

MONITORAMENTO DE RASGO LONGITUDINAL DE CORREIA TRANSPORTADORA BASEADA EM SCANNER A LASER 2D*

Jailton Rodrigues Leite¹
Daniel Cruz Cavalieri²
Adilson Ribeiro Prado³

Resumo

Rasgos longitudinais são comuns e prejudicam o andamento das operações, podendo causar acidentes ou quebrar as correias. Com isso, este trabalho propõe uma metodologia para identificação de rasgos longitudinais em correias transportadoras baseada na leitura de pontos bidimensionais obtidas por um *scanner laser* 2D. Para tanto, uma correia transportadora montada em uma bancada de teste equipada com um *scanner laser* é utilizada como ambiente de experimentos. Para detectar a região que corresponde à posição do rasgo são implementados três algoritmos. O primeiro é baseado na regra 68 – 95 – 99, denominado *three-sigma*. Enquanto o segundo é baseado no gráfico de controle de soma cumulativa, conhecido como *cumulative sum control chart* – CUSUM. O terceiro é o *Pruned Exact Linear Time* – PELT, um algoritmo eficiente para detectar mudanças em dados de séries temporais. Os resultados mostraram que ambos os métodos foram eficientes para identificação de rasgos longitudinais em correias transportadoras.

Palavras-chave: Monitoramento de rasgos; Three-sigma; Cusum; PELT.

LONGITUDINAL TEAR MONITORING OF CONVEYOR BELT BASED ON 2D LASER SCANNER

Abstract

Longitudinal tears are common and generally harmful to the smooth running of operations, as they can cause accidents or belt breaks. Therefore, this study proposes a methodology for identifying longitudinal tears in conveyor belts based on reading two-dimensional points obtained by a 2D laser scanner. For this purpose, a conveyor belt mounted on a test bench equipped with a laser scanner is used as an experimental environment. To detect the region that corresponds to the tear position, three algorithms are implemented. The first is based on the 68-95-99 rule, called three-sigma. While the second is based on the cumulative sum control chart - CUSUM. The third is Pruned Exact Linear Time – PELT, an efficient algorithm for detecting changes in time series data. The results showed that both methods were efficient in identifying longitudinal tears in conveyor belts.

Keywords: Tear monitoring; Three-sigma; Cusum; PELT.

- ¹ *Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, Engenheiro, Engenheiro de Controle e Automação, Laboratório de Desenvolvimento, Intron Brasil, Serra, Espírito Santo, Brasil.*
- ² *Engenheiro Eletricista, Doutor, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, Coordenadoria de Automação, Ifes – Campus Serra, Serra, Espírito Santo, Brasil.*
- ³ *Bacharel em Química, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica, Docente, Coordenadoria de Engenharia de Controle e Automação, IFES – Campus Serra, Espírito Santo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A correia transportadora é um meio de transporte comum utilizado na indústria, como destacado nos trabalhos de [1] e [2]. Apesar de serem adaptadas para transportar qualquer tipo de material nos mais variados ramos da indústria, as correias transportadoras são frequentemente utilizadas no transporte de materiais a granel em larga escala. Para mais, de acordo com a leitura em diversos materiais da literatura, por exemplo [1], [2], [3], [4] e [5], em geral, os achados convergem para informação de que as correias são compostas por uma série de componentes simples, contudo, devem ser bem ajustadas para cada tipo de material.

Desta forma, o seu uso para o transporte de materiais a granel torna a logística mais eficiente, sobretudo em longas distâncias, visto que apresentam alta velocidade e baixo desgaste. Segundo [6] as correias transportadoras possuem vida útil afetada por seu desgaste natural. Apesar disso, além da eficiência operacional, de acordo com [7], as correias transportadoras são de fácil construção, variadas possibilidades de ambientes para instalação, pouca manutenção e supervisão operacional. Contudo, é um fato a ocorrência de falhas na operação causadas por rasgos, perfurações e/ou cortes que precisam ser diagnosticadas o mais rápido possível de modo a evitar maiores danos e prejuízos ao parar as operações.

Quando o rasgo é ao longo da direção de deslocamento, causado por perfuração, penetração e bloqueio de impurezas duras é denominado de rasgo longitudinal, que de acordo com [8], é uma das falhas comuns do transportador de correia. Segundo o autor, a identificação do rasgo longitudinal em tempo real pode evitar maior extensão do rasgo, o que pode causar vazamento de material, danos ao transportador, paralisa do sistema de transporte e até mesmo acidentes de segurança.

Por conseguinte, tem crescido o número de metodologias para monitoramento de correias transportadoras. O monitoramento deste tipo de equipamento tem por objetivo diagnosticar possíveis falhas de operação, que possam vir a causar interrupção nas operações ou causar prejuízos financeiros. Portanto, é importante que sejam implantadas políticas de prevenção associadas ao monitoramento estatístico do desempenho da durabilidade e funcionamento de correias transportadoras, contribuindo para a confiabilidade do processo.

