

## Análise do Uso do Pensamento Estatístico e de Técnicas Estatísticas em Empresas Industriais do Estado de São Paulo

### *Analysis of the Use of Statistical Thinking and Statistical Techniques in Industrial Companies of São Paulo State*

Heitor Alves dos Santos<sup>1</sup> - Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção  
José Carlos de Toledo<sup>2</sup> - Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção  
Adriana Barbosa Santos<sup>3</sup> - Universidade Estadual Paulista - Departamento de Ciências de Computação e Estatística  
Fabiane Letícia Lizarelli<sup>4</sup> - Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção

#### RESUMO

Programas de melhoria como o *Lean Manufacturing*, *Total Quality Management*, Seis Sigma (SS), *Lean Seis Sigma* (LSS) e *Total Productive Maintenance*, focam a melhoria de processos e, em diferentes níveis, são fundamentados no Pensamento Estatístico (PE) e em Técnicas Estatísticas (TE). Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa *survey* com 243 empresas industriais do Estado de São Paulo, com objetivo de analisar o uso do PE e de TE em empresas que adotam esses programas e os efeitos percebidos no desempenho operacional com esse uso. Foi Identificado um grupo de empresas consideradas mais avançadas, composto por 17% da amostra, nas quais o uso do PE e TE, no controle e melhoria de processos, é mais presente e com melhores resultados operacionais e benefícios percebidos. O uso de Programas SS e LSS, há mais de 5 anos, contribuiu para que essas empresas incorporassem mais intensamente os princípios do PE e as TE. Mas, na amostra total, apesar da ampla difusão de programas de melhoria que fazem uso de princípios e técnicas estatísticas, ainda são poucas as empresas em que esse uso estaria consolidado.

*Palavras chave:* Pensamento estatístico. Técnicas estatísticas. Programas de melhoria. Benefícios.

**Editor Responsável:** Prof.  
Dr. Hermes Moretti Ribeiro da  
Silva

#### ABSTRACT

*Improvement programs such as Lean Manufacturing, Total Quality Management, Six Sigma (SS), Lean Six Sigma (LSS) and Total Productive Maintenance focus on improving processes and at different levels are based on Statistical Thinking (ST) and Statistical Techniques (STech). This article presents the results of a survey, with 243 industrial companies from the State of Sao Paulo, with the objective of analyzing the presence of ST and STech in companies that adopt these programs, and the results obtained with their use. A group of advanced companies was identified, which represented 17% of the sample, and are the most grounded in the use of ST and STech and which were able to obtain expected operational results and subjective benefits with their use. Involvement with SS and LSS for more than 5 years has helped these companies to incorporate ST principles and to use STech. However, in the observed sample, despite the presence of improvement programs that make use of statistical principles and techniques, there are still few companies in which this use is consolidated.*

*Keywords:* Statistical thinking. Statistical techniques. Improvement programs. Benefits.

1.hsantos\_engprod@hotmail.com; 2. Rodovia Washington Luiz, s/n, São Carlos, SP, cep: 13565-905, toledo@ufscar.br; 3. adriana@ibilce.unesp.br; 4. fabiane@dep.ufscar.br

SANTOS, H. A.; TOLEDO, J. C.; SANTOS, A. B.; LIZARELLI, F. L. Análise do uso do pensamento estatístico e de técnicas estatísticas em empresas industriais do Estado de São Paulo. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 210 – 237, 2019.

DOI: 10.15675/gepros.v14i2.2237

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade, a necessidade de maior eficiência na gestão dos recursos e o controle da variabilidade dos processos tem sido um desafio para os gestores. Isso tem impulsionado a busca por formas de controlar a variabilidade e reduzir as fontes de aumento de custo, potencializando o uso de princípios e técnicas estatísticas que são inerentes, com maior ou menor ênfase, a diversos programas de melhoria.

