www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/pgrkkx32

Variabilidade e capabilidade do tempo de saída de garrafões de 20 litros em uma linha de envase de água mineral[1]

Variability and capability of the output time of 20-liter water jugs in a mineral water bottling line

Variabilidad y capacidad del tiempo de salida de bidones de 20 litros en una línea de envasado de agua mineral

Estevão Luiz de Oliveira Gonçalves[2]

Henrique Vieira Santos[3]

Pedro Henrique Gaigher Altoé[4]

Resumo

Este trabalho analisou a variação do tempo de saída de garrafões de 20 litros em uma linha de envase de água mineral do norte do Espírito Santo, com tempos cronometrados em campo e ferramentas do controle estatístico de processo. As trocas de caminhão ocuparam cerca de um quarto do tempo e, fora delas, o processo foi estável, mas com média acima da referência da empresa. A principal oportunidade está na organização das trocas de caminhão.

Palavras-chave: Controle estatístico de processo; Capabilidade de processo; Carta de controle; Envase de água mineral; Otimização de processo.

Abstract

This study analyzed the variation in the output time of 20-liter jugs in a mineral water bottling line in Espírito Santo, Brazil, using field timing and statistical process control tools. Truck changes took about a quarter of the time and, apart from them, the process was stable, but with a mean above the company's reference. The main opportunity lies in organizing truck changes.

Keywords: Statistical process control; Process capability; Control chart; Mineral water bottling; Process optimization.

Resumen

Este trabajo analizó la variación del tiempo de salida de bidones de 20 litros en una línea de envasado de agua mineral de Espírito Santo, Brasil, con cronometraje en campo y control estadístico de procesos. Los cambios de camión ocuparon cerca de un cuarto del tiempo y,

[1] VARIABILIDADE E CAPABILIDADE DO TEMPO DE SAÍDA DE GARRAFÕES DE 20 LITROS EM UMA LINHA DE ENVASE DE ÁGUA MINERAL

[2] Mestre em Desenvolvimento Regional e Educação. Centro Universitário Vale do Cricaré. E-mail: estevaonv@hotmail.com

[3] Acadêmico do 10º período de Engenharia de Produção. Centro Universitário Vale do Cricaré. E-mail: vieirahenrique321@gmail.com

[4] Acadêmico do 10º período de Engenharia de Produção. Centro Universitário Vale do Cricaré. E-mail: pedroaltoe164@gmail.com

fuera de ellos, el proceso fue estable, pero con media superior a la referencia de la empresa. La principal oportunidad está en organizar los cambios de camión.
Palabras clave: Control estadístico de procesos; Capacidad de proceso; Gráfico de control; Envasado de agua mineral; Optimización de procesos.

1 Introdução

O mercado brasileiro de água mineral envasada cresceu 61% entre 2010 e 2018, e em 2019 o país ocupava a sexta posição entre os maiores produtores de água engarrafada do mundo. Ao mesmo tempo, 74,78% das empresas do setor são de porte médio, pequeno ou micro (AMORIM *et al.*, 2023). Para essas empresas, que normalmente contam com poucos recursos de engenharia, conhecer o próprio processo é uma forma acessível de ganhar eficiência sem novos investimentos em equipamentos.

Uma característica marcante do segmento é o garrafão retornável de 20 litros. O recipiente vazio é devolvido pelo cliente ou distribuidor, passa por inspeção e higienização, é envasado, lacrado e rotulado e volta ao caminhão que fará a entrega (AMORIM *et al.*, 2023). O final da linha é, assim, o ponto em que a produção se encontra com a expedição. Se o ritmo de saída dos garrafões oscila, o carregamento demora mais, os caminhões ficam mais tempo no pátio e a programação de entregas perde previsibilidade.

Os estudos de Controle Estatístico de Processo (CEP) em linhas de envase costumam avaliar o conteúdo das embalagens, como peso ou volume (GONÇALVES; MORAES; BARBOSA, 2022; KANEKO *et al.*, 2023; JESUS *et al.*, 2024). No setor de água, há trabalhos sobre mapeamento de processos e riscos (AMORIM *et al.*, 2023), controle do pH (QARASH, 2023) e redução de custos em garrafões de 20 litros (VARGAS-DIAZ *et al.*, 2025). Este último acompanhou o tempo de enchimento, mas sem informar os limites usados no cálculo da capabilidade. São raros os estudos que tratam o tempo de saída dos garrafões como uma característica do processo, separando a variação da própria linha das paradas causadas pela logística de carregamento. Além do controle estatístico, ferramentas da gestão da produção, como o indicador de eficiência global (OEE) e a troca rápida de ferramentas (SMED), ajudam a identificar onde o tempo produtivo é perdido (ANDRADE; PATUZZO; CARDOSO, 2025; SOUZA; GUEDES, 2025), e a combinação dessas abordagens orienta este trabalho.

Diante disso, este trabalho busca responder à seguinte questão: a linha de envase de garrafões de 20 litros mantém um ritmo de saída estável e compatível com o tempo de referência da empresa?

O objetivo geral é analisar a variação do tempo de saída de garrafões de 20 litros em uma linha de envase de água mineral, verificando se o processo é estável, se atende ao tempo de referência informado pela empresa e qual o peso das trocas de caminhão sobre esse tempo. Os objetivos específicos são: (a) mapear o processo e definir o ponto de medição; (b) cronometrar o tempo de saída de grupos de 30 garrafões aprovados; (c) caracterizar a variação dos tempos e verificar a estabilidade do processo por meio de cartas de controle; (d) avaliar a capabilidade do processo em relação ao tempo de referência; e (e) quantificar o impacto das trocas de caminhão, que interrompem toda a linha, sobre o tempo e o ritmo de expedição, e indicar oportunidades de melhoria.

A pesquisa se justifica por oferecer à empresa um indicador simples, obtido apenas com cronômetro e registro manual, capaz de mostrar onde o tempo de expedição é perdido. Do ponto de vista acadêmico, aplica o CEP a uma variável de tempo, menos explorada na literatura de envase. O artigo está organizado em cinco seções: esta introdução, o referencial teórico, a metodologia, os resultados e a discussão e as considerações finais.

2 Referencial Teórico

2.1 Variabilidade e controle estatístico de processo

Todo processo produtivo apresenta variação. Desde os trabalhos de Shewhart, essa variação é atribuída a dois tipos de causa: as causas comuns, inerentes ao processo e presentes o tempo todo, e as causas especiais, que surgem de forma esporádica e alteram o comportamento do processo (QARASH, 2023). Quando só atuam causas comuns, o processo é considerado estável ou sob controle estatístico. As causas comuns não podem ser eliminadas por ações pontuais, enquanto as causas especiais podem ser identificadas e corrigidas, e é para separar umas das outras que se usam as cartas de controle (GONÇALVES; MORAES; BARBOSA, 2022).

Um processo estável não é, necessariamente, um processo que atende às exigências. Ele pode ser estável e, ainda assim, apresentar uma variação maior do que a permitida pela especificação (KANEKO *et al.*, 2023). Por isso, a análise de estabilidade e a de capabilidade são etapas diferentes e complementares.

