



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO  
ON-LINE

02 a 04  
de dezembro 2020

## Gráficos de controle para monitoramento de perfis não lineares: uma revisão

**Giselle Elias Couto**

Departamento de Engenharia de Produção, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da  
Fonseca - CEFET/RJ e Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

**Pedro Carlos Oprime**

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

**Resumo:** A qualidade de um processo pode ser verificada pela avaliação da variabilidade de uma determinada característica de interesse medida a partir das saídas do processo. O gráfico de controle é uma ferramenta estatística útil para monitorar essa variabilidade. Em muitas aplicações, a característica a ser monitorada é melhor representada por uma relação funcional entre uma ou mais variáveis de resposta e uma variável explicativa, a essa relação é dado o nome de perfil. Embora a pesquisa sobre monitoramento de perfis tenha crescido nos últimos anos, a maioria dos estudos têm se concentrado em perfis lineares simples. O presente artigo apresenta uma revisão da literatura sobre gráficos de controle desenvolvidos para outros tipos de perfil. Os resultados encontrados apontam que essa é uma área promissora de estudo com muitas oportunidades para desenvolvimentos futuros.

**Palavras-chave:** Monitoramento de perfis, Gráficos de controle, Controle estatístico de processos.

## Control charts for nonlinear profile monitoring: a review

**Abstract:** The process quality can be verified by assessing the variability of a particular quality characteristic measured from the output of the process. The control chart is a useful statistical tool to monitor this variability. In many applications, the quality characteristic to be monitored is best represented by a functional relationship between one or more response variables and an explanatory variable. This functional relationship is called a profile. Although research on profile monitoring has grown in recent years, most studies have focused on simple linear profiles. This article presents a literature review on control charts developed for other profile types. The results show that this is a promising study area with many opportunities for future developments.

**Keywords:** Profile monitoring, Control charts, Statistical process control.

### 1. Introdução

O gráfico de controle é uma ferramenta estatística bem estabelecida que permite controlar e monitorar a variabilidade de processos industriais. Ao estabelecer um gráfico de controle básico devem ser calculados os seguintes elementos: Linha Central (LC), Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC). Os dois últimos representam os limites que se ultrapassados resultarão em um alerta, indicando que o processo não está

sob controle estatístico. Ambos são frequentemente definidos pela estimativa da média e do desvio padrão da variável aleatória que representa a característica da qualidade monitorada (CARBONE; MACII; PETRI, 2003; IPEK; ANKARA; OZDAG, 1999).

O Controle Estatístico de Processos (CEP) tradicional monitora o processo ou o desempenho do produto usando medidas de uma única característica da qualidade, ou um vetor de características, em um determinado tempo ou espaço. No entanto, em muitas aplicações essa característica é melhor representada por uma relação funcional entre uma ou mais variáveis de resposta e variáveis explicativas ao longo do tempo. Essa relação funcional é chamada de perfil (MALEKI; AMIRI; CASTAGLIOLA, 2018).

Os perfis podem ser classificados de diferentes formas de acordo com a complexidade de seus modelos. O tipo de perfil mais simples é o perfil linear, utilizado quando a relação entre a característica de interesse e as variáveis independentes é representada por um modelo de regressão linear.

Em algumas aplicações, a forma funcional do perfil não pode ser adequadamente caracterizada usando métodos de regressão linear. Nesses casos, os perfis podem ser modelados por meio de regressão não linear paramétrica, denominados como perfis não lineares, ou por métodos de suavização não paramétricos, chamados perfis não paramétricos. As técnicas de regressão não paramétrica têm maior flexibilidade na modelagem de resposta do que métodos não lineares. No entanto, a modelagem pode ser mais difícil em situações práticas (NOOROSSANA; SAGHAEI; AMIRI, 2011).