Portanto, a proposta deste trabalho é desenvolver uma metodologia de monitoramento, em tempo real, de rasgos longitudinais em correias transportadoras considerando uma leitura de dados por escaneamento a *laser* bidimensional (2D).

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia de monitoramento de rasgos longitudinais em correias transportadoras, utilizando escaneamento a *laser* bidimensional (2D). Para tanto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1.1.1 Objetivos específicos

Para alcançarmos o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Implementar e validar um algoritmo baseado na regra empírica 68 – 95 – 99;
- 2) Implementar e validar um algoritmo baseado no gráfico de controle de soma cumulativa;
- 3) Implementar e validar um algoritmo *Pruned Exact Linear Time* (PELT);
- 4) Desenvolver um *software* para validação dos algoritmos propostos para detecção de rasgos longitudinais em correias transportadoras;
- 5) Avaliar o comportamento dos gráficos vetoriais obtidos a partir do escaneamento 2D;
- 6) Comparar o desempenho dos três algoritmos propostos.

1.2 Algoritmo *three-sigma*

De acordo com o Teorema Central do Limite (TCL) disponível em [9], a soma de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas convergem para norma padrão, ou seja, para $S_n = X_1 + \dots + X_n$, temos que $\frac{S_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}}$ converge em distribuição para $N(0,1)$, em que S e n denotam a soma e o tamanho da amostra, respectivamente.

Desta forma, é possível construir regiões de desvios padrão a partir da média, como na Figura 1. Destaca-se que os valores apresentados nas regiões 68 – 95 – 99 são valores tabelados.

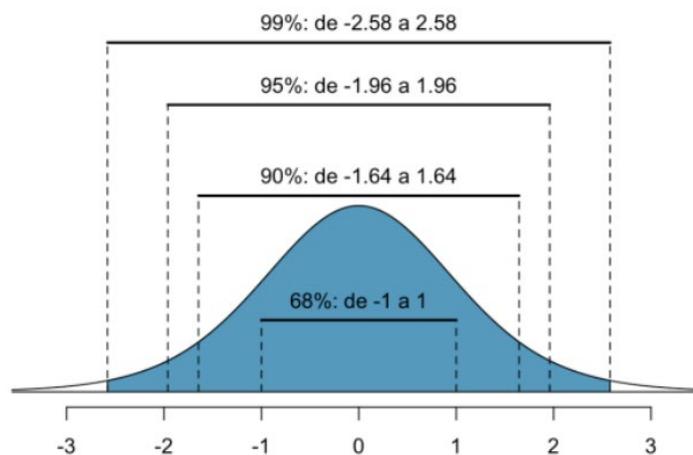


Figura 1. Desvios padrão a partir da média μ .
Fonte: Elaborada pelo autor utilizando o software [10].

Por conseguinte, estes resultados podem ser aproximados empiricamente. Com isso, a partir do trabalho de [11], a distribuição de probabilidade para observação X , fica:

$$\begin{aligned} Pr Pr (\mu - 1\sigma \leq X \leq \mu + 1\sigma) &\approx 68.27\% \\ Pr Pr (\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) &\approx 95.45\% \\ Pr Pr (\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) &\approx 99.73\% \end{aligned}$$

em que μ e σ são a média e o desvio padrão, respectivamente.

Portanto, fica estabelecida a regra 68 – 95 – 99 para inferir que 68% da população está dentro de 1 desvio padrão da média, 95% dentro de 2 desvios padrão da média, e 99,7% da população está dentro de 3 desvios padrão da média. Este último é considerado, neste trabalho, para avaliar a variabilidade do processo de identificação de rasgos longitudinais em correias transportadoras.

1.3 Gráfico de controle de soma cumulativa

O Gráfico de controle de soma cumulativa (*Cumulative sum control chart* - CUSUM) é popularmente conhecido em aplicações de monitoramento de uma estatística em um processo, geralmente a média. De acordo com [12], o gráfico CUSUM traça as somas cumulativas dos desvios dos valores da amostra de uma qualidade característica de um valor alvo em relação ao tempo, sendo assim mais eficiente para detectar variações dos parâmetros.

Como o gráfico CUSUM envolve o gráfico de somas cumulativas, então, parte-se do pressuposto que a x_i -ésima observação tem distribuição normal de probabilidade com média μ_0 e variância σ^2 conhecida. Sendo assim, a ideia é acumular os desvios acima e abaixo de μ_0 , então, em [12] se define a estatística como em (1).

$$U_i = [0, x_i - (\mu_0 + k) + U_{i-1}], \quad (1)$$

$$L_i = [0, (\mu_0 + k) - x_i + L_{i-1}], \quad (2)$$

em que o valor inicial $U_i = L_i = 0$. O valor de k é escolhido a priori como sendo

$$k = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2}, \quad (3)$$

em que $\mu_1 = \mu_0 + n\sigma$, em (3), é a média fora do intervalo de controle sendo n e σ uma constante real e o desvio padrão, respectivamente.