2.2 Cartas de controle para medições individuais

As cartas de controle mais conhecidas, como $\bar{X}$-R e $\bar{X}$-S, trabalham com subgrupos, isto é, com várias medições feitas no mesmo momento, como a pesagem de cinco embalagens seguidas. Quando cada período gera uma única medição, utiliza-se a carta de valores individuais com amplitude móvel, conhecida como I-MR. Essa é a carta indicada para medições individuais, como as de produtos coletados um a um (JESUS *et al.*, 2024). A amplitude móvel é a diferença, em valor absoluto, entre duas medições consecutivas; a partir dela estima-se o desvio-padrão de curto prazo e calculam-se os limites de controle (NIST/SEMATECH, 2012):

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|; \quad \hat{\sigma} = M\bar{R} / d_2, \quad \text{com } d_2 = 1{,}128 \tag{1}$$

$$LSC = \bar{x} + 3\hat{\sigma}; \quad LC = \bar{x}; \quad LIC = \bar{x} - 3\hat{\sigma} \tag{2}$$

$$LSC_{MR} = 3{,}267 \cdot M\bar{R} \tag{3}$$

Os limites de 3σ pressupõem dados com distribuição aproximadamente normal, condição que pode ser observada graficamente pelo histograma e pelo gráfico de probabilidade normal (NIST/SEMATECH, 2012).

Um ponto fora dos limites indica causa especial, mas certos padrões dentro dos limites também indicam. O Quadro 1 apresenta as regras de sinalização adotadas neste trabalho, propostas por Montgomery (2004 *apud* GONÇALVES; MORAES; BARBOSA, 2022).

Quadro 1 – Regras de sinalização de causas especiais

Regra	Critério
1	Um ponto além de 3σ da linha central
2	Oito pontos consecutivos do mesmo lado da linha central
3	Seis pontos consecutivos crescentes ou decrescentes
4	Quatorze pontos consecutivos alternando para cima e para baixo
5	Dois de três pontos consecutivos além de 2σ, do mesmo lado
6	Quatro de cinco pontos consecutivos além de 1σ, do mesmo lado

Fonte: Adaptado de Gonçalves, Moraes e Barbosa (2022).

2.3 Capabilidade do processo

A capabilidade compara a variação do processo com o limite que ele precisa respeitar. Quando existe apenas um limite superior, como no caso de um tempo máximo, usa-se o índice unilateral Cpu, calculado com o desvio-padrão de curto prazo, e o índice Ppu, calculado com o desvio-padrão total do período (NIST/SEMATECH, 2012):

$$Cpu = (LSE - \bar{x}) / 3\hat{\sigma} \quad (4)$$

$$Ppu = (LSE - \bar{x}) / 3s \quad (5)$$

Nessas equações, LSE é o limite superior e s é o desvio-padrão amostral. O índice só tem sentido quando o processo é estável. Por esse motivo, Gonçalves, Moraes e Barbosa (2022) não calcularam a capabilidade de um processo fora de controle, enquanto Kaneko *et al.* (2023) a calcularam após remover pontos e alertaram para a baixa confiabilidade do resultado. Para interpretar o índice, a literatura adota como referência o valor 1, a partir do qual o processo é considerado capaz (JESUS *et al.*, 2024), e o valor 1,33, frequentemente exigido por clientes como margem de segurança (GONÇALVES; MORAES; BARBOSA, 2022).

2.4 Perdas de tempo e eficiência da linha

Além da variabilidade, o desempenho de uma linha depende do tempo em que ela efetivamente produz. Na Manutenção Produtiva Total (TPM), esse desempenho é acompanhado pelo indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), calculado pelo produto de três fatores (ANDRADE; PATUZZO; CARDOSO, 2025):

$$OEE = D \times P \times Q \quad (6)$$

Nessa equação, D é a disponibilidade, relação entre o tempo em que o equipamento efetivamente operou e o tempo programado para produção; P é a performance, relação entre a velocidade real e a velocidade máxima do equipamento durante o tempo em operação; e Q é a qualidade, proporção de itens produzidos sem defeito. Paradas para troca ou preparação reduzem a disponibilidade, a operação abaixo da velocidade máxima reduz a performance, e refugos e retrabalhos reduzem a qualidade. O Quadro 2 apresenta os valores de referência usuais para o indicador.

Quadro 2 – Valores de referência do OEE

Nível do OEE	Interpretação	Fonte
85% ou mais	Desempenho considerado ideal	Nakajima (1988 *apud* ANDRADE; PATUZZO; CARDOSO, 2025)
Cerca de 60%	Valor típico da indústria	Shirose (1997 *apud* ANDRADE; PATUZZO; CARDOSO, 2025)
Cerca de 40% ou menos	Desempenho baixo, que deve ser melhorado prontamente	Shirose (1997 *apud* ANDRADE; PATUZZO; CARDOSO, 2025)

Fonte: Adaptado de Andrade, Patuzzo e Cardoso (2025).

Entre as perdas de disponibilidade, as paradas para preparação ou troca, conhecidas como *setup*, recebem atenção especial. A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*), desenvolvida por Shingo (1985 *apud* SOUZA; GUEDES, 2025), separa as atividades de *setup* em internas, que só podem ser feitas com a máquina parada, e externas, que podem ser executadas com a produção em andamento. Ao converter atividades internas em externas e padronizar a sequência de trabalho, Souza e Guedes (2025) reduziram de 7 h 24 min para 3 h 55 min o *setup* de uma máquina de envase de produtos odontológicos.

2.5 Estudos correlatos

O Quadro 3 resume os estudos que serviram de base para as escolhas deste trabalho, tanto no controle estatístico quanto na análise das perdas de tempo.

Quadro 3 – Estudos correlatos

Estudo	Processo e variável	Ferramentas	Contribuição para este trabalho
Gonçalves, Moraes e Barbosa (2022)	Envase de adesivos; peso	DMAIC, carta $\bar{X}$-R	Sem estabilidade, a capabilidade não deve ser calculada
Kaneko *et al.* (2023)	Ensacamento de argamassa; peso	Carta $\bar{X}$-S, Cp, Cpk, Pp, Ppk	Estabilidade e atendimento às especificações são coisas diferentes
Jesus *et al.* (2024)	Polpa de açaí; peso	Carta I-MR, Cp, Cpk	Uso da carta I-MR com medições individuais
Amorim *et al.* (2023)	Envase de água mineral; processos	Mapeamento, FMEA	Ciclo do garrafão de 20 L e contexto do setor
Qarash (2023)	Água engarrafada; pH	Carta $\bar{X}$	Aplicação do CEP no setor de água
Vargas-Diaz *et al.* (2025)	Garrafões de 20 L; custos e tempos	DMAIC, Cpk	Tempo como indicador em garrafões de 20 L
Smaniotto, Rosa e Bemvenuti (2020)	Envase de iogurte; peso	Cartas $\bar{X}$-R, Cp, Cpk, Cpm	Processo estável, mas incapaz, com Cpk negativo
Reyes-Saldaña *et al.* (2025)	Envase de água; tempos e defeitos	POP, 5S, layout	Lavagem manual dos garrafões como gargalo de tempo
Souza e Guedes (2025)	Envase odontológico; tempo de *setup*	SMED	Separação entre atividades internas e externas
Andrade, Patuzzo e Cardoso (2025)	Empacotamento de café; paradas	TPM, 5S, OEE	Disponibilidade e performance como componentes da eficiência

