

## CARTAS DE CONTROLE MULTIVARIADAS PARAMÉTRICAS: UMA REVISÃO

TAMIRES FERNANDA BARBOSA NUNES<sup>1</sup>; RAFAEL DA COSTA CARRIR<sup>2</sup>;  
ARIANE FERREIRA PORTO ROSA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – tamiresfbnunes@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – rafacarrir@bol.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – afprosa61@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais atuais requerem técnicas estatísticas de controle capazes de monitorar as variáveis simultaneamente ou controlar duas ou mais características de qualidade dos processos. As cartas de controle multivariadas, são utilizadas quando existe correlação entre as variáveis sob análise, mostrando como as variáveis influenciam no processo simultaneamente, sendo capazes de monitorar um conjunto de duas ou mais variáveis de processos.

As Cartas de Controle Multivariadas Paramétricas são cartas de controle tradicionais que pressupõe o conhecimento da distribuição das variáveis, para aplicação dos métodos encontrados na literatura. Os testes para construção das cartas de controle assumem que a distribuição das variáveis seja conhecida e que apenas valores de certos parâmetros, como média e desvio padrão, possam ser desconhecidos. A carta de controle multivariada mais conhecida  $T^2$  de Hotelling foi introduzida por Hotelling em 1947 durante a segunda guerra mundial. Para HAYTER (2000) um procedimento de implementação de controle de qualidade multivariável terá sucesso quando atingir os seguintes objetivos: (I) Controlar a taxa de erro de falsos alarmes; (II) Fornecer identificação direta das variáveis fora de controle; (III) Ser capaz de indicar os desvios das variáveis aberrantes e seus referentes valores; (IV) Ser válido sem exigir quaisquer pressupostos de distribuição.

O presente trabalho visa realizar uma revisão literária sobre as CCMP Hotelling  $T^2$ , MEWMA e MCUSUM e suas implementações recentes. Também buscamos enfatizar a necessidade de artigos de revisão, pois estes representam estudos expostos de forma compilada inclinando-se ao desencadeamento de novas ideias e campos de pesquisa, assim como fonte de motivação para elaboração de novos estudos e adaptações das implementações aqui discutidas.

#### 1.1. HOTELLING $T^2$

O gráfico de controle Hotelling  $T^2$ , introduzido por Hotelling, é a carta de controle mais popular para monitorar múltiplas características de qualidade, utilizada para monitorar o vetor média do processo. A sensibilidade das cartas de controle multivariadas de Hotelling para detectar problemas existentes nos processos é maior que as de cartas de controle univariadas.

Encontramos estudos e aplicações referentes as cartas de controle Hotelling  $T^2$  em diversos processos industriais, que ressaltam a eficácia da técnica para o controle e monitoramento do desempenho dos processos. MACIEL et al. (2014), ZANITT e OLIVEIRA (2015) e SIMÓN et al. (2009) apresentam o método aplicada a indústria alimentícia. URBIETA et al. (2015) e YEONG et al. (2014) utilizaram a técnica aplicada ao mercado financeiro. Enquanto LIMA et al. (2012) e ZAMARRÓN et al. (2012) utilizaram a abordagem no desenvolvimento de

produtos. CASTAGLIOLA e ROSA (2006) monitoram lotes de processos com diferentes durações baseando-se na abordagem Hotelling  $T^2$ .

A aplicação de estudos baseados no método Hotelling  $T^2$  em conjunto com técnicas de decomposição, permitem detectar as causas que levam as variáveis sob análise não alcançarem os parâmetros de qualidades adequados ao final dos processos.

## 1.2. MEWMA

A carta de controle multivariada de média móvel exponencialmente ponderada (Multivariate Exponentially Weighed Moving Average), é uma extensão da carta EWMA univariada. A versão multivariada do EWMA oferece maior sensibilidade para pequenas mudanças.

Assim como a carta de controle Hotelling  $T^2$ , as cartas de controle baseadas em MEWMA possuem amplas implementações nos diversos nichos industriais. POLONI e SBRANA (2015) aplicam o método à previsão de demanda. JONER JR. et al. (2008) utilizam o método como ferramenta de apoio a identificação de condições médicas. ZOU et al. (2012) utilizam a abordagem em uma empresa de logística. LEE et al. (2008) empregam a técnica em processos de fabricação de semicondutores. Enquanto RAHIN et al. (2011) a utilizam em um sistema de fluido físico.