Desta forma, fica evidente que os valores de U_i e L_i em (1) e (2) representam a soma acumulada dos desvios com relação a μ_0 que são maiores que k , portanto, fica definido um intervalo de decisão para controle de processo. Ademais, um intervalo de decisão razoável é cinco vezes o desvio padrão do processo. Portanto, o intervalo de decisão combinado com o valor de referência definirá o desempenho do gráfico CUSUM na identificação de desvios fora de controle, bem como o controle do número de falsos alarmes quando o processo está estável.

Com isso, dadas uma amostra x_1, \dots, x_n , a implementação do método, neste trabalho, se dá fazendo $\mu_1 = \mu_x$, de modo que o valor de k é reescrito como (4).

$$k = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} = \frac{|\mu_0 + n\sigma_x - \mu_0|}{2} = \frac{|n\sigma_x|}{2}, \quad (4)$$

em que $\frac{|n\sigma|}{2} = \frac{n\sigma_x}{2}$ visto que n e σ_x são constantes reais positivas. Logo, as Equações (1) e (2) são implementadas em [13] da seguinte forma:

- 1) Soma cumulativa superior (*Upper cumulative sum*), ou seja, Limite superior da região de controle ou aceitação (Equação (5))

$$U_i = \{0, \text{se } i = 1 \left[0, U_{i-1} + x_i - \left(\mu_x + \frac{1}{2} n\sigma_x \right) \right], i > 1, \quad (5)$$

- 2) Soma cumulativa inferior (*Lower sum*), ou seja, Limite inferior da região de controle ou aceitação (Equação (6))

$$L_i = \{0, \text{se } i = 1 \left[0, L_{i-1} + x_i - \left(\mu_x + \frac{1}{2} n\sigma_x \right) \right], i > 1, \quad (6)$$

em que, neste caso, n é o número de desvios padrão na média alvo, que torna detectável uma mudança.

Assim, ao se utilizar o gráfico CUSUM espera-se que seja possível identificar mudanças substanciais no parâmetro em análise, neste caso, a média. Com isso, é permissível estabelecer um critério para tomada de decisões corretivas e/ou preventivas.

1.4 Método *Pruned Exact Linear Time* (PELT)

De acordo com [14,15], o método *Pruned Exact Linear Time* (PELT) aumenta a eficiência computacional do particionamento ótimo, assegurando a determinação de um mínimo global para uma função de penalização, a função custo. Sendo assim, os autores estabelecem o método PELT a partir do Teorema 1.

Teorema 1: Assumimos que ao introduzir um ponto de mudança em uma sequência de observações o custo, C , da sequência reduz. Mais formalmente, assumimos que existe uma constante K tal que para todo $t < s < T$,

$$C(y_{(t+1):s}) + C(y_{(s+1):T}) + K \leq C(y_{(t+1):T}), \quad (7)$$

então, se

$$F(t) + C(y_{(t+1):s}) + K \geq F(s),$$

mantém, em um tempo futuro $T > s$, t nunca pode ser o último ponto de mudança ótimo antes de T .

Como métrica de similaridade entre segmentos, o algoritmo PELT utiliza o quadrado da distância euclidiana para detectar mudanças em uma série temporal. Contudo, com o objetivo de evitar falsas detecções de mudanças, foi realizado um ajuste empírico no parâmetro PEN, que controla o número de pontos de mudança detectados pelo algoritmo e modifica a sensibilidade para detecção das mudanças. O valor de PEN foi ajustado empiricamente para cada mudança identificada e os resultados mostraram-se eficazes após as configurações de parâmetros.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

O estudo foi realizado nas instalações da empresa Intron Brasil, situada na Rua Chopin, nº 83 Parque Residencial Laranjeiras Serra, Espírito Santo (ES), Cep: 29166 – 240. A Intron Brasil, segundo seu site oficial, é uma empresa de consultoria e prestação de serviços de engenharia com o objetivo de monitoramento de saúde estrutural nos mais diversos ramos da indústria, monitoramento de danos em correias transportadoras, extensometria, monitoramento de saúde estrutural e desenvolvimento de aplicações IoT. A Figura 2 ilustra a instalação de uma correia transportadora em uma bancada no pátio da empresa.



Figura 2. Instalação da correia na bancada na Intron Brasil.
Fonte: Autor (2023).