Programas de Melhoria como Seis Sigma (SS), Produção Enxuta (*Lean Manufacturing* - LM), *Lean* Seis Sigma (LSS), Gestão da Qualidade Total (TQM–*Total Quality Management*) e Manutenção Produtiva Total (TPM–*Total Productive Maintenance*) têm como importante fundamento a tomada de decisões baseada em fatos e dados para controle e melhoria de processos, o que está associado à abordagem estatística (LIKER, 2005; SANTOS, 2006; ANDERSSON *et al.*, 2006; DENNIS, 2008; ANTONELLI; SANTOS, 2011; TOLEDO *et al.*, 2014; PODVAL; PRAMOD; RAJ, 2015)

O conhecimento das Técnicas Estatísticas (TE), fundamentadas no Pensamento Estatístico (PE), possibilita um incremento importante na compreensão e implantação desses programas de melhoria. O PE é um processo reflexivo que tem como princípios: (i) reconhecer que a variação está presente em tudo o que é feito; (ii) entender que todo sistema de produção é uma série de processos interconectados; e (iii) que identificar, caracterizar, quantificar, controlar e reduzir a variação propicia oportunidades de melhoria (SNEE, 1990). Segundo Makrymichalos *et al.* (2005), é necessário compreender os fundamentos (análise de causa e efeito, análise de variabilidade, análise de valor, etc) que servem de base para os Programas de Melhoria e, conseqüentemente, direcionar o uso das ferramentas e técnicas que os compõem para que sejam usadas adequadamente para alcançar melhores resultados.

Na literatura internacional sobre melhoria contínua e gestão da produção são destacados os benefícios potenciais com o uso dos princípios e técnicas estatísticos. A melhoria de processos baseada na abordagem estatística está relacionada à redução e eliminação de variabilidade, mantendo o processo em estado de controle estatístico (PFANNKUCH; WILD, 2004). O estudo da variabilidade dos processos, sua quantificação e redução são críticos para a melhoria da qualidade (SNEE, 1990; PFANNKUCH; WILD, 2004; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; HOERL; SNEE, 2012).

Os princípios e conceitos do pensamento estatístico suportam a estratégia e os métodos para resolução de problemas, usando as técnicas estatísticas, contribuindo para a melhoria do desempenho operacional dos processos (SNEE, 2004; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; GOH, 2015). Para Deming (1986) o uso de técnicas estatísticas deve focar na redução da variabilidade, uma vez que com essa redução são gerados benefícios como redução de não-conformidades, de desperdícios e de custos da não qualidade. Grigg e Walls (2007) destacam benefícios que incluem a redução de não conformidades, perdas, custos da não qualidade, reclamações de clientes e melhorias na eficiência dos processos. A redução da variabilidade promove resultados como redução de custos de produtos defeituosos, além de aumento na receita e na satisfação dos clientes (SNEE, 1998; GOH, 2011; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; HOERL; SNEE, 2012).

A disseminação e uso efetivo do pensamento e das técnicas estatísticas também fornecem benefícios que indiretamente promovem melhorias de desempenho, tais como melhor entendimento, pelos operadores, supervisores e gestores, das relações de causa e efeito, da visão de processos, da capacidade de percepção de problemas e da variabilidade dos processos, bem como aumenta o envolvimento em programas e projetos de melhoria (MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005).

Assim, é destacado que o uso combinado do pensamento e de técnicas estatísticas, como parte do arcabouço metodológico de Programas de Melhoria como Seis Sigma, TQM, *Lean*, *Lean* Sigma e TPM tem contribuído para melhorias de produtos e processos, aumentando a competitividade. Apesar do crescimento do uso do PE e de TE nas duas décadas do século 21, devido a difusão de programas de melhoria, especialmente do Seis Sigma, ainda existem dificuldades na sua aplicação, manutenção e continuidade para uso rotineiro e nos processos de tomada de decisões (PFANNKUCH; WILD, 2004; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005).

Mas, será que os princípios e técnicas estatísticas estão sendo mais utilizados a partir da maior difusão dos Programas de Melhoria? Há percepção de obtenção de melhores resultados com o uso da abordagem estatística? O problema de pesquisa abordado neste artigo consiste em conhecer, na prática de empresas industriais, se a adoção de Programas de Melhoria tem incrementado o uso da abordagem estatística (princípios e técnicas estatísticas), e se há percepção de resultados obtidos com esse uso, conforme preconizado nos manuais e artigos que difundem tais programas.

No Brasil, há publicações sobre a implantação e resultados de programas de melhoria (principalmente *Lean* e Seis Sigma), mas não há, do conhecimento dos autores deste artigo, publicações que discutam, com dados empíricos, o uso do PE e de TE previstos nos Programas de Melhoria, e os benefícios obtidos. Este artigo tem por objetivo analisar, na prática, o uso da abordagem estatística (princípios e técnicas estatísticas), por meio do nível de uso do PE e de TE, e se há percepção de resultados obtidos com esse uso, em uma amostra de empresas industriais de médio e grande porte, do Estado de São Paulo, que adotam programas de melhoria (TQM, Seis Sigma, *Lean*, *Lean Sigma* e TPM). Esses são os principais programas de melhoria difundidos no Brasil e que preveem uso de princípios e técnicas estatísticas. A delimitação a empresas de médio e grande porte, e do Estado de São Paulo, se dá por ser considerado um ambiente mais propício para encontrar tais programas e implantados há mais tempo. Os resultados obtidos permitirão orientar pesquisas futuras e direcionar ações práticas que contribuam para a sustentabilidade desse uso e dos Programas de Melhoria. Além disso, o conhecimento sobre os potenciais benefícios contribui para se reconhecer a importância da aplicação desses princípios e técnicas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Programas de Melhoria