## 1.3 MCUSUM

As cartas de controle multivariadas MCUSUM (Multivariate Cumulative Sum) são cartas de soma cumulativa multivariável. Assim como as cartas de controle MEWMA, são uma alternativa para situações que exijam detecção de pequenas à médias mudanças em parâmetros do processo.

O método possui aplicações em diversos segmentos industriais, assim como os métodos anteriormente expostos. HARROU et al. (2015), MAY et al. (2010) e HAN e ZHONG (2015) utilizam o método no ambiente hospitalar. HUI e CHEN (2012) utilizam a abordagem em uma aplicação no mercado imobiliário. ABDELLA et al. (2016) utilizam a abordagem para processos de alta dimensionalidade.

## 2. METODOLOGIA

A proposta do presente trabalho caracteriza-se como pesquisa de natureza básica, na qual o foco é gerar conhecimentos atuais para o avanço da ciência sem aplicação prática. “Pesquisa básica objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais[...]”. (SILVA, 2005, p.20)

O desenvolvimento do presente trabalho se deu através de uma pesquisa bibliográfica, através de livros e publicações existentes nas principais bases de dados científicos, com o intuito de fundamentar e tornar explícito a proposta de pesquisa. Considerando as publicações realizadas entre 2006 e 2016, pesquisadas nas principais bases de dados de análise científica. Foram pesquisados duzentos e cinquenta artigos científicos de diferentes periódicos nacionais e internacionais através do Portal de Periódicos da CAPES com acesso disponibilizado pela UFPel.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A crescente competitividade no mercado industrial demanda métodos com a finalidade de aumentar o desempenho dos processos, aumentando a

produtividade, reduzindo os custos, aumentando a confiabilidade dos equipamentos, reduzindo a ociosidade dos colaboradores, para que os objetivos globais da empresa sejam alcançados. Além da competitividade que vêm moldando o mercado em busca de um diferencial, as características dos processos vêm sendo alteradas devido a diversos fatores como a automação industrial, alto volume de dados e a evolução tecnológica em si.

A natureza multivariável dos processos industriais atuais demandam métodos estatísticos de controle de qualidade de processos mais robustos para atender suas necessidades e individualidades. Estes métodos têm sido adaptados as características atuais dos processos industriais e utilizados em conjuntos com diversas técnicas estatísticas afim de aderir as mudanças inerentes aos processos em seus diversos segmentos.

A revisão literária cartas de controle multivariadas paramétricas e suas implementações recentes busca enfatizar a necessidade do estudo do estado da arte atualizado sobre o tema possibilitando o desencadeamento de novas ideias e campos de pesquisa, para identificação das demandas presentes nos processos industriais. Avaliar a produção científica é fundamental para garantir investimento financeiro para o segmento de pesquisas, e a participação da Ciência na construção do conhecimento econômico, social, político e educacional do país.

#### 4. CONCLUSÕES

Atualmente os gráficos de controle multivariados têm sido amplamente utilizados na indústria, devido ao aumento de variáveis presentes nos processos, sua simultaneidade e a necessidade de monitoramentos em tempo real para o acompanhamento do desempenho dos processos. Com isso cresce a necessidade de pesquisas sobre este tipo de gráficos, suas implementações e disseminação nos mais variados nichos industriais. O presente trabalho buscou realizar uma introdução, exposição dos trabalhos realizados e da disseminação destas técnicas nos processos industriais. Os gráficos Hotelling  $T^2$ , MEWMA e MCUSUM apresentaram aplicações eficazes e aumento de desempenho dos processos em diversos nichos industriais: indústria alimentícia, processos químicos, desenvolvimento de produtos, indústria farmacêutica, setor metal mecânico, área da saúde, área de logística, setor hospitalar, sistemas hídricos, projetos náuticos, indústria eletrônica, mercado imobiliário, aplicações financeiras, entre outras. Suas implementações como controle estatístico de processos aumentam a confiabilidade dos sistemas de produção, reduzem custos operacionais, proporcionam o alcance de níveis de qualidade desejados e o aumento da produtividade dos processos. Permitindo o aumento do desempenho dos processos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELLA, G. M. et al. **Variable selection-based multivariate cumulative sum control chart**. Quality and Reliability Engineering International, 2016.
- BERSIMIS, S.; PSARAKIS, S.; PANARETOS, J. **Multivariate Statistical Process Control Charts: An Overview**. Quality and Reliability Engineering International, v.23, p. 517-543, 2007.
- CASTAGLIOLA, P.; ROSA, A. F. P. **Monitoring of Batch Processes with varying durations based on the Hausdorff distance**. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, v.13, n.3, p.1-24, 2006.
- HAN, S W.; ZHONG, H. **A comparison of MCUSUM-based and MEWMA-based spatiotemporal surveillance under non-homogeneous populations**. Quality and Reliability Engineering International, v. 31, p. 1449-1472, 2015.