Nos casos em que a variável de resposta não segue uma distribuição normal, o modelo linear generalizado (GLM) é frequentemente aplicado, sendo esses denominados como perfis GLM. O GLM é considerado um modelo da família de distribuições exponenciais, incluindo distribuições Binomiais, de Poisson e Gama (AMIRI; SOGANDI; AYOUBI, 2018)

Outro tipo de perfil estudado é o perfil geométrico. Relaciona-se a espaços bidimensionais ou tridimensionais, obtidos pela medição de uma característica geométrica, como a circularidade e a cilindridade, em múltiplos pontos do perfil. Perfis e superfícies usinados podem ser considerados como dados funcionais se um subconjunto das coordenadas que são utilizadas para representar a posição de cada ponto amostrado puder ser representado em função de uma ou mais variáveis independentes (NOOROSSANA; SAGHAEI; AMIRI, 2011). Estudos recentes também exploram outros tipos de perfis, como perfis semi paramétricos e perfis fuzzy (MALEKI; AMIRI; CASTAGLIOLA, 2018).

As tecnologias que acompanham o desenvolvimento de processos produtivos aumentaram a quantidade e a complexidade dos dados de saída dos processos. Com isso, estudos sobre monitoramento de perfis não lineares tem crescido nos últimos anos. O presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura para identificar os avanços em estudos desenvolvidos sobre o tema.

## **2. Método de Pesquisa**

O método utilizado nesta revisão segue o procedimento sistemático sugerido por Jesson, Matheson e Lacey (2011). Este procedimento consiste nas seguintes etapas: mapeamento da área de estudo por meio de uma revisão de escopo, pesquisa abrangente, avaliação de qualidade, extração de dados, síntese e escrita. A Tabela 1 apresenta o protocolo de pesquisa utilizado.

**Tabela 1 – Protocolo de pesquisa utilizado na revisão**

Protocolo de Pesquisa	
Período	Artigos publicados até junho de 2020
Tipo	Artigos de periódicos e congressos
Idioma	Inglês
Strings	("regression profile" OR "nonlinear profile" OR "multivariate profile" OR "polynomial profile" OR "logistic profile" OR "profile* monitoring" OR "functional data" OR "curve monitoring" OR "functional regression") AND ("control chart*" OR "statistical process control")
Crítérios de Inclusão	- Design estatístico de gráficos de controle para perfis não lineares
Crítérios de Exclusão	- Outras técnicas para monitoramento de perfis - Design econômico de gráficos de controle - Exemplos de aplicação sem desenvolvimento - Modelos de estimação de parâmetros - Revisões da literatura

As bases de dados Web of Science e Scopus foram escolhidas por abrangerem os principais periódicos da área de estudo. Como o monitoramento de perfil é um assunto relativamente recente na literatura de controle estatístico de processo, não houve limitação de data inicial para as publicações. Foram selecionados somente artigos sobre design estatístico de gráficos de controle, demais estudos sobre gráficos de controle foram excluídos da pesquisa.

### 3. Resultados

O monitoramento de perfis é uma área de pesquisa relativamente recente dentro dos estudos sobre gráficos de controle. Trabalhos sobre o tema somente foram publicados nas últimas duas décadas, sendo em grande maioria desenvolvidos para perfis lineares. Contudo, em muitos casos práticos, os dados são representados por outros tipos de perfil, havendo a necessidade de uma maior quantidade de estudos sobre perfis mais complexos do que os lineares. A seguir são apresentados os artigos desenvolvidos para perfis não lineares de acordo com o tipo de perfil estudado.

#### 3.1 Gráficos de controle para perfis não lineares

Considerando que em muitas aplicações práticas um perfil não pode ser adequadamente representado por perfis lineares, alguns autores desenvolveram gráficos de controle para perfis não lineares. Jeong, Lu e Wang (2006), Williams, Woodall e Birch (2007), Shiau et al. (2009), Fan, Chang e Aidara (2013) e Hadidoust, Samimi, Shahriari (2015) propuseram procedimentos de monitoramento com base no gráfico de controle  $T^2$  de Hotelling.

Chang e Yadama (2010) combinaram a decomposição de ondas e a suavização de B-spline permitindo que os usuários dividam um perfil em vários segmentos a serem monitorados simultaneamente. Com base neste estudo, Chou, Chang e Tsai (2014) propuseram dois novos métodos para monitorar a estabilidade do processo para múltiplos perfis. Fan et al. (2011) propuseram a quebra do perfil em vários segmentos de pontos de dados para o monitoramento separado de cada segmento. Chen e Nembhard (2011) propuseram um gráfico de controle de alta dimensão para investigar perfis lineares e não lineares. Capizzi e Masarotto (2011) também investigaram aplicações multidimensionais, combinando um método de seleção variável com um gráfico de controle multivariado para detectar alterações tanto na média quanto na variabilidade de um processo multidimensional com

erros gaussianos. Wang et al. (2015) propuseram um gráfico CUSUM para detectar mudanças na média de um perfil de alta dimensão.