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3 Metodologia

3.1 Caracterização da pesquisa

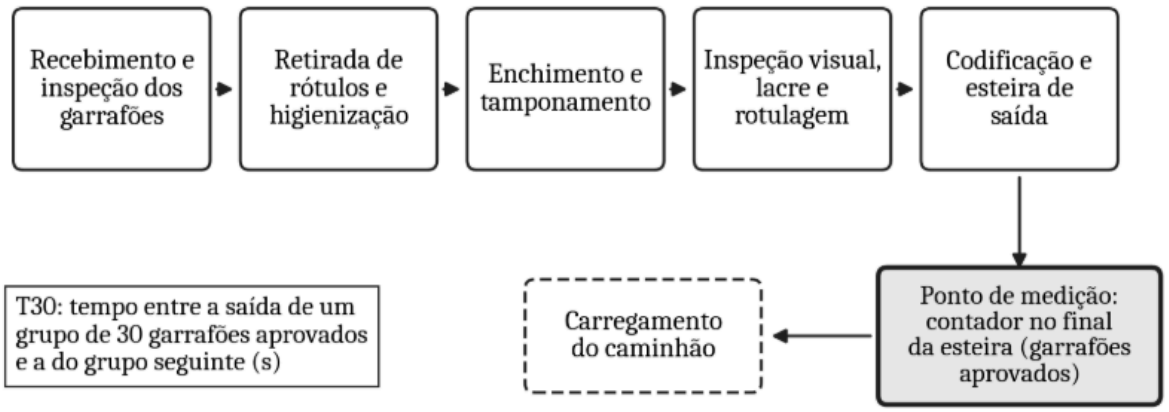
Trata-se de uma pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa e caráter descritivo, desenvolvida por meio de estudo de caso em uma linha de envase. Os dados foram obtidos

por observação direta e cronometragem em campo, em duas etapas. A primeira, realizada em setembro de 2026, cerca de quinze dias antes da coleta, foi dedicada ao estudo do processo: acompanhou-se o fluxo da linha, avaliaram-se os parâmetros que poderiam ser medidos, definiu-se o ponto de medição, escolheu-se o tempo como variável de interesse, fixou-se o tamanho de 30 garrafões por janela e testou-se a contagem. A segunda, no início de outubro de 2026, destinou-se à cronometragem, já com o procedimento validado.

3.2 Empresa e processo estudado

O estudo foi realizado em uma empresa envasadora de água mineral localizada no norte do Espírito Santo, cujo nome não é divulgado por razões de políticas internas. A linha estudada envasa garrafões retornáveis de 20 litros e segue as etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da linha e ponto de medição



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A higienização combina etapas manuais e automáticas, e a inspeção é feita visualmente por um operador; quando reprovado, o garrafão é retirado da linha e retorna ao início do processo, o que caracteriza retrabalho. O ponto de medição escolhido foi o contador localizado no final da esteira de saída, imediatamente antes do carregamento, onde são contabilizados apenas os garrafões aprovados. A partir desse ponto, os garrafões descem por gravidade até o caminhão, onde um funcionário organiza a carga. Os garrafões seguem diretamente para os caminhões dos distribuidores, cuja capacidade varia, segundo a empresa, entre cerca de 220 e 540 unidades. Quando um caminhão é completado e substituído pelo seguinte, a esteira para e todo o processo é interrompido até que o novo caminhão esteja em posição.

Uma característica da linha é decisiva para interpretar os resultados: cada etapa possui sua própria esteira, todas no mesmo sentido, mas não há espaço para acumular garrafões entre

elas. Não existe, portanto, estoque intermediário que permita a uma etapa continuar produzindo enquanto outra está parada; quando uma esteira é desligada ou satura, as demais param em poucos instantes, em efeito de cascata. O carregamento dispõe de uma única doca, e o mesmo caminhão que entrega os garrafões vazios leva os cheios. Durante a coleta havia caminhões aguardando no pátio, chamados conforme a necessidade, e nas trocas observadas os operadores permaneceram parados até a chegada do veículo seguinte.

3.3 Indicador analisado

O indicador analisado, denominado T30, é o tempo, em segundos, necessário para a saída de 30 garrafões aprovados:

$$T30_j = M_j - M_{j-1} \qquad (7)$$

Em que M_j é a marca do cronômetro no momento em que sai o 30º garrafão da janela j. O cronômetro funcionou de forma contínua durante toda a coleta, sem ser zerado entre as janelas. Dessa forma, qualquer interrupção ocorrida dentro de uma janela, como a troca de caminhão, fica incluída no tempo daquela janela.

O tamanho de 30 garrafões foi definido pelos autores no planejamento da coleta, considerando as condições da linha. Grupos menores resultariam em intervalos de poucos segundos, mais sujeitos ao tempo de reação de quem aciona o cronômetro, enquanto grupos maiores reduziriam o número de medições obtidas no turno. Com 30 unidades, cada janela durou entre 70 e 150 segundos em operação normal, tempo suficiente para um registro preciso, e o turno de coleta rendeu 36 medições.

3.4 Tempos de referência

A empresa não possui um tempo máximo formal para a saída dos garrafões. A quantidade média esperada por hora foi informada pelo gerente responsável pela área operacional, com base em documento interno elaborado a partir da experiência de trabalho e da capacidade das máquinas. Convertendo essa quantidade para grupos de 30 garrafões pela Equação (8), obteve-se um tempo de referência entre 70 e 80 segundos, o que corresponde a cerca de 1.350 a 1.540 garrafões por hora.

$$T_{ref} = 30 \times 3.600 / Q_h \qquad (8)$$

Na Equação (8), Q_h é a quantidade de garrafões por hora. Adotou-se como limite superior (LSE) o valor de 80 segundos, o mais tolerante da faixa, de modo a não penalizar o processo. Não foi definido limite inferior, pois uma saída mais rápida não representa problema. A velocidade da esteira, por sua vez, limita a saída a 30 garrafões a cada 48,9 segundos (cerca de 2.209 por hora), valor usado como tempo mínimo teórico na comparação do ritmo da linha.

3.5 Coleta de dados

A coleta foi realizada pelos autores na visita de outubro de 2026, durante um turno de trabalho no período da manhã, com a linha já em operação. Antes do registro válido, a contagem foi testada, conforme definido na visita anterior. Um dos autores permaneceu junto ao contador, operando o cronômetro de um aparelho celular e nele registrando as marcas de tempo, enquanto o outro percorreu a linha para acompanhar as ocorrências operacionais. A equipe da empresa colaborou durante a coleta, e não se observou alteração no ritmo de trabalho dos operadores em razão da presença dos pesquisadores. A linha operou normalmente durante todo o período, sem quebras ou paradas programadas. Foram cronometradas 36 janelas consecutivas, que somam 1.080 garrafões e 80,4 minutos de operação. Para cada janela, registrou-se a marca do cronômetro e se houve troca de caminhão; nas trocas, a duração da parada foi anotada à parte. Os 30 garrafões de cada janela foram contabilizados pelo próprio contador da linha, e não por contagem manual. Os tempos registrados constam no Apêndice A.