2.1.1 Coleta de dados

A Figura 3 apresenta um *Laser Scanner* 2D instalado na bancada de teste do transportador de correia. Com a correia em funcionamento, o *Laser Scanner* emite um feixe horizontal perpendicular ao sentido de movimento da correia, sobre a parte de recebimento de carga. Com isso, é possível descrever a superfície da correia a partir de um vetor bidimensional de pontos. Para tanto, o *Laser Scanner* deve ser instalado sob a face de carga, próximo ao ponto de alimentação, objetivando, assim, detectar o início do surgimento de rasgo na correia. Portanto, com esta configuração é gerada uma nuvem de pontos 2D que é enviada em tempo real para tratamento no *software* desenvolvido.

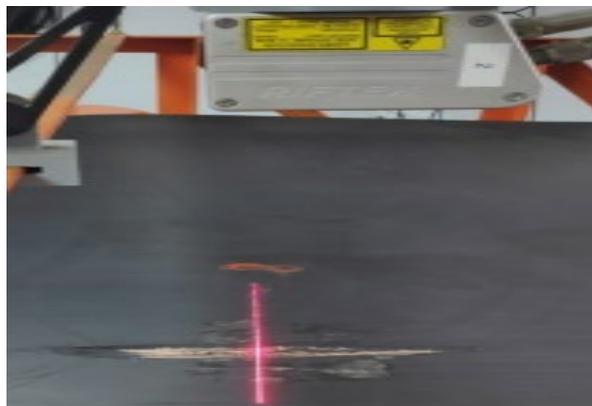


Figura 3. *Laser Scanner* 2D instalado na bancada de teste do transportador de correia.
Fonte: Autor (2023).

O *software* desenvolvido para o agrupamento e tratamento dos dados foi nomeado *Intron Conveyor Belt Test*, o qual, para permitir a identificação dos rasgos foi implementado a partir das métricas estatísticas *three sigma* e *Cumulative sum control chart* - CUSUM. Desta forma, o objetivo é que a partir dos vetores de pontos enviados pelo sensor o sistema identifique as deformações na linha horizontal do feixe de luz, convertida em um gráfico de linha, sobre a correia causada pelos rasgos longitudinais presentes em sua superfície.

Ademais, o sistema calcula a curvatura da representação gráfica da leitura dos pontos transmitidos pelo sensor, objetivando extrair os pontos críticos que são assumidos como pontos de regiões que apresentam, ou não, algum rasgo presente na correia.

Este procedimento é realizado internamente pelo *Intron Conveyor Belt Test* através de uma análise estatística, considerando o *three Sigma* e CUSUM, assim, fica identificado o rasgo da correia. Isto posto, na Figura 4 é ilustrado o fluxograma para detecção de rasgo na correia transportadora.

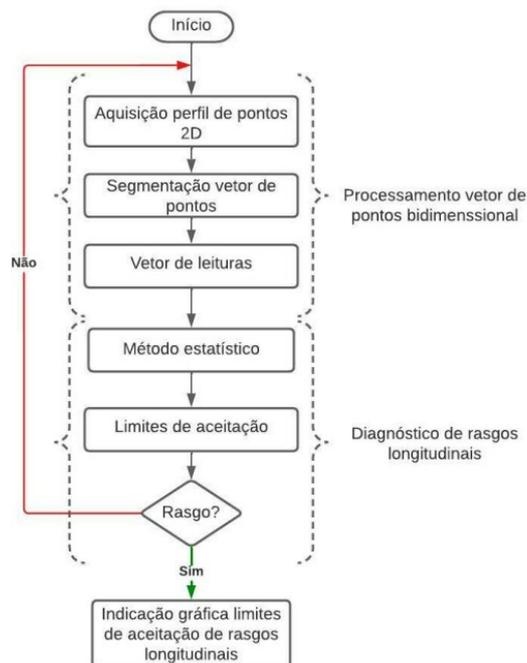


Figura 4. Fluxograma para detecção de rasgo em correia transportadora.

Fonte: Criado pelo autor com adaptações do trabalho de [16].

2.2 Resultados e discussão

Inicialmente, destacamos que os códigos *three sigma* e soma cumulativa foram escritos na linguagem orientada a objeto *C#* e o código PELT em Python. Com isso, o desenvolvimento da pesquisa se deu a partir da criação de um ambiente de experimentos. Neste ambiente, foi montada uma bancada de testes e instalada uma correia transportadora conectando-o a um *Laser Scanner 2D*.

A identificação de pontos de alta curvatura ou atípicos é sempre um desafio no processo de análise de dados. Diante disso, foi proposto para o tratamento dos dados uma estatística de teste utilizando os algoritmos *three sigma* e soma cumulativa, que geram gráficos em função do deslocamento da média. Com isso, é possível identificar pontos na curva fora dos limites de aceitação, ou seja, existe rasgo.

A Figura 5 apresenta os gráficos para detecção de rasgos utilizando os métodos *tree sigma*, CUSUM e PELT, gráficos A, B e C, respectivamente, quando aplicados em uma região da correia que não apresenta rasgos. Assim, pode-se observar, que o gráfico do sinal obtido, quando utilizado o algoritmo ambos os métodos, se encontra inteiramente contido na região de aceitação. Portanto, confirma que não há presença de rasgos.