Sheu, Ouyoung e Hsu (2013) propuseram um esquema denominado FDA. Nikoo e Noorossana (2013) propuseram um método baseado em ANOVA. Umdibi, Borrór e Montgomery (2015) propuseram um método baseado no p-valor para monitorar perfis polinomiais e não lineares. Zang, Wang e Jin (2016) desenvolveram uma estrutura para monitorar perfis não alinhados com base em DTW robusto. Jensen, Grimshaw e Espen (2016) descreveram uma técnica paramétrica baseada na combinação de duas funções não lineares diferentes. Fan, Jen e Lee (2017) propuseram uma nova abordagem de controle usando a função tangente hiperbólica para modelar e monitorar dados do processo de tratamento térmico a vácuo.

Em estudos recentes Awad, Alhamaydeh e Faris (2018) propuseram uma abordagem para detecção de falhas de sistemas complexos baseados na caracterização de rede neural artificial. Li, Pan e Liao (2019) propuseram um gráfico de controle não paramétrico EWMA. Pan, Li e Lu (2019) propuseram um gráfico de controle de classificação espacial não paramétrica exponencial ponderada (RSREWMA). Chen, Yu e Wang (2020) desenvolveram um modelo de deep learning denominado SDAE e propuseram três gráficos de controle para monitoramento de perfis complexos.

### **3.2 Gráficos de controle para perfis GLM**

Em algumas aplicações, quando a suposição de normalidade da variável de resposta é violada, modelos lineares generalizados (GLM) podem ser aplicados para representar dados de perfil. Alguns autores estudaram o caso do monitoramento de perfis em um modelo de regressão logística, incluindo Yeh, Huwang e Li (2009, Shang, Tsung e Zou (2011), Koosha e Amiri (2013), Noorossana, Aminnayeri e Izadbakhsh (2013) e Hakimi, Amiri e Kamranrad (2017).

Soleymanian, Khedmati e Mahlooji (2013), Noorossana, Niaki e Izadbakhsh (2015), Amiri et al. (2015), Qi et al. (2016) e Derakhshani, Esmaeeli e Amiri (2020) se basearam no teste de razão de verossimilhança para estudar perfis GLM. Outros estudos para perfis GLM foram desenvolvidos por Arturo Panza e Alberto Vargas (2016), Huwang et al. (2016), Maleki, Amiri e Taheriyoun (2017), Ding, Tsung e Li (2017), Amiri, Sogandi e Ayoubi (2018) e Li (2018).

Estudos recentes foram desenvolvidos por Gong e Mukherjee (2019) para monitorar simultaneamente os parâmetros de escala e forma para uma distribuição de Weibull. Khosravi e Amiri (2019) propuseram três gráficos de controle para monitorar perfis com variável de resposta binomial. Kinat, Amin e Mahmood (2020) desenvolveram gráficos de controle baseados em gráficos de Shewhart para o caso em que a variável de resposta segue uma distribuição gaussiana inversa.

### **3.3 Gráficos de controle para perfis geométricos**

Perfis geométricos podem representar a qualidade de um produto fabricado em muitas aplicações práticas. Colosimo, Semeraro e Pacella (2008) propuseram um método baseado na combinação de um modelo de regressão autorregressiva espacial (SARX) com gráficos de controle e aplicado a dados reais de circularidade. Esse estudo foi estendido por Pacella e Semeraro (2011), aplicando a teoria da ressonância adaptativa para aprender automaticamente com os dados, e por Colosimo et al. (2014) que propuseram uma abordagem baseada em processos gaussianos para monitoramento de superfícies cilíndricas. Perfis circulares também foram estudados por Zhang, He e Zhang (2011) e por Zhao et al. (2020) que consideraram as correlações espaciais presentes nos perfis circulares. A correlação espacial também foi considerada nos estudos de Wang, Wang e Tsung (2014) que propuseram um novo gráfico baseado no modelo Gaussian-Kriging.