A opção por um único turno constitui uma delimitação deliberada. Buscou-se medir de forma direta e controlada uma ocasião específica de operação, acompanhando sem interrupção três trocas de caminhão e os quatro períodos de carregamento delimitados por elas, em vez de reunir medições dispersas em condições distintas.

Durante a coleta também ocorreram, de forma frequente e aleatória, eventos como higienização manual, lacre incorreto, queda de garrafão e rejeição na inspeção visual. Como esses eventos eram muito variáveis e independentes entre si, registrou-se apenas a sua ocorrência, sem horário ou duração. Eles são considerados parte da variação natural do processo.

3.6 Análise dos dados

A análise foi feita em quatro etapas. Na primeira, calcularam-se as estatísticas descritivas da série completa e do recorte sem trocas de caminhão, e observou-se a forma da

distribuição dos tempos pelo histograma e pelo gráfico de probabilidade normal. Na segunda, avaliou-se a estabilidade com a carta I-MR, aplicada às janelas sem troca de caminhão, já que a troca é uma parada conhecida, de origem logística. Nessa carta, a amplitude móvel foi calculada apenas entre janelas realmente consecutivas, sem ligar a janela anterior a uma troca com a posterior. Complementarmente, comparou-se o tempo médio entre os períodos de carregamento de cada caminhão pelo teste de Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952), escolhido por não depender da forma da distribuição dos dados e por ser adequado a grupos pequenos.

Na terceira etapa, mediu-se a participação das trocas de caminhão no tempo total e comparou-se o ritmo da linha com a capacidade da esteira e com a referência da empresa. Na quarta, calcularam-se os índices Cpu e Ppu para o recorte sem trocas e verificou-se como eles mudariam com outros tempos de referência. Adotou-se nível de significância de 5%. Os cálculos foram feitos em linguagem Python, com as bibliotecas SciPy (VIRTANEN *et al.*, 2020) e statsmodels (SEABOLD; PERKTOLD, 2010).

3.7 Aspectos éticos

A pesquisa consistiu na observação do funcionamento de uma linha de produção, sem coleta de dados pessoais nem intervenção no trabalho dos funcionários. As visitas foram previamente agendadas com os sócios da empresa, e os pesquisadores receberam orientações de segurança e utilizaram os equipamentos de proteção exigidos. A empresa autorizou o estudo e solicitou sigilo quanto à sua identificação, por política interna; por esse motivo, o nome não é divulgado e os dados são apresentados de forma agregada. Resultados preliminares foram apresentados à empresa após a análise inicial do fluxo de trabalho e das ocorrências.

4 Resultados e Discussão

4.1 Comportamento geral dos tempos

As 36 janelas cronometradas incluíram, coincidentemente, 3 trocas de caminhão, ocorridas nas janelas 9, 17 e 27. As três trocas dividem a coleta em quatro períodos de carregamento, um para cada caminhão. O primeiro caminhão já estava sendo carregado quando a cronometragem começou, e o quarto ainda não havia sido completado quando ela terminou; o segundo e o terceiro foram acompanhados do início ao fim. A Tabela 1 compara a

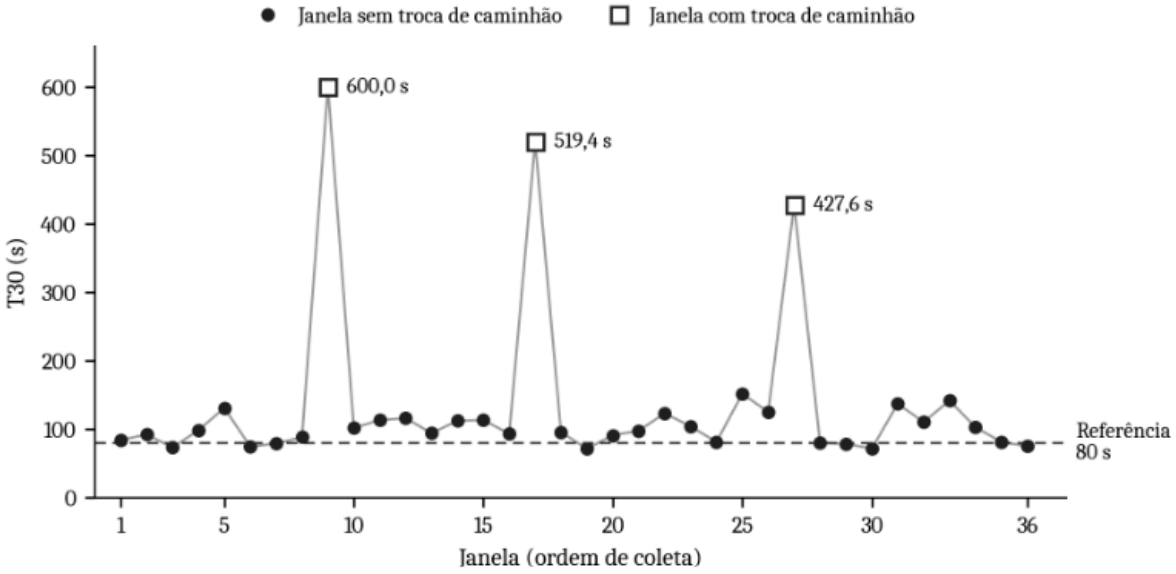
série completa com o recorte formado pelas 33 janelas sem troca, e a Figura 2 mostra os tempos na ordem em que foram registrados.

Tabela 1 – Estatística descritiva do T30, em segundos

Estatística	Série completa	Sem troca de caminhão
Janelas	36	33
Média	133,9	99,2
Mediana	97,8	95,2
Desvio-padrão	120,3	21,7
Mínimo	71,2	71,2
Máximo	600,0	151,4
Coeficiente de variação	89,9%	21,9%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 2 – Tempo de saída de 30 garrafões (T30) em cada janela, na ordem de coleta



