	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Lilliefors Calculado	0,17	0,11	0,08	0,14	0,10	0,13	0,18	0,09	0,17	0,20
A-D Tabelado	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
A-D Calculado	6,39	1,52	1,03	3,95	3,05	3,88	4,73	1,21	2,89	5,20

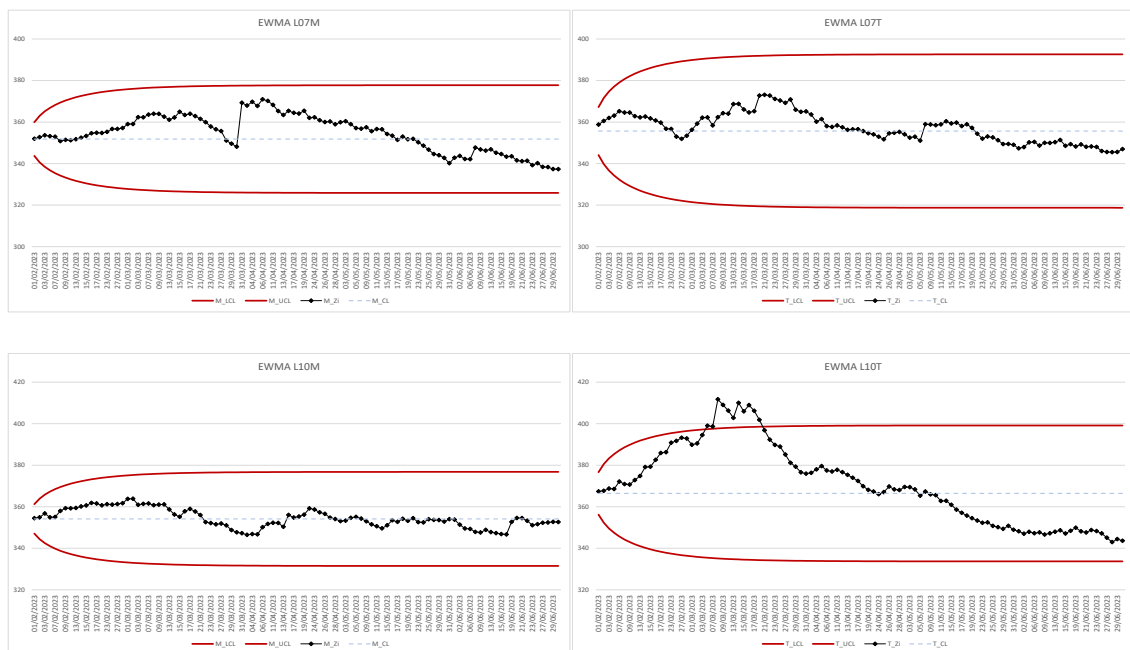
29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Conforme tabela 4, nota-se que nenhum dos valores calculados foram iguais ou menores do que os valores de referência, levando assim à rejeição da hipótese nula H_0 de que os dados seguem uma distribuição normal.

Conhecendo o comportamento do conjunto de dados frente à distribuição de probabilidade e sua variabilidade já é possível a construção das cartas de controle. Como visto anteriormente, para escolher a carta de controle mais adequada ao processo uma das principais características a ser observada é a normalidade do conjunto de dados. Para o *headway* todas as séries se mostraram não normais, o que nos leva a selecionar a carta de controle EWMA. Para os cálculos foram consideradas as equações 2 e 3. Gerando as seguintes cartas da figura 6. Assim, as linhas vermelhas são os limites de controle e a linha central as observações modificadas por um valor de referência conforme definido na equação 2 apresentada previamente.