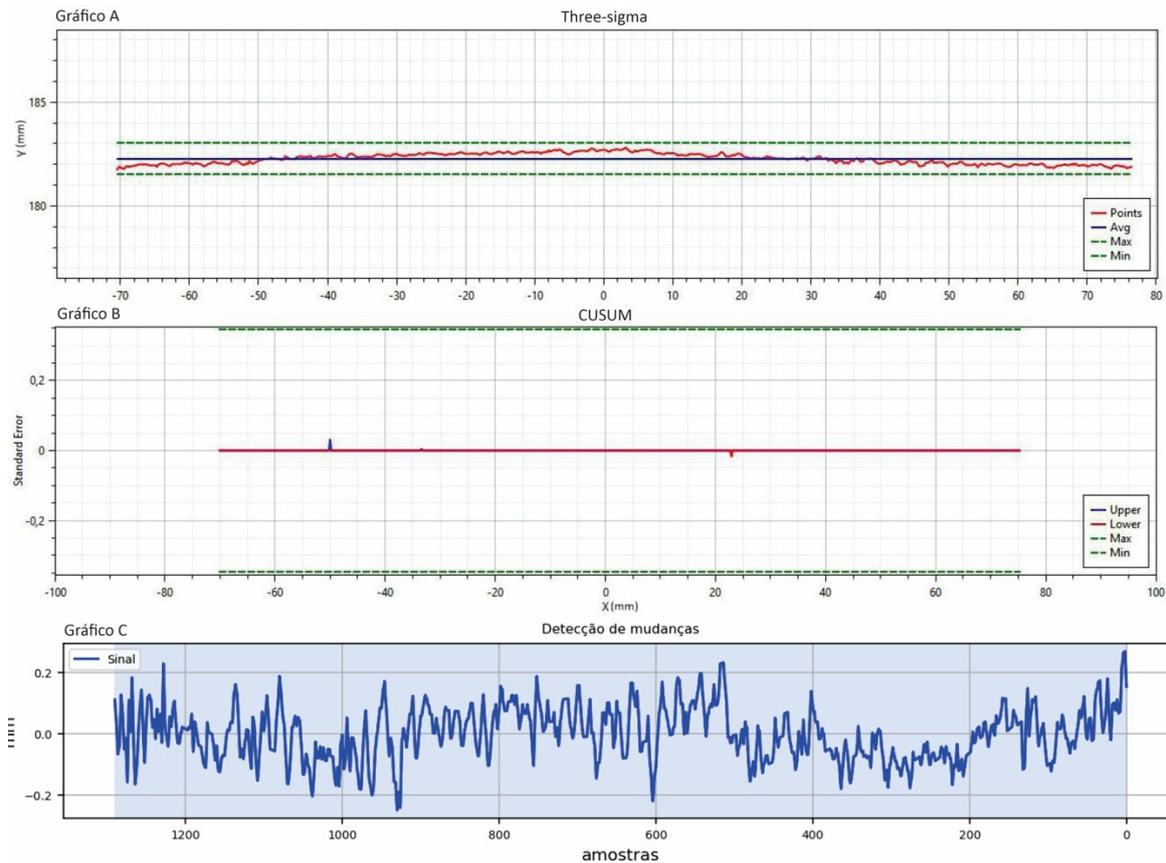


Figura 5. Tree sigma, CUSUM e PELT para uma região da correia sem rasgo.

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 6 os métodos são aplicados nos dados obtidos a partir de uma região da correia com a presença de um rasgo de 1,5 mm de profundidade. Como pode-se observar, os algoritmos conseguem detectar a presença do rasgo, visto que existem pontos fora da região de aceitação, ou seja, a curva ultrapassa seu limite superior no caso dos gráficos A e B, no gráfico C o rasgo detectado é apontado pela região rosa. A figura 7 apresenta os resultados quando os métodos são aplicados em uma região da correia com a presença de dois rasgos longitudinais característico de um rolete danificado ou estragado. Como no caso anterior a leitura dos rasgos ocorreu próximo do tambor de tração, assim, é possível identificar a superfície da correia o mais plana possível, evitando vibração, folga, dentre outras. Nesta conjuntura, o algoritmo *three sigma*, CUSUM e PELT, gráficos A, B e C, respectivamente, consegue detectar os possíveis rasgos em duas localizações.