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

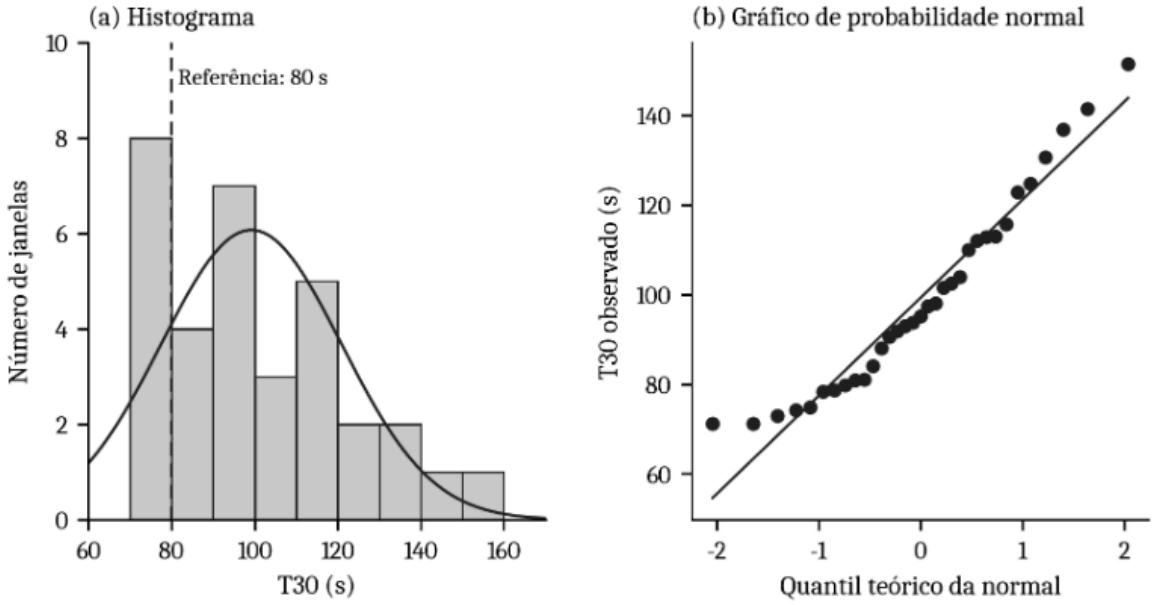
As três trocas de caminhão se destacam na Figura 2, com tempos entre 428 e 600 segundos. Elas elevam a média da série de 99,2 para 133,9 segundos e o desvio-padrão de 21,7 para 120,3 segundos. As medianas, porém, são praticamente iguais (97,8 e 95,2 segundos), o que confirma que a diferença entre os dois conjuntos se deve a poucos valores extremos. Sem as trocas, os tempos variaram de 71,2 a 151,4 segundos, com coeficiente de variação de 21,9%. Essa oscilação é compatível com as pequenas ocorrências observadas durante a coleta, como higienizações manuais e rejeições na inspeção.

4.2 Distribuição dos tempos

A Figura 3 mostra a distribuição dos tempos nas janelas sem troca de caminhão. O histograma indica que 27 das 33 janelas ficaram entre 70 e 120 segundos, com leve assimetria à direita, comum em medições de tempo: atrasos ocasionais alongam algumas janelas,

enquanto a velocidade da esteira impede que alguma seja muito mais rápida. No gráfico de probabilidade normal, os pontos acompanham de perto a reta de referência, o que indica forma próxima à pressuposta pelas cartas de controle e pelos índices de capabilidade.

Figura 3 – Distribuição do T30 nas janelas sem troca de caminhão

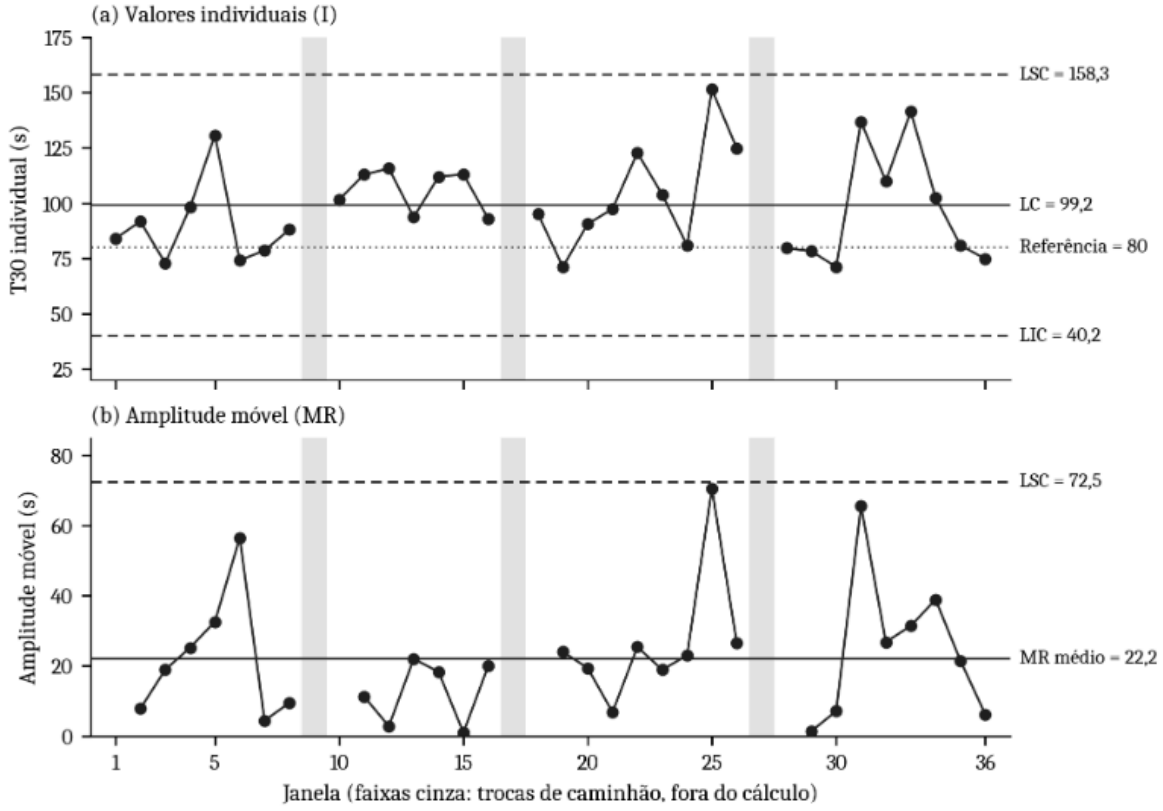


Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.3 Estabilidade do processo

A Figura 4 apresenta a carta I-MR das janelas sem troca de caminhão. As faixas cinza marcam as posições das trocas, que não entram no cálculo, e a linha pontilhada indica a referência de 80 segundos, que não deve ser confundida com os limites de controle.

Figura 4 – Carta I-MR do T30 sem as trocas de caminhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A amplitude móvel média foi de 22,2 segundos, o que resulta em desvio-padrão de curto prazo de 19,7 segundos. A carta de valores individuais ficou com linha central de 99,2 segundos, limite superior de 158,3 segundos e limite inferior de 40,2 segundos; a carta de amplitude móvel teve limite superior de 72,5 segundos. Nenhum ponto ultrapassou os limites, e nenhuma das regras do Quadro 1 foi acionada. A regra 4 não pôde ser aplicada, porque as trocas dividem a série em 4 trechos e nenhum deles chega a 14 janelas seguidas.

Na série completa, as janelas 9, 17 e 27 ficam acima do limite superior, e essas três janelas são exatamente as que tiveram troca de caminhão. A causa especial do processo é, portanto, conhecida e foi registrada no momento em que ocorreu. Ao contrário do que ocorreu em Gonçalves, Moraes e Barbosa (2022) e em Kaneko *et al.* (2023), não foi preciso remover pontos por tentativa para obter um processo estável: bastou separar as paradas logísticas, já identificadas na coleta.

A Tabela 2 complementa essa análise comparando o tempo médio entre os períodos de carregamento de cada caminhão.