Os programas de melhoria apoiam atingir os objetivos de desempenho operacional através de melhorias de produtos e processos (BHUIYAN; BAGHEL, 2005; ANDERSSON, ERIKSSON; TORSTENSSON, 2006; BHUIYAN; BAGHEL; WILSON, 2006; SALAH; RAHIM; CARRETERO, 2010; SUNDER, 2015). Alguns dos programas mais difundidos para a busca de excelência operacional são o TQM (*Total Quality Management*), *Lean* e *Six Sigma* (ARNHEITER; MALEYEFF, 2005; BHUIYAN; BAGHEL, 2005; ANDERSSON *et al.*, 2006; SALAH *et al.*, 2010; KORNFIELD; KARA, 2011; DAHLGAAR-PARK *et al.*, 2013; DROHOMERETSKI *et al.*, 2014; SUNDER, 2015). Os programas de melhoria usam princípios, métodos e técnicas estatísticas para atingir seus objetivos (LIZARELLI; TOLEDO, 2015).

O TQM é uma abordagem de gestão e melhoria focada no gerenciamento de todas as atividades através das quais as necessidades e expectativas dos clientes e demais stakeholders são satisfeitas de modo eficiente, usando o potencial de todos os funcionários na busca da

melhoria contínua (ANTONNY, 2009; JAYARAM; AHIRE; DREYFUS, 2010) e aplicando diversas ferramentas para análise de problemas e melhorias, incluindo as técnicas estatísticas (HELLSTEN; KLEFSJO, 2000).

O *Lean* foca na satisfação do cliente, redução de perdas e eficiência, objetivando produzir produtos e serviços de alta qualidade, ao menor custo e na rapidez possível (SALAH *et al.*, 2010; ANTONY, 2011). Os métodos e ferramentas *Lean* tem auxiliado as organizações de manufatura a melhorarem suas operações e processos (BELEKOUKIAS; GARZ-REYES; KUMAR, 2014). *Lean* é focado na melhoria de processos e da qualidade e métodos estatísticos fazem parte do *Lean* (ANTONY, 2011). *Lean* é estreitamente relacionado ao Kaizen, o qual foca na eliminação de perdas e redução de custos, usando abordagens de solução de problemas que não requerem métodos e treinamentos sofisticados além de baixo investimento (BRUNET; NEW, 2003; MARKSBERRY *et al.*, 2010; SINGH; SINGH, 2012; ANHOLON; SANO, 2016; DARLINGTON *et al.*, 2016).

O TPM é um programa de melhoria que objetiva otimizar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos por meio da identificação e eliminação de perdas de eficiência, por paradas do processo, através da identificação dessas perdas, suas causas e ações de melhoria usando diversas ferramentas, estatísticas e não estatísticas, para analisar e resolver problemas de equipamentos e processos (AHUJA; KHAMBA, 2008; ATTRI *et al.*, 2013; JAIN, BHATTI; SINGH, 2014). As atividades de melhoria rotineira da disponibilidade e confiabilidade do processo fazem uso de técnicas estatísticas básicas, mas num nível maior de maturidade do TPM é possível o uso de técnicas mais complexas, como por exemplo, o projeto de experimentos e modelagem para previsão da confiabilidade.

O Seis Sigma é uma abordagem de melhoria de negócios e processos que foca na melhoria da produtividade e redução de defeitos pela redução da variabilidade (SNEE, 2004; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005). O foco é gerar ganhos financeiros integrando fatores humanos e dos processos nas atividades de melhoria (MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; ANTONY, 2009). O Seis Sigma busca a melhoria de processos, a eliminação de defeitos e a satisfação dos clientes com base em princípios e métodos estatísticos (MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; KUMAR *et al.*, 2008; ANTONY, 2009; GOH, 2010). O pensamento estatístico fornece aos praticantes os meios para visão holística dos processos e é um importante fundamento do Seis Sigma (KUMAR *et al.*, 2008; GOH, 2010). O Seis Sigma foca no uso

extensivo de técnicas estatísticas e não estatísticas, que são ligadas e sequenciadas num método disciplinado, o DMAIC (MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005).