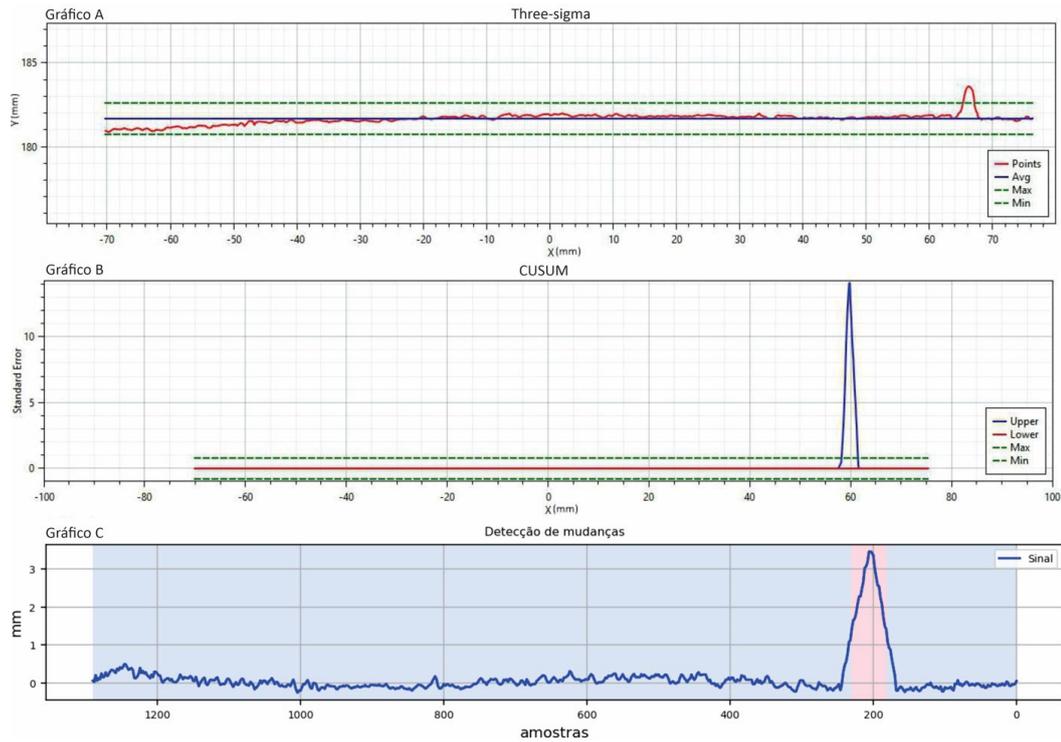


Figura 6. *Tree sigma*, CUSUM e PELT para uma região da correia com rasgo 1,5 mm profundidade.
Fonte: Autor (2023).

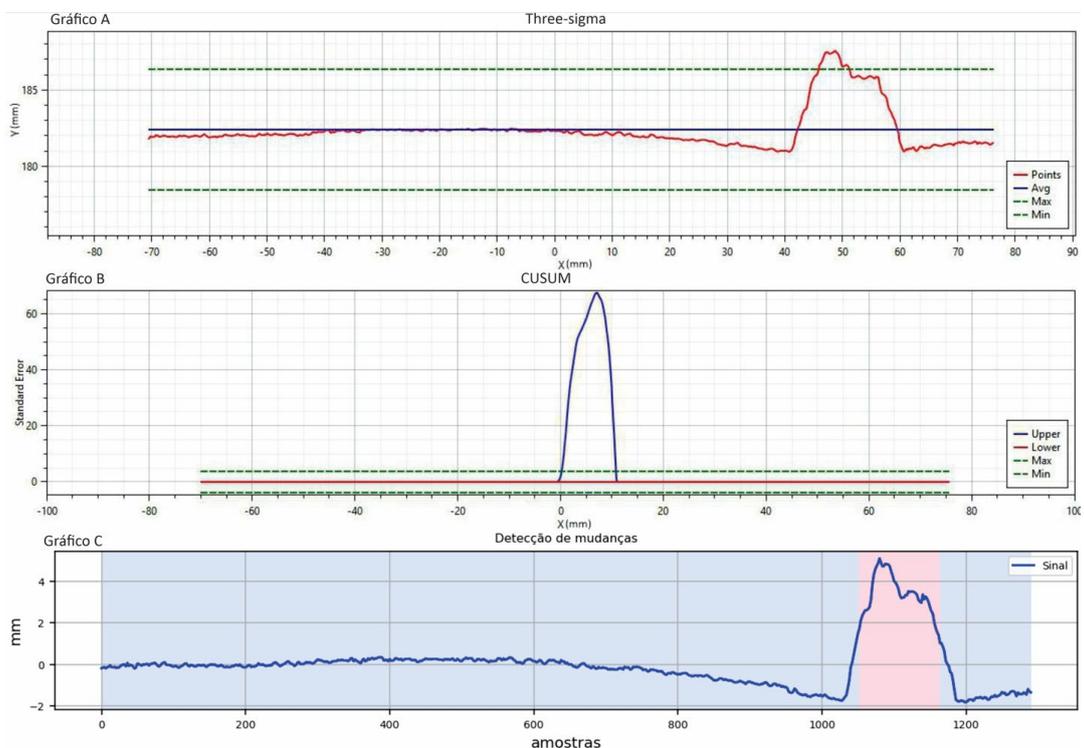


Figura 7. *Tree sigma*, CUSUM e PELT para uma região da correia com dois rasgos.
Fonte: Autor (2023).