Tabela 2 – T30 por período de carregamento, em segundos

Período	Janelas	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
1° caminhão	1 a 8	8	89,8	18,7	72,9	130,7
2° caminhão	10 a 16	7	106,0	9,7	93,0	115,7
3° caminhão	18 a 26	9	104,2	24,9	71,2	151,4
4° caminhão	28 a 36	9	97,3	27,0	71,2	141,4

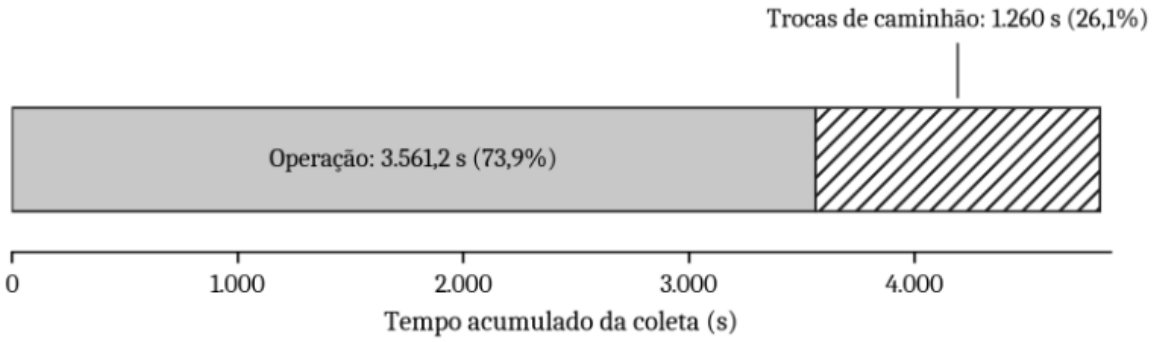
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As médias variaram de 89,8 a 106,0 segundos, mas a diferença entre os períodos não é estatisticamente significativa (Kruskal-Wallis, H = 4,15; p = 0,25). O ritmo da linha, portanto, não mudou de um caminhão para outro ao longo da manhã, resultado que coincide com a observação dos pesquisadores em campo, que não notaram diferença de ritmo entre o início e o fim do turno. Esse resultado, somado à carta I-MR, permite concluir que, descontadas as trocas de caminhão, o processo operou de forma estável no período observado.

4.4 Impacto das trocas de caminhão

A Figura 5 mostra como o tempo total da coleta se divide entre as paradas para troca de caminhão e o restante da operação.

Figura 5 – Divisão do tempo total da coleta entre operação e trocas de caminhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As três trocas duraram 477, 440 e 343 segundos (Apêndice A), isto é, entre 5,7 e 8,0 minutos cada uma. Somadas, representaram 21,0 minutos, ou 26,1% do tempo total da coleta. Descontando-se a duração da parada, os tempos dessas três janelas ficariam entre 79,4 e 123,0 segundos, dentro da faixa observada nas demais janelas. Como não há estoque intermediário entre as etapas, a parada do carregamento interrompe a linha inteira, e todo o tempo de espera pelo novo caminhão se converte em perda da eficiência da produção. A Tabela 3 mostra o efeito disso sobre o ritmo da linha.

Tabela 3 – Ritmo de saída da linha

Situação	Tempo para 30 garrafões (s)	Garrafões por hora	Em relação à esteira
Capacidade da esteira	48,9	2.209	100,0%
Referência da empresa	80,0	1.350	61,1%
Observado sem trocas	99,2	1.089	49,3%
Observado com trocas	133,9	806	36,5%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Nota: na linha "Observado com trocas", o ritmo foi calculado pelo total de garrafões dividido pelo tempo total da coleta.

Sem as trocas, a linha produziu em média 1.089 garrafões por hora, o equivalente a 49,3% da capacidade da esteira e abaixo da quantidade esperada pela empresa. Quando as trocas entram na conta, o ritmo cai para 806 garrafões por hora, ou 36,5% da capacidade. Há, portanto, duas perdas distintas: uma causada pelas paradas de troca de caminhão e outra pela diferença entre o ritmo normal da linha e a velocidade permitida pela esteira.

Essas duas perdas podem ser lidas pelos fatores da Equação (6). A disponibilidade, calculada como a fração do tempo observado sem trocas de caminhão, foi de 73,9%; a performance, calculada como a razão entre o ritmo médio sem trocas e o ritmo máximo permitido pela esteira, foi de 49,3%. Dois cuidados são necessários na leitura desses valores. Primeiro, a velocidade da esteira foi usada como velocidade máxima de referência, por ser o limite físico informado pela empresa, e não um tempo de ciclo ideal formalmente definido. Segundo, a qualidade não foi medida, pois o contador registra apenas garrafões aprovados e os reprovados retornam ao início da linha.

Por isso, calcula-se apenas o produto D × P, igual a 36,4%, que coincide com o aproveitamento de 36,5% mostrado na Tabela 3. Como o fator Q não pode superar 100%, o OEE completo da linha seria igual ou inferior a esse valor. A comparação com o Quadro 2 deve, portanto, ser feita com cautela, mas indica que a linha opera abaixo dos patamares de referência.

4.5 Custo das paradas

A interrupção da linha tem efeito econômico que vai além das unidades que deixaram de ser expedidas. Durante a parada, a mão de obra permanece alocada sem produzir, os equipamentos seguem energizados, o tempo de uso dos ativos corre para efeito de depreciação e de manutenção, e os custos indiretos da operação, como supervisão, instalações e utilidades, continuam incidindo. Soma-se a isso o custo de oportunidade dos garrafões não expedidos, que só deve ser considerado quando a produção perdida não puder ser recuperada

posteriormente, para que a perda não seja contabilizada duas vezes. Em conjunto, esses componentes formam o custo horário da linha, que, multiplicado pelo tempo de linha parada, expressa o custo das trocas de caminhão. Souza e Guedes (2025) adotaram raciocínio semelhante ao converter a redução do tempo de *setup* em ganho de produção e de receita.

Esses valores não foram disponibilizados pela empresa, que os mantém em seus próprios controles de folha de pagamento, de energia, de manutenção e de contabilidade de custos; por esse motivo, não se calcula aqui o montante financeiro. A magnitude do tempo envolvido, contudo, já está medida: 21,0 minutos de linha parada em 80,4 minutos de acompanhamento. Mantida essa proporção, um turno de oito horas acumularia cerca de 2,1 horas de linha parada por trocas de caminhão, estimativa que supõe a repetição do padrão observado e serve como ordem de grandeza para dimensionar a perda.

Observou-se ainda perda de água durante o envase, não quantificada neste estudo. Em conversa com a equipe da empresa, avaliou-se que o custo mais relevante da operação se concentra nos equipamentos, na mão de obra e na manutenção, e não no insumo água, razão pela qual a análise econômica aqui se concentra no tempo de linha parada.

4.6 Capabilidade do processo

Como o processo se mostrou estável sem as trocas de caminhão, calculou-se a capabilidade desse recorte em relação ao limite de 80 segundos. A Tabela 4 apresenta o resultado e mostra também como os índices mudariam com outros tempos de referência.