Algumas pesquisas e tendências emergentes consideram a integração do *Lean* com o Seis Sigma (ANTONY, 2011). *Lean* Seis Sigma enfatiza o uso de princípios e ferramentas do *Lean*, focando na redução do ciclo de produção, através de melhoria e eliminação de perdas e retrabalhos, e o método de análise de problemas (DMAIC) do Seis Sigma, com o apoio principalmente de ferramentas estatísticas (HOERL; SNEE, 2010; ANDERSON-COOK *et al.*, 2012; LU; LAUX; ANTONY, 2017; ULUSKAN, 2017).

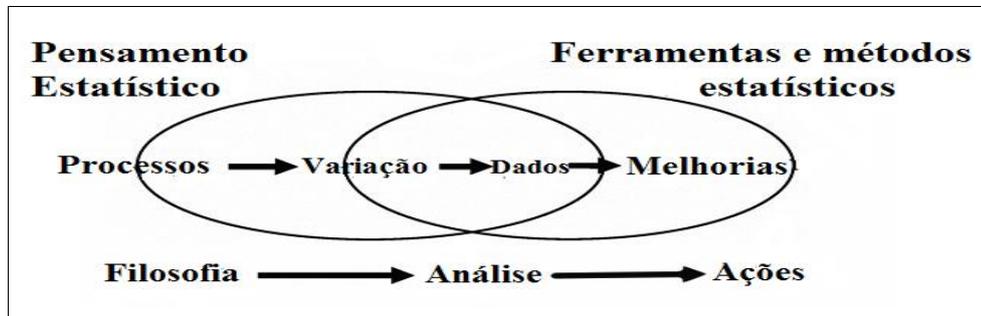
Para o sucesso dos programas de melhoria o uso dos princípios do pensamento estatístico é fundamental (SNEE, 1990; GOH, 2011; JENSEN *et al.*, 2012; COLEMAN, 2013) e é uma das tendências dos líderes de gestão de negócios e profissionais da área de qualidade (GOH, 2015).

## 2.2. Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas

O termo Pensamento Estatístico (PE) começou a ser utilizado após discurso de posse do presidente da Associação Americana de Estatística, Samuel Wilks, em 1951. Ele afirmou, ao citar o escritor H.G. Wells, que o pensamento estatístico será tão necessário para os cidadãos como a habilidade de ler e escrever (COLEMAN, 2013).

Segundo Makrymichalos *et al.* (2005), o PE é uma filosofia de aprendizado e ação baseada em três princípios fundamentais: todo trabalho ocorre segundo processos interconectados; variações existem em todos os processos; a chave do sucesso é entender e reduzir a variação. O PE apresenta princípios e atitudes que orientam a observação dos processos, visando a melhoria, à luz dos conceitos de variação e probabilidade, tendo como suporte operacional o uso de ferramentas para análise estatística do comportamento do processo (COLEMAN, 2013). Para Evans e Lindsay (2005) a aplicação de métodos e técnicas estatísticas fornece o arcabouço operacional para redução das fontes de variação. Essas ferramentas podem ser utilizadas nas fases de planejamento, controle e melhoria da qualidade. A lógica de uso do PE e das ferramentas e métodos estatísticos é representada na Figura 1.

Figura 1 - Ação do Pensamento Estatístico e das ferramentas e métodos estatísticos



Fonte: Adaptado de Krishnamoorthi (2010).

Conforme a Figura 1, o PE oferece os fundamentos para a análise da variação inserida nos processos e as ferramentas e métodos estatísticos fornecem os meios para alcançar as melhorias necessárias.

De acordo com Evans e Lindsay (2005) para atuar na redução das fontes de variação são aplicadas técnicas estatísticas, que podem ser agrupadas em: Descritivas: métodos e técnicas para a coleta eficiente de conjuntos de dados e sua adequada organização e descrição; Inferência: processo de desenhar conclusões sobre características desconhecidas de uma população a partir da identificação e caracterização de determinados tipos de dados; e Preditivas: métodos e técnicas para desenhar ou prever cenários futuros com base em séries históricas de dados.