A Figura 8 apresenta os resultados quando os métodos são aplicados em uma região da correia com a presença de três rasgos característicos de algum material aglomerado em local indevido, entupimento de chute, ou desalinhamento da correia.

Para este caso, como mostrado nos gráficos A, B e C, quando os algoritmos são aplicados no vetor de leitura dos dados reais, o gráfico indica a presença de pontos fora da região de aceitação, portanto, detecta os três rasgos.

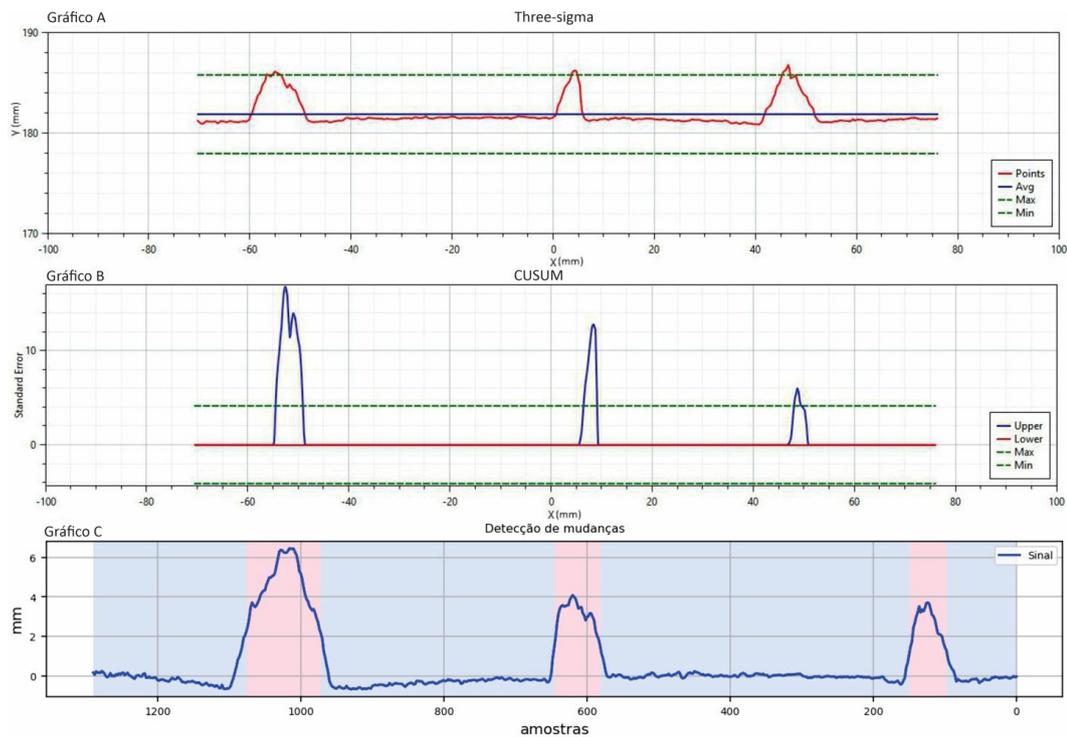


Figura 8. *Tree sigma*, CUSUM e PELT para uma região da correia com três rasgos.
Fonte: Autor (2023).

No que se refere à detecção de mudanças na média, para um deslocamento na média de 3 desvio padrão, para identificar pontos atípicos fora dos limites de aceitação, o algoritmo *three sigma* obteve melhores desempenho com relação ao CUSUM e PELT. Destacamos que, embora os testes não tenham sido realizados em condições ruidosas, ou seja, em operação real, os resultados foram obtidos a partir de uma correia real montada em uma bancada de testes. Reforçamos ainda que ambos os algoritmos apresentaram limitações para identificação de mais de um rasgo. Apesar disso, os resultados apresentaram-se promissores.

Outrossim, em situações reais a identificação de rasgos, é de fato mais importante do que com qual precisão este rasgo é detectado. Portanto, a proposta do algoritmo *three sigma* é um sistema de detecção em tempo real, que pode ser apresentado na indústria para resolver o problema de detecção de rasgos longitudinais de correia transportadora.

De mais a mais, evidenciamos que as medições dos rasgos, como tamanho real e profundidades, podem ser influenciadas por diversos fatores, como a distância entre o *laser* e a correia, velocidade do transportador, dentre outros. Portanto, o dimensionamento destes parâmetros pode auxiliar na descrição espacial à realidade de cada rasgo, permitindo sinalizar os rasgos potencialmente perigosos para o funcionamento da correia.