Em alguns casos os perfis geométricos podem ter mais de um tipo ou modo de forma. Em relação a isso, Wang, Li e Tsung (2018) construíram um gráfico de controle baseado no teste de razão de verossimilhança para detectar mudanças tanto nas proporções quanto nas características de forma de perfis de forma quase circulares. Pacella, Grieco e Blaco (2017) propuseram gráficos de controle para monitoramento estatístico de perfis de forma livre. Além disso, Celano e Castagliola (2020) investigaram o monitoramento on-line de valores extremos de perfis geométricos visando monitorar sua estabilidade.

### **3.4 Gráficos de controle para perfis não paramétricos**

O monitoramento de perfis não paramétricos é útil quando a relação é muito complicada para ser especificada parametricamente. Zou, Tsung e Wang (2008) propuseram um esquema de controle que integra o procedimento MEWMA com o teste GLR baseado na regressão não paramétrica. Zou, Qiu e Hawkins (2009) desenvolveram um gráfico de controle que integra a estimativa do ponto de mudança com o teste de GLR adaptativo. Qiu e Zou (2010) e Qiu, Zou e Wang (2010) estudaram um gráfico EWMA integrado em um procedimento de suavização não paramétrica para suavizar perfis individuais. Hung et al. (2012) desenvolveram um framework para espaços de dados multidimensionais usando a técnica de suavização Support Vector Regression.

Outros estudos sobre perfis não paramétricos também foram propostos por Zhang et al. (2012) baseando-se no erro de perfil para monitorar a forma de uma peça com posições não fixas. Chuang et al. (2013) aplicaram a função B-spline para ajustar o modelo representativo dos dados. Chen, Birch e Woodwall (2015) propuseram um gráfico de controle baseado no método de clusters. Zou e Wang (2017) utilizaram limites de controle probabilísticos baseando-se em técnicas de suavização de dados para um perfil individual. Shang, Wang e Zhang (2018) propuseram uma estrutura unificada de esquemas de controle com base em regressões não paramétricas e Flores et al. (2020) propuseram um novo gráfico de controle com base no conceito de profundidade de dados para as fases I e II do controle de processos.

### **3.5 Gráficos de controle para outros tipos de perfis**

Perfis diferentes dos já mencionados foram incluídos nesta subseção. Abdel-Salam, Birch e Jensen (2013) propuseram um procedimento semi paramétrico, que combina as abordagens paramétricas e não paramétricas, para situações em que um modelo paramétrico é adequado sobre parte dos dados, mas inadequado em outras partes. Perfis semi paramétricos também foram estudados por Gomaa e Birch (2019). Chang et al. (2014) propuseram um framework para detectar possíveis alterações de um perfil de onda (wave) em tempo real. Moghadam, Ardali, Amirzadeh (2016) propuseram um novo gráfico de controle nomeado como fuzzy-EWMA para o monitoramento de perfis fuzzy. Park e Tsui (2019) desenvolveram um novo gráfico de controle EWMA para um processo com múltiplos estágios. Além disso, Siddiqui e Abdel-Salam (2019) desenvolveram abordagens não paramétricas e semi paramétricas para modelar os dados de perfil em um ajuste de efeito misto linear considerando os resíduos de um modelo paramétrico.

## **4. Considerações finais**

A partir dessa revisão evidencia-se que o monitoramento de perfis não lineares é um tema recente na literatura. Em diversas aplicações, principalmente nas indústrias manufatureiras, os perfis possuem formas mais complexas, sendo de grande relevância, tanto para a literatura quanto para aplicações práticas a investigação de perfis mais complexos do que o linear. Além disso, embora muitos processos de fabricação sejam caracterizados por perfis que possuem dados não normais e auto correlacionados, a maioria dos estudos não considera a correlação de dados e as condições de não normalidade. Outra preocupação é que não é possível obter dados de perfil sem o uso de um sistema de medição. No

entanto, os artigos encontrados consideram que os dados monitorados são precisos, o que nem sempre é verdade. Dessa forma, são necessários estudos adicionais sobre os gráficos de controle que levem em conta as particularidades de sua aplicação real e investiguem o impacto dos erros e incertezas de medição envolvidos na obtenção desses perfis, uma vez que esses fatores podem afetar diretamente a variabilidade dos dados.