- HARROU, F. et al. **Improved principal componente analysis for anomaly detection: Application to an emergency department.** Computers & Industrial Engineering, v. 88, p. 63-77, 2015.
- HAYTER, A. J. **Statistical Process Monitoring and Optimization.** V. 160, New York: Marcel Dekker, 2000.
- HUI, E. C.M.; CHEN, J. **Investigating the change of causality in emerging property markets during the financial tsunami.** Physica A, v. 391, p. 3951-3962, 2012.
- JONER JR. et al. **A one-sided MEWMA chart for health surveillance.** Quality and Reliability Engineering International, v. 24, p. 503-518, 2008.
- LEE, S.P.; CHOU, R.J.; TSENG, S.T. **Stability and performance of a double MEWMA controller for drifted MIMO systems.** IIE Transactions, v. 40, p. 690-705, 2008.
- LIMA, M. B. F. et al. **Aplicações do controle estatístico multivariado da qualidade: Monitoramento de garrafeiras plásticas numa empresa da Paraíba.** In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.
- MACIEL, T. H.; BRANCO, G. M.; WERNER, L. **Cartas de controle multivariadas: Estudo de caso em vinícolas italianas.** Cadernos do IME – Série Estatística, Universidade Federal do Rio de Janeiro. ISSN on-line: 2317-4535 – v.37, p. 01-14, 2014.
- MAY, L. S. et al. **Emergency department chief complaint and diagnosis data to detect influenza-like illness with na electronic medical record.** Western Journal of Emergency Medicine, v. XI, n. 1, 2010.
- POLONI, F.; SBRANA, G. **A note on forecasting demand using the multivariate exponential smoothing framework.** International Journal of Production Economics, v. 162, p. 143-150, 2015.
- RAHIM, M. A. et al. **Quality monitoring of a closed-loop system with parametric uncertainties and external disturbances: a fault detection and isolation approach.** International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 293-306, 2011.
- SILVA, E. L.; MENEZES E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 4ª edição, 2005.
- SIMÓN, F. J. et al. **Control estadístic de processos multivariantes em la indústria alimentaria: Implementación a través del estadístico T<sup>2</sup>- Hotelling.** Agroalimentaria, v. 15, nº 28, p. 91-105, 2009.
- URBIETA, P. C.; HO, L. L.; RIBEIRO, C. O. **Aplicação de gráficos de controle para monitoramento de portfólios.** In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, CE, Brasil, 2015.
- YEONG, W. C. et al. **Economically optimal design of a multivariate synthetic T<sup>2</sup> chart.** Communications in Statistics – Simulation and Computation, v. 43, p. 1333-1361, 2014.
- ZAMARRÓN, A. M. C.; PRADO, E. M.; LUIS, F. Z. **Monitoreo y control de um processo normal multivariado.** Conciencia Tecnológica, nº 43, 2012.
- ZANITT, J. F; OLIVEIRA, D. C. R. **Análise multivariada para o controle da qualidade microbiológica do leite cru.** In: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, CE, Brasil, 2015.
- ZOU, C.; NING, X.; TSUNG, F. **LASSO-based multivariate linear profile monitoring.** Annals of Operations Research, v. 192, p. 3-19, 2012.