Tabela 4 – Índices de capabilidade para diferentes tempos de referência

Tempo de referência (s)	Cpu	Ppu	Janelas acima do limite	% acima do limite
70	−0,49	−0,45	33	100,0%
80 (adotado)	−0,33	−0,30	25	75,8%
90	−0,16	−0,14	21	63,6%
100	0,01	0,01	14	42,4%
120	0,35	0,32	6	18,2%
140	0,69	0,63	2	6,1%
160	1,03	0,93	0	0,0%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Com o limite de 80 segundos, o Cpu foi de −0,33 e o Ppu de −0,30. O valor negativo indica que a média do processo (99,2 segundos) está acima do próprio limite, e de fato 25 das 33 janelas (75,8%) ultrapassaram 80 segundos. O processo, portanto, não é capaz de atender ao tempo de referência da empresa. Mantidas a média e a variação atuais, o índice só chegaria a 1, valor de referência para um processo capaz, com um limite de cerca de 160 segundos, o dobro da referência.

A Tabela 5 resume como interpretar o Cpu e o Ppu conforme seus valores e situa o resultado deste estudo. A última coluna indica a fração de janelas que se esperaria acima do limite em cada faixa, considerando a distribuição normal.

Tabela 5 – Interpretação dos índices de capabilidade Cpu e Ppu

Valor do índice	Situação do processo	Leitura prática	Fração esperada acima do limite
Menor que 0	Média acima do limite	Não atende; a maior parte das saídas ultrapassa o limite. **Caso deste estudo (Cpu = −0,33; Ppu = −0,30)**	Mais de 50%
Igual a 0	Média sobre o limite	Metade das saídas ultrapassa o limite	50%
Entre 0 e 1	Média abaixo do limite, mas variação excessiva	Incapaz; parte das saídas ainda ultrapassa o limite	Entre 50% e 0,13%
Entre 1 e 1,33	Capaz, com pouca folga	Atende, mas sem margem de segurança	Entre 0,13% e 0,003%
1,33 ou mais	Capaz, com folga	Atende com margem, nível frequentemente exigido por clientes	Até 0,003%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Jesus *et al.* (2024), Gonçalves, Moraes e Barbosa (2022) e NIST/SEMATECH (2012).

Situação semelhante foi relatada por Smaniotto, Rosa e Bemvenuti (2020) no envase de iogurte: as cartas de controle indicavam processo estável, mas os valores negativos de Cpk (−0,61 e −0,56) mostravam que a média estava fora dos limites de especificação. Nos dois casos, a estabilidade não garantiu o atendimento ao limite, o que reforça a distinção entre controle estatístico e capabilidade apresentada na seção 2.1.

O resultado depende dos dois componentes do índice. Com a variação atual ($\hat{\sigma}$ = 19,7 s), o Cpu só chegaria a 1 se a média caísse para cerca de 21 segundos, valor abaixo do limite físico da esteira (48,9 s). Mesmo que a linha operasse na velocidade máxima da esteira, o Cpu seria de 0,53. Para atender à referência de forma consistente, é necessário, portanto, aumentar o ritmo médio da linha e também reduzir a variação entre as janelas.

4.7 Diagnóstico e oportunidades de melhoria

O Quadro 4 reúne os principais resultados e as oportunidades de melhoria identificadas.

Quadro 4 – Diagnóstico e oportunidades de melhoria

Aspecto	Resultado	Oportunidade de melhoria
Troca de caminhão	26,1% do tempo total; esteira parada em cada troca	Organizar o chamado dos caminhões pela lógica do SMED e avaliar um pequeno estoque junto ao carregamento ou uma segunda saída, já que há doca única e nenhum estoque intermediário
Ritmo normal da linha	1.089 garrafões por hora, 49,3% da capacidade da esteira	Investigar as etapas anteriores ao final da linha que limitam o fluxo de garrafões
Estabilidade	Processo estável sem as trocas; sem diferença significativa entre os caminhões	Adotar o T30 e a carta I-MR como acompanhamento de rotina
Capabilidade	Cpu de −0,33; 75,8% das janelas acima de 80 s	Reduzir o tempo médio e a variação entre as janelas; formalizar o tempo de referência
Pequenas ocorrências	Frequentes e aleatórias, sem registro de duração	Registrar horário e duração para identificar as mais frequentes
Retrabalho na inspeção	Garrafão reprovado retorna ao início do processo	Registrar a frequência das reprovações e suas causas

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A principal oportunidade está na troca de caminhões, que pode ser tratada como um *setup* da linha. Seguindo a lógica do SMED (SOUZA; GUEDES, 2025), recomenda-se cronometrar cada atividade da troca e separar as que exigem a linha parada daquelas que podem ser antecipadas, como a chamada e a aproximação do próximo caminhão. Como a linha para por inteiro durante a troca, qualquer redução nesse tempo se converte diretamente em garrafões expedidos, sem mudança nos equipamentos. Duas alternativas complementares merecem avaliação pela empresa: um pequeno estoque de garrafões junto ao carregamento, que permitiria à linha seguir produzindo durante a troca, e uma segunda saída de carregamento, que eliminaria a dependência de uma única doca. Como estimativa, se a duração média das trocas observadas fosse reduzida à metade, o ritmo da manhã passaria de 806 para cerca de 928 garrafões por hora, um aumento de 15%. Uma área de acúmulo no final da esteira poderia ir além, permitindo que a linha continuasse produzindo durante a troca; sua viabilidade, porém, depende do espaço físico disponível e precisa ser avaliada pela empresa.

A segunda frente é entender por que a linha, mesmo sem paradas, trabalha a cerca de metade da velocidade permitida pela esteira. Em uma envasadora de água no Peru, Reyes-Saldaña *et al.* (2025) identificaram a lavagem externa manual dos garrafões como o gargalo da linha, com coeficientes de variação de até 31% nos tempos das tarefas, reduzidos para menos de 20% após a padronização. Embora se trate de outra empresa, o resultado indica que as etapas manuais de higienização devem ser as primeiras a serem cronometradas na continuidade deste estudo. Como a capabilidade depende tanto da média quanto da variação, essa investigação deve abranger também o enchimento e a inspeção, onde ocorrem as pequenas paradas observadas durante a coleta.

5 Considerações Finais

Este trabalho analisou a variação do tempo de saída de garrafões de 20 litros em uma linha de envase de água mineral, com o objetivo de verificar se o processo é estável e se atende ao tempo de referência informado pela empresa. Os objetivos propostos foram atingidos: o processo foi mapeado, o ponto de medição foi definido, os tempos foram cronometrados em campo e analisados com estatística descritiva, gráficos de distribuição, carta de controle e índices de capabilidade.

Os resultados mostram que, descontadas as trocas de caminhão, o processo é estável, com ritmo semelhante durante toda a manhã. No entanto, o tempo médio de 99,2 segundos para 30 garrafões supera a referência de 80 segundos, e o processo não é capaz de atendê-la ($C_{pu} = -0{,}33$); para isso, seria necessário reduzir tanto o tempo médio quanto a variação entre as janelas. As trocas de caminhão foram a principal causa de perda de tempo, respondendo por 26,1% do período observado, e a linha operou, mesmo sem elas, a cerca de metade da capacidade da esteira. Pela lógica do OEE, a combinação das duas perdas deixa a linha com aproveitamento de cerca de 36% da capacidade da esteira, valor que, por não incluir o fator de qualidade, representa um limite superior para o indicador.