3 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma nova ferramenta para identificação de rasgo longitudinal da correia transportadora com rapidez e precisão, considerando a regra 68 – 95 – 99, o gráfico de controle de soma cumulativa e o algoritmo PELT, baseado no processamento de nuvens de pontos 2D. As fotos investigadas foram reais, captadas a partir de uma bancada de testes, projetada especificamente para realização deste trabalho.

Utilizando um *Laser Scanner* 2D os dados de nuvem de pontos bidimensionais na superfície superior da correia foram coletados em um modo de varredura de linha. Desta forma, os algoritmos propostos foram usados em cada ciclo de processamento para tratar os dados da nuvem de pontos e analisar a capacidade dos métodos em detectar o rasgo longitudinal em tempo real.

O critério utilizado como métrica foi o deslocamento da média com relação ao desvio padrão. Este critério está de acordo com os sugeridos na literatura. A performance dos algoritmos, sendo o *three sigma* ligeiramente melhor que os outros propostos, uma vez que a simplicidade para sua implementação não comprometeu os resultados, mostra que o método proposto tem, de fato, potencial para identificação de rasgos no ambiente real, como exemplo uma mineradora, ou em qualquer ambiente que utilize sistemas de transportadores de correias.

Destarte, a proposta desenvolvida neste trabalho pode não apenas ser usada para a detecção do rasgo longitudinal da correia, mas também tem amplas perspectivas de aplicação na solução de outros problemas, como a identificação de defeitos e corpos estranhos presentes em partes da correia, podendo assim, ser evitado acidentes por parte dos colaboradores ao tirar a necessidade de efetuar inspeção presencial.

REFERÊNCIAS

- 1 B. Ricardo Luis. Desenvolvimento de abordagem baseada em técnicas de visão computacional e de aprendizado de máquinas para monitoramento e controle de falhas em correias transportadoras. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2019.
- 2 R. Guilherme Brito and, D. Jacó Dias, and da Silva, P. César, and F. Amauri Coelho, and G. Gaigher, and A. Jakson Inácio, and V. Pritzelwitz Philip, and G. Freitas. Estudo e testes conceituais de um sistema automatizado para emenda de correias transportadoras. Anais do 14o Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Galoa. doi, v.10, 2019.
- 3 B. Luis Ricardo, and F. Rogério, and M. Diego. Método de sistemas dinâmicos a laser e visão computacional para monitoramento e controle de falhas na detecção de danos em correias transportadoras. Anais,2017.
- 4 T. Paweł, and B. Jan, and B. Ryszard, and Z. Radosław. Damage detection based on 3d point cloud data processing from laser scanning of conveyor belt surface. Remote Sensing, MDPI, v. 13, n. 1, p. 55, 2020.
- 5 V. Ricardo Campus. Modelagem de curvas de degradação de correias transportadoras com base em covariáveis inerentes ao processo de mineração. 2014.

- 6 G. Velmurugan, and E. Palaniswamy, and M. Sambathkumar, and R. Vijayakumar, and T.M. Sakthimuruga, “Conveyor belt troubles (bulk material handling)”. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, v. 2, n. 3, p. 21–30, 2014.
- 7 Z. Shirong and X. Xiaohua, “Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems”. *Applied Energy*, Elsevier, v. 87, n. 6, p. 1929–1937, 2010.
- 8 X. Shichang, and C. Gang, and P. Yusong and J. Zujin, and K. Bin, “Identificando e caracterizando o rip longitudinal da correia transportadora por processamento de nuvem de pontos 3d”. *Sensores*, 2021.
- 9 M. Marcos Nascimento, “Probabilidade e variáveis aleatórias”. Edusp, 2006.
- 10 R Core Team. “R: A Language and Environment for Statistical Computing”. Vienna, Austria, 2020.
- 11 H. Franz, “A Logical Introduction to Probability and Induction”. [S.I.]: Oxford University Press, 2018.
- 12 V.V. KOSHTI, “Cumulative sum control chart”. *International Journal of Physics and Mathematical Sciences*, v. 1, n. 1, p. 28–32, 2011.
- 13 I. MATHWORKS, “MATLAB: the language of technical computing. Cusum: Detect small changes in mean using cumulative sum”. [S.I.]: MathWorks. 2022.
- 14 TRUONG, Charles; OUDRE, Laurent; VAYATIS, Nicolas. Selective review of offline change point detection methods. *Signal Processing*, v. 167, p. 107299, 2020.
- 15 R. Killick, P. Fearnhead, and I. A. Eckley. Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association*, 107(500): 1590–1598, 2012.
- 16 X. Li, and L. Shen, and Z. Ming, and C. Zhang, and H. Jiang, “Laser based on-line machine vision detection for longitudinal rip of conveyor belt”. *Optik*, Elsevier, v. 168, p. 360–369, 2018.