## Referências

ABDEL-SALAM, Abdel Salam G.; BIRCH, Jeffrey B.; JENSEN, Willis A. A semiparametric mixed model approach to phase i profile monitoring. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 555–569, 2013.

ADIBI, A.; BORROR, C. M.; MONTGOMERY, D. C. Phase II monitoring of polynomial and nonlinear profiles using a p-value approach. **International Journal of Quality Engineering and Technology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 101–113, 2015.

AMIRI, A. et al. Phase I monitoring of generalized linear model-based regression profiles. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, [s. l.], v. 85, n. 14, p. 2839–2859, 2015.

AMIRI, Amirhossein; SOGANDI, Fatemeh; AYOUBI, Mona. Simultaneous monitoring of correlated multivariate linear and GLM regression profiles in Phase II. **Quality Technology & Quantitative Management**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 435–458, 2018.

ARTURO PANZA, Carlos; ALBERTO VARGAS, Jose. Monitoring the Shape Parameter of a Weibull Regression Model in Phase II Processes. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 195–207, 2016.

AWAD, M. I.; ALHAMAYDEH, M.; FARIS, A. Fault detection via nonlinear profile monitoring using artificial neural networks. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 1195–1210, 2018.

CAPIZZI, G.; MASAROTTO, G. A least angle regression control chart for multidimensional data. **Technometrics**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 285–296, 2011.

CARBONE, Paolo; MACII, David; PETRI, Dario. Measurement uncertainty and metrological confirmation in quality-oriented organizations. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 263–271, 2003. Disponível em: <<http://www.dit.unitn.it>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

CELANO, G.; CASTAGLIOLA, P. On-line monitoring of extreme values of geometric profiles in finite horizon processes. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 1313–1332, 2020.

CHANG, S. I. et al. Real-time detection of wave profile changes. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 75, n. 1, p. 187–199, 2014.

CHANG, S. I.; YADAMA, S. Statistical process control for monitoring non-linear profiles using wavelet filtering and B-Spline approximation. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 48, n. 4, p. 1049–1068, 2010.

CHEN, S.; NEMBHARD, H. B. A high-dimensional control chart for profile monitoring. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 451–464, 2011.

CHEN, S.; YU, J.; WANG, S. Monitoring of complex profiles based on deep stacked

- denoising autoencoders. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 143, 2020.
- CHEN, Yajuan; BIRCH, Jeffrey B.; WOODALL, William H. A Phase I Cluster-Based Method for Analyzing Nonparametric Profiles. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 1675–1689, 2015.
- CHOU, S. H.; CHANG, S. I.; TSAI, T. R. On monitoring of multiple non-linear profiles. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 52, n. 11, p. 3209–3224, 2014.
- CHUANG, S. C. et al. A framework for nonparametric profile monitoring. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 64, n. 1, p. 482–491, 2013.
- COLOSIMO, B. M. et al. From profile to surface monitoring: SPC for cylindrical surfaces via Gaussian processes. **Journal of Quality Technology**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 95–113, 2014.
- COLOSIMO, Bianca M.; SEMERARO, Quirico; PACELLA, Massimo. Statistical process control for geometric specifications: On the monitoring of roundness profiles. **Journal of Quality Technology**, [s. l.], 2008.
- DERAKHSHANI, R.; ESMAEELI, H.; AMIRI, A. Phase II Monitoring of Poisson Regression Profiles in Multi-Stage Processes. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, [s. l.], 2020.
- DING, D.; TSUNG, F.; LI, J. Ordinal profile monitoring with random explanatory variables. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 55, n. 3, p. 736–749, 2017.
- FAN, S. K. S. et al. Statistical monitoring of nonlinear profiles by using piecewise linear approximation. **Journal of Process Control**, [s. l.], v. 21, n. 8, p. 1217–1229, 2011.
- FAN, S. K. S.; CHANG, Y. J.; AIDARA, N. Nonlinear profile monitoring of reflow process data based on the sum of sine functions. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 743–758, 2013.
- FAN, S. K. S.; JEN, C. H.; LEE, T. Y. Modeling and monitoring the nonlinear profile of heat treatment process data by using an approach based on a hyperbolic tangent function. **Quality Engineering**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 226–243, 2017.
- FLORES, M. et al. Constructing a control chart using functional data. **Mathematics**, [s. l.], v. 8, n. 1, 2020.
- GOMAA, A. S.; BIRCH, J. B. A semiparametric nonlinear mixed model approach to phase I profile monitoring. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, [s. l.], v. 48, n. 6, p. 1677–1693, 2019.
- GONG, M.; MUKHERJEE, A. Design and comparison of some Shewhart-type schemes for simultaneous monitoring of Weibull parameters. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 889–901, 2019.
- HADIDOUST, Z.; SAMIMI, Y.; SHAHRIARI, H. Monitoring and change-point estimation for spline-modeled non-linear profiles in phase II. **Journal of Applied Statistics**, [s. l.], v. 42, n. 12, p. 2520–2530, 2015.
- HAKIMI, Ahmad; AMIRI, Amirhossein; KAMRANRAD, Reza. Robust approaches for monitoring logistic regression profiles under outliers. **International Journal of Quality &**