29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

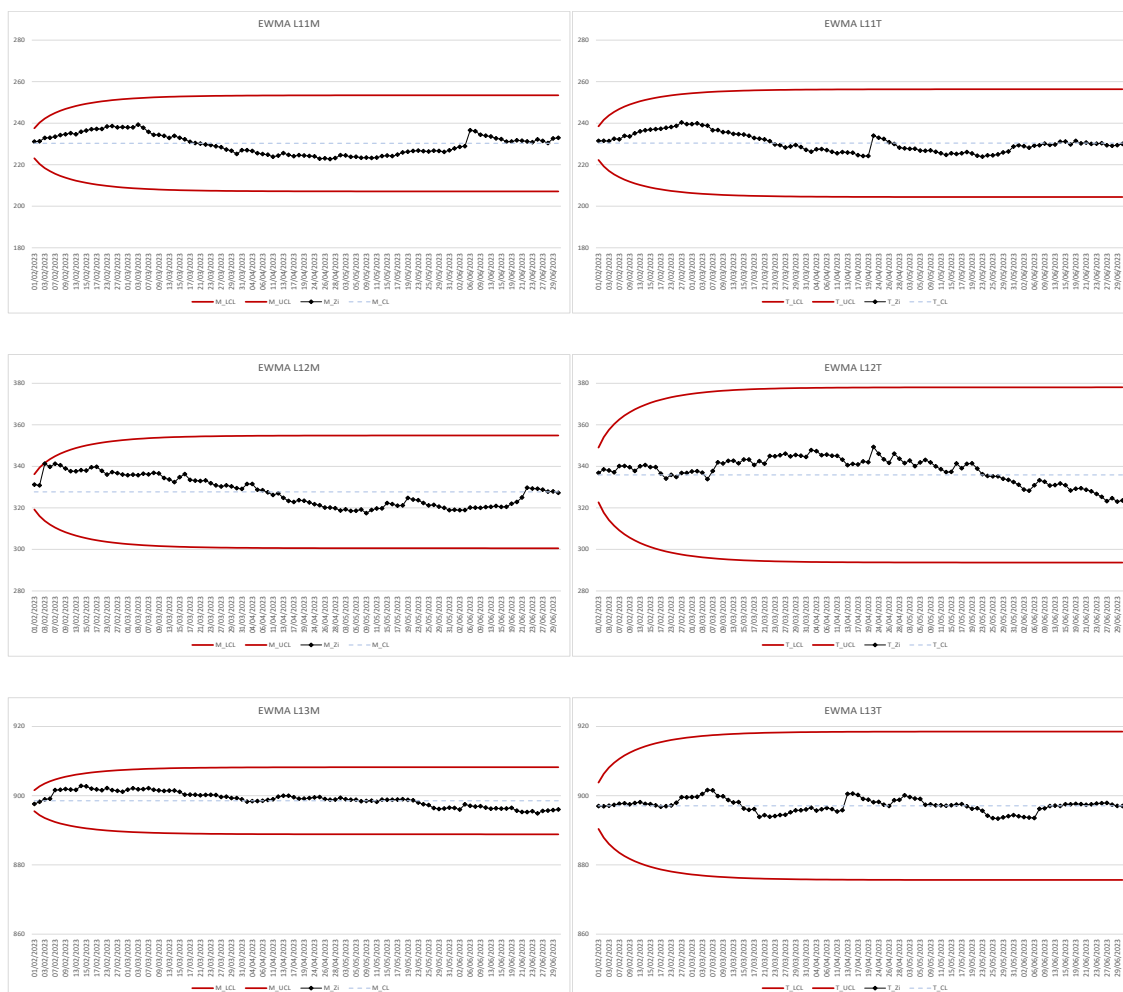


Figura 6 - Cartas de controle EWMA para o headway

Nota-se que em todos os casos a variabilidade indicada previamente durante a confecção das estatísticas básicas se mostra presente nas cartas. De acordo com as regras de interpretação propostas em Montgomery (2017) o processo não se encontra sob controle. Uma vez que é possível notar pontos fora de controle como na Linha 10 – Turquesa no turno da tarde, várias observações sequenciais em torno do valor médio observado na Linha 13 – Jade turno da manhã. Em algumas linhas como as linhas 07 – Rubi, 11 – Coral e 12 – Safira também é possível notar a tendência de valores abaixo da

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



média do período, o que pode indicar uma possível alteração no processo, o que em se tratando de intervalo de trens pode ser considerado um ganho para o passageiro. Um outro ponto a ser observado é a grande variabilidade existente entre os turnos de uma mesma linha, onde o turno da tarde claramente apresenta limites de controles mais largos e conseqüentemente com maior variabilidade.

CONCLUSÕES

A melhoria da qualidade de serviços e produtos oferecidos pelas organizações a seus clientes passa obrigatoriamente pela redução da variabilidade dos processos. Dessa forma, o trabalho procurou mostrar como a implementação das técnicas de Controle Estatístico de Processo – CEP podem contribuir para essa melhoria e conseqüentemente aumento da satisfação dos clientes.

Em se tratando do transporte público ferroviário da RMSP, uma característica de extrema importância do serviço oferecido pela CPTM aos passageiros é o intervalo entre trens ou *headway*. De tal modo que a implementação de melhorias nesse aspecto do processo pode melhorar consideravelmente a satisfação dos passageiros. Uma das maneiras mais eficazes de implementação de melhorias em processos é dada pelo uso das cartas de controle.

Durante a elaboração das cartas de controle foi verificado de que forma a variabilidade dos intervalos pode acarretar a perda da função de qualidade do *headway*.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Notou-se embora possa aparentar graficamente com uma distribuição normal, os dados dos intervalos não seguem a normalidade. O que levou à escolha da carta de controle EWMA para o acompanhamento e monitoramento do processo. Foi demonstrado também a presença de *outliers* no conjunto de dados observado, significando a presença de causas especiais de variabilidade no processo.

De forma geral, pôde-se demonstrar que as cartas de controle conseguiram captar de forma bastante positiva pequenas alterações no processo, conforme visto anteriormente, onde mesmo o processo não estando sob controle estatístico foi possível captar as tendências e variações ao logo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, M.M.; PALADINI, E.P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. **Portal CPTM**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.cptm.sp.gov.br/Pages/Home.aspx>>. Acesso em 25 de jul. de 2023.

FERREIRA, A. R. **Testes de normalidade: um estudo comparativo**. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

MALTA, M. S. et. al. Uma revisão bibliográfica sobre controle estatístico de processos utilizando o enfoque metaanalítico. **XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2017. DOI: 10.14488/enegep2017_tn_sto_239_385_34655.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SALES, L. O. F. **Gráficos de controle para o monitoramento de dados simétricos e log-simétricos**. 80p. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Estatística) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

MORETTI, V. et. al. Gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada aplicado ao monitoramento estatístico de um processo de usinagem. **IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. 2019. DOI: 10.29327/118406.9-1.