As técnicas estatísticas podem ser categorizadas de acordo com sua complexidade em: básicas, intermediárias e avançadas. Técnicas Estatísticas Básicas (TEB): Folha de Verificação ou Tabelas de Contagem, Histograma, Diagrama de Dispersão, Estratificação, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama ou Análise de Pareto, Gráfico Sequencial e Gráficos de Controle. Técnicas Estatísticas Intermediárias (TEI): Técnicas de Amostragem, Inferência Estatística, Métodos Não Paramétricos e Controle Estatístico da Qualidade. Técnicas Estatísticas Avançadas (TEA): Método Taguchi, Projeto de Experimentos, Superfície de Respostas e Análise Multivariada. (EVANS; LINDSAY, 2005)

Para uma visão geral dos principais fundamentos estatísticos que constituem os programas de melhoria, a seguir são apresentadas as principais relações entre esses programas e os princípios do pensamento e técnicas estatísticas.

### **2.3. Relações entre programas de melhoria e o pensamento e técnicas estatísticas**

#### **2.3.1. A relação entre o Seis Sigma e o PE e TE**

O PE tem um papel fundamental no Seis Sigma, uma vez que sua aplicação é um dos fatores preponderantes para o êxito do Programa. A análise de dados e a abordagem holística para a solução de problemas e tomada de decisão são princípios que fazem parte do PE e estão presentes no SS (SANTOS, 2006; ANTONELLI; SANTOS, 2011).

O PE e as TE estão completamente inseridas no Seis Sigma. Além do uso intenso de princípios do pensamento estatístico, no SS também está presente o uso de variadas técnicas estatísticas sejam básicas, intermediárias ou avançadas, conforme observações de diversos autores (MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; SANTOS, 2006; SANTOS; MARTINS, 2008; ANTONY, 2009; GOH, 2011; ANTONELLI; SANTOS, 2011; TOHIDI, 2012; PATYAL; MADDULETY, 2015).

#### **2.3.2. A relação entre *Lean Manufacturing* e o PE e TE**

O reconhecimento da variação como intrínseca aos processos não é um conceito presente no *Lean Manufacturing* (LM), pois, segundo Liker (2005) o LM tem como crença que o processo certo produzirá os resultados certos, passando a impressão de que é possível chegar a um processo ideal, sem perdas e controlável.

Ao implantar as bases da filosofia da produção enxuta em toda empresa, o princípio do PE de manter os processos interconectados está presente no LM, contudo, o reconhecimento de que a variação é inerente aos processos é pouco presente neste programa, o que pode ser observado nos trabalhos de Cua *et al.* (2001), Liker (2005); Glaser-Segura, Peinado e Graeml (2011); Scherer e Ribeiro (2013), Sundareshan *et al.* (2015). Em relação as TE, o LM se concentra na aplicação de técnicas básicas (principalmente histogramas, diagrama de Pareto e diagrama de causa e efeito), durante as atividades rotineiras de melhoria e nos eventos Kaizen.

#### **2.3.3. A relação entre o *Lean Seis Sigma* e o PE e TE**

O *Lean Seis Sigma* (LSS) agrega as ferramentas comuns ao LM e ao SS, oferecendo assim maior efetividade das ações de melhoria por meio da integração das abordagens dos dois programas. Assim como no SS, o LSS também possui relação direta com os princípios do PE, como a busca por redução da variação e a ênfase na utilização de técnicas estatísticas

em todos os níveis de complexidade (ARNHEITER; MALEYEFF; VENKATESWARAN, 2012).

#### **2.3.4. A relação entre a Gestão da Qualidade Total e o PE e TE**

O *Total Quality Management* (TQM) possui uma fundamentação estatística menos expressiva, sendo um programa com ênfase maior em aspectos comportamentais, direcionados a fazer certo da primeira vez e ao compromisso com a melhoria de forma rotineira e incessante (HUARNG; CHEN, 2002; SENAPATI, 2004). Conforme Hellsten e Klefsjö (2000), o enfoque estatístico do TQM provém principalmente do uso de diagramas de Ishikawa (causa e efeito), diagramas de relação, diagrama de Pareto e gráficos de controle.

Para Zu *et al.* (2010), Jayaram *et al.* (2010); Corredor e Goñi (2011), Calvo-Mora *et al.* (2014a), Calvo-Mora *et al.* (2014b), o TQM considera a importância da qualidade no gerenciamento de toda organização, com a participação de todos nos esforços de melhoria, e orientada ao atendimento dos requisitos de todas as partes interessadas. Neste sentido, o princípio do PE de que “todo trabalho ocorre segundo processos interconectados”, é mais valorizado neste programa. O entendimento de que a variação é inerente aos processos e que a redução da mesma é a chave do sucesso dos processos, é pouco presente no TQM.