**Reliability Management**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 494–507, 2017.

HUNG, Y. C. et al. Nonparametric profile monitoring in multi-dimensional data spaces. **Journal of Process Control**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 397–403, 2012.

HUWANG, L. et al. Phase II profile monitoring based on proportional odds models. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 98, p. 543–553, 2016.

IPEK, H.; ANKARA, H.; OZDAG, H. The application of statistical process control. **Minerals Engineering**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 827–835, 1999.

JENSEN, W. A.; GRIMSHAW, S. D.; ESPEN, B. Nonlinear profile monitoring for oven-temperature data. **Journal of Quality Technology**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 84–97, 2016.

JEONG, M. K.; LU, J. C.; WANG, N. Wavelet-based SPC procedure for complicated functional data. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 729–744, 2006.

JESSON, J.; MATHESON, L.; LACEY, FM. Doing your literature review: Traditional and systematic techniques. [s. l.], 2011.

KHOSRAVI, P.; AMIRI, A. Self-Starting control charts for monitoring logistic regression profiles. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, [s. l.], v. 48, n. 6, p. 1860–1871, 2019.

KINAT, S.; AMIN, M.; MAHMOOD, T. GLM-based control charts for the inverse Gaussian distributed response variable. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 765–783, 2020.

KOOSHA, M.; AMIRI, A. Generalized linear mixed model for monitoring autocorrelated logistic regression profiles. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 64, n. 1–4, p. 487–495, 2013.

LI, C. I. Control charts based on quasi-likelihood estimation for monitoring profiles. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, [s. l.], v. 88, n. 3, p. 457–470, 2018.

LI, Chung-I.; PAN, Jeh-Nan; LIAO, Chun-Han. Monitoring nonlinear profile data using support vector regression method. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 127–135, 2019.

MALEKI, M. R.; AMIRI, A.; TAHERIYOUN, A. R. Phase II monitoring of binary profiles in the presence of within-profile autocorrelation based on Markov Model. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, [s. l.], v. 46, n. 10, p. 7710–7732, 2017.

MALEKI, MR; AMIRI, A.; CASTAGLIOLA, P. An overview on recent profile monitoring papers (2008–2018) based on conceptual classification scheme. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 126, p. 705–728, 2018.

MOGHADAM, G.; ARDALI, G. A. R.; AMIRZADEH, V. New fuzzy EWMA control charts for monitoring phase II fuzzy profiles. **Decision Science Letters**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 119–128, 2016.

NIKOO, M.; NOOROSSANA, R. Phase II monitoring of nonlinear profile variance using wavelet. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 29, n. 7, p. 1081–

1089, 2013.

NOOROSSANA, R.; AMINNAYERI, M.; IZADBAKHS, H. Statistical monitoring of polytomous logistic profiles in phase II. **Scientia Iranica**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 958–966, 2013.

NOOROSSANA, R.; NIAKI, S. T. A.; IZADBAKHS, H. Statistical Monitoring of Nominal Logistic Profiles in Phase II. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, [s. l.], v. 44, n. 13, p. 2689–2704, 2015.

NOOROSSANA, Rassoul; SAGHAEI, Abbas; AMIRI, Amirhossein. **Statistical Analysis of Profile Monitoring**. [s.l.] : John Wiley & Sons, 2011.