Como contribuição prática, o estudo oferece à empresa um indicador simples, que pode ser obtido com um cronômetro, e aponta a organização da troca de caminhões, com base na lógica do SMED, como a melhoria de maior impacto e menor custo. Como contribuição acadêmica, mostra que o controle estatístico de processo pode ser aplicado a variáveis de tempo, separando as paradas logísticas da variação própria da linha.

Como delimitação, os dados foram coletados em um único turno, no período da manhã, opção que privilegiou a medição direta e controlada de uma ocasião específica, mas que não permite generalizar os resultados para outros dias e para o turno da tarde. Além disso, as pequenas ocorrências foram registradas sem duração, o que impede medir o peso de cada uma, e os custos horários da operação não foram disponibilizados, o que impediu quantificar financeiramente as paradas. Para trabalhos futuros, recomenda-se repetir a coleta em diferentes dias e turnos, comparando manhã e tarde, registrar a duração das ocorrências, aplicar a equação de custo com os dados da empresa e avaliar o efeito das melhorias propostas sobre o tempo de saída.

Referências

AMORIM, Matheus de Jesus; SILVA, Jéssica Echer; LOYOLA, Vagner Viali; XAVIER, Thiago Padovani. Análise dos processos e gestão de riscos em uma empresa de envase de água mineral. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 9, n. 4, p. 25-33, 2023. DOI: https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i4.40939.

ANDRADE, Polyana Ribeiro de; PATUZZO, Genilson Valotto; CARDOSO, Flávia Aparecida Reitz. Gestão industrial: implementação da ferramenta TPM em uma indústria de café. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 11, n. 1, p. 166-191, 2025. DOI: https://doi.org/10.47456/bjpe.v11i1.46368.

GONÇALVES, Max Filipe; MORAES, Larissa Miranda de; BARBOSA, Fernanda Masco. Avaliação da aplicação da metodologia Seis Sigma no processo de envase de uma indústria química. **RINTERPAP – Revista Interdisciplinar de Pesquisas Aplicadas**, v. 1, n. 2, p. 90-110, 2022. DOI: https://doi.org/10.47682/2675-6552.a2022v1n2p90-110.

JESUS, Luik Souza de; MACIEL, Fabíola Domingues; MESCOUTO, Claudio Felipe da Costa; BASILIO, Marcus Murilo Alves; BARATA, Mariana Pereira Carneiro. Análise da variabilidade e capabilidade do peso de polpas de açaí em uma indústria de açaí localizada em Castanhal-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14., 2024. **Anais** [...]. Ponta Grossa: APREPRO, 2024. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2024/arquivos/09202024_230928_66ee2c7c121fe.pdf. Acesso em: 25 set. 2026.

KANEKO, Lucas Yuji; DINALDO, Gabriela Tamires; SILVA, Larissa dos Santos; FERREIRA, Renan Felipe Alves; LIMA, Rafael Henrique Palma. Análise da estabilidade do processo de envase de sacos de argamassa usando cartas de controle e índices de capabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2023. **Anais** [...]. Ponta Grossa: APREPRO, 2023. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/10012023_201015_6519fc579db3a.pdf. Acesso em: 25 set. 2026.

KRUSKAL, William H.; WALLIS, W. Allen. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.

NIST/SEMATECH. **e-Handbook of Statistical Methods**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2012. Disponível em: https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/. Acesso em: 9 out. 2026.

QARASH, Abrahim Saad. Study on the implementation of quality control charts in the drinking water industry, a case study: Dajla Water Plant. **Tobruk University Journal of Engineering Sciences**, v. 4, n. 2, p. 68-76, 2023. Disponível em: https://j.tu.edu.ly/tujes/index.php/tujes/article/view/14. Acesso em: 8 out. 2026.

REYES-SALDAÑA, Pablo M.; ALVARADO-PORTUGAL, Sebastian G.; LEON-CHAVARRI, Claudia C.; CHAVEZ-UGAZ, Rafael. Efficiency improvement water bottling plant using SOP, 5S and SLP. In: LACCEI INTERNATIONAL MULTICONFERENCE ON ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION AND REGIONAL DEVELOPMENT, 5., 2025, evento on-line. **Proceedings** [...]. [S. l.]: LACCEI, 2025. p. 1-7. DOI: https://doi.org/10.18687/LEIRD2025.1.1.911.

SEABOLD, Skipper; PERKTOLD, Josef. Statsmodels: econometric and statistical modeling with Python. In: PYTHON IN SCIENCE CONFERENCE, 9., 2010, Austin. **Proceedings** [...]. Austin: SciPy, 2010. p. 92-96.

SMANIOTTO, Gabriela Yohana; ROSA, Ariane Ferreira Porto; BEMVENUTI, Renata Heidtmann. Estudo da estabilidade e da capacidade do processo de envase de iogurte em uma indústria de laticínios. **Sinergia**, Rio Grande, v. 24, n. 2, p. 37-46, jul./dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.17648/sinergia-2236-7608-v24n2-9778.

SOUZA, Henrique Granado de; GUEDES, Karoline. Otimização de trocas rápidas de ferramentas: a metodologia SMED em uma indústria de produtos odontológicos. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 11, n. 1, p. 436-448, 2025. DOI: https://doi.org/10.47456/bjpe.v11i1.47361.

VARGAS-DIAZ, Juan Gerardo; LEÓN-REYES, Renzo José; GONZÁLEZ-VÁSQUEZ, Joe Alexis; ULLOA-BOCANEGRA, Segundo Gerardo. Implementación de la metodología DMAIC para reducir costos de producción en una embotelladora de agua, Trujillo 2025. **Aibi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería**, v. 13, n. 3, p. 1-10, set./dez. 2025. DOI: https://doi.org/10.15649/2346030X.5400.

VIRTANEN, Pauli *et al.* SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. **Nature Methods**, v. 17, p. 261-272, 2020.

APÊNDICE A – Tempos cronometrados em 5 de outubro de 2026

Tabela A1 – T30 de cada janela e duração das pausas por troca de caminhão, em segundos

Janela	T30 (s)	Pausa por troca (s)	Janela	T30 (s)	Pausa por troca (s)
1	84,0	—	19	71,2	—
2	91,8	—	20	90,6	—
3	72,9	—	21	97,4	—
4	98,1	—	22	122,8	—
5	130,7	—	23	103,9	—
6	74,2	—	24	80,9	—
7	78,6	—	25	151,4	—
8	88,1	—	26	124,8	—
9	600,0	477	27	427,6	343
10	101,6	—	28	79,7	—
11	112,9	—	29	78,3	—
12	115,7	—	30	71,2	—
13	93,7	—	31	136,8	—
14	112,0	—	32	110,0	—
15	113,0	—	33	141,4	—
16	93,0	—	34	102,5	—
17	519,4	440	35	81,0	—
18	95,2	—	36	74,8	—

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Nota: a pausa por troca está incluída no T30 da respectiva janela.