#### **2.3.5. A relação entre a Manutenção Produtiva Total e o PE e TE**

Segundo Lucio, Jenkins e Noon (2000), Cua *et al.* (2001), Attri *et al.* (2013), Jain, Bhatti e Singh (2014), Podval, Pramod e Raj (2015) o princípio do PE sobre a interconecção entre processos, pode ser percebido nas ações do TPM, seja quando os funcionários buscam de forma autônoma realizar a manutenção dos equipamentos ou nas abordagens probabilísticas de manutenção preventiva e preditiva.

O TPM também busca a eliminação da variabilidade dos processos, o terceiro princípio do PE, buscando a melhoria da confiabilidade e disponibilidade por meio de ferramentas como o controle estatístico de processo, técnicas estatísticas básicas e algumas mais complexas como a engenharia da confiabilidade (JAIN; BHATTI; SINGH, 2014).

#### **2.3.6. Síntese da relação entre os programas de melhoria, o PE e as TE**

O Quadro 1 sintetiza as relações entre PE, TE e programas de melhoria. Os princípios do PE estão mais presentes no SS e no LSS, pois, para serem implementados com sucesso

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 2, p. 210 - 237, 2019.

esses programas priorizam o foco na análise da variação dos produtos e processos, que devem ser compreendidas e reduzidas. O entendimento de que a produção ocorre por meio de processos interconectados está presente em todos os programas, uma vez que em todos os considerados se procura melhorar de forma contínua e sistêmica os processos existentes em todas as áreas das empresas. Há um pressuposto de que a melhoria da competitividade depende mais de melhorias no conjunto dos processos do que de processos isolados.

Quadro 1 - Relação entre PE e TE e os programas de melhoria

		Programas de Melhoria				
		SS	TQM	LM	LSS	TPM
Princípios do PE	Todo trabalho ocorre segundo processos interconectados	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
	Variações existem em todos os processos	Presente	Pouco presente	Ausente	Presente	Pouco Presente
	A chave do sucesso é entender e reduzir a variação.	Presente	Pouco presente	Pouco presente	Presente	Presente
TE	Básicas	Grande parte das técnicas utilizadas	Grande parte das técnicas utilizadas	Algumas técnicas utilizadas	Grande parte das técnicas utilizadas	Algumas técnicas utilizadas
	Intermediárias	Grande parte das técnicas utilizadas	Poucas técnicas utilizadas	Poucas técnicas utilizadas	Grande parte das técnicas utilizadas	Poucas técnicas utilizadas
	Avançadas	Grande parte das técnicas utilizadas	Não utilizadas	Não utilizadas	Grande parte das técnicas utilizadas	Algumas técnicas utilizadas

Fonte: Os Autores.

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 2, p. 210 - 237, 2019.

O TQM e o LM possuem foco maior na melhoria dos processos, procurando-se fazer certo da primeira vez e reduzindo desperdícios do que na busca da compreensão e redução da variação. O LM não considera a variação inerente dos processos como algo natural e foca essencialmente em eliminar fontes de desperdícios para que os processos atinjam a perfeição. O TPM não reconhece explicitamente que a variação é uma característica intrínseca aos processos, contudo, busca sua redução. Como o SS e o LSS possuem maior fundamentação nos princípios do pensamento estatístico, esses programas utilizam grande parte das técnicas estatísticas em todos os seus níveis de complexidade. Isso não ocorre com LM, TQM e TPM, os quais se concentram mais no uso de técnicas estatísticas básicas e em outras ferramentas da qualidade.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista o objetivo da pesquisa, um levantamento tipo *survey* (*websurvey*) de caráter exploratório-descritivo foi planejado para subsidiar empiricamente a pesquisa. O propósito principal foi analisar a intensidade de uso do PE e de TE e os benefícios percebidos em empresas de diversos setores industriais, de médio e grande porte, localizadas no Estado de São Paulo. As conclusões não podem ser extrapoladas para a população, uma vez que não foi possível uma amostragem probabilística.

#### 3.1. População alvo e amostragem

A população de interesse são empresas do setor industrial, devido ao seu pioneirismo na aplicação de novas formas de produção, como produção seriada e produção enxuta, assim como na utilização das técnicas estatísticas para redução de erros de processos e aplicação de programas de melhoria. (SINCLAIR; SADLER, 2