PACELLA, M.; GRIECO, A.; BLACO, M. Machine vision based quality control of free-form profiles in automatic cutting processes. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 109, p. 221–232, 2017.

PACELLA, M.; SEMERARO, Q. Monitoring roundness profiles based on an unsupervised neural network algorithm. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 677–689, 2011.

PAN, J. N.; LI, C. I.; LU, M. Z. Detecting the process changes for multivariate nonlinear profile data. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 35, n. 6, p. 1890–1910, 2019.

PARK, C.; TSUI, K. L. A profile monitoring of the multi-stage process. **Quality Technology and Quantitative Management**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 407–423, 2019.

QI, D. et al. Phase II monitoring of generalized linear profiles using weighted likelihood ratio charts. **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 94, p. 178–187, 2016.

QIU, P.; ZOU, C. Control chart for monitoring nonparametric profiles with arbitrary design. **Statistica Sinica**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 1655–1682, 2010.

QIU, P.; ZOU, C.; WANG, Z. Nonparametric profile monitoring by mixed effects modeling. **Technometrics**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 265–277, 2010.

SHANG, Y.; TSUNG, F.; ZOU, C. Profile monitoring with binary data and random predictors. **Journal of Quality Technology**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 196–208, 2011.

SHANG, Y.; WANG, Z.; ZHANG, Y. Nonparametric control schemes for profiles with attribute data. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 125, p. 87–97, 2018.

SHEU, S. H.; OUYOUNG, C. W.; HSU, T. S. Phase II statistical process control for functional data. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, [s. l.], v. 83, n. 11, p. 2144–2159, 2013.

SHIAU, J. J. H. et al. Monitoring nonlinear profiles with random effects by nonparametric regression. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, [s. l.], v. 38, n. 10, p. 1664–1679, 2009.

SIDDIQUI, Zainab; ABDEL-SALAM, Abdel Salam G. A semiparametric profile monitoring via residuals. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], 2019.

SOLEYMANIAN, M. E.; KHEDMATI, M.; MAHLOOJI, H. Phase II monitoring of binary

response profiles. **Scientia Iranica**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 2238–2246, 2013.

WANG, A.; WANG, K.; TSUNG, F. Statistical surface monitoring by spatial-structure modeling. **Journal of Quality Technology**, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 359–376, 2014.

WANG, H. et al. Monitoring nonlinear profiles adaptively with a wavelet-based distribution-free CUSUM chart. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 53, n. 15, p. 4648–4667, 2015.

WANG, K.; LI, J.; TSUNG, F. Registration-free monitoring of multimode near-circular shape profiles. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 529–542, 2018.

WILLIAMS, J. D.; WOODALL, W. H.; BIRCH, J. B. Statistical monitoring of nonlinear product and process quality profiles. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 23, n. 8, p. 925–941, 2007.

YANG, W.; ZOU, C.; WANG, Z. Nonparametric Profile Monitoring using Dynamic Probability Control Limits. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 1131–1142, 2017.

YEH, Arthur B.; HUWANG, Longcheen; LI, Yu-Mei. Profile monitoring for a binary response. **IIE TRANSACTIONS**, [s. l.], v. 41, n. 11, p. 931–941, 2009.

ZANG, Yangyang; WANG, Kaibo; JIN, Ran. Unaligned Profile Monitoring Using Penalized Methods. **Quality and Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 32, n. 8, SI, p. 2761–2776, 2016.

ZHANG, Y. et al. Nonparametric control scheme for monitoring phase II nonlinear profiles with varied argument values. **Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 587–597, 2012.

ZHANG, Y.; HE, Z.; ZHANG, M. A control chart for monitoring linear circular-circular profile. In: BMEI 2011 - PROCEEDINGS 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUSINESS MANAGEMENT AND ELECTRONIC INFORMATION 2011, **Anais...** [s.l: s.n.]

ZHAO, C. et al. Circular and cylindrical profile monitoring considering spatial correlations. **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 54, p. 35–49, 2020.

ZOU, C.; QIU, P.; HAWKINS, D. Nonparametric control chart for monitoring profiles using change point formulation and adaptive smoothing. **Statistica Sinica**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 1337–1357, 2009.

ZOU, C.; TSUNG, F.; WANG, Z. Monitoring profiles based on nonparametric regression methods. **Technometrics**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 512–526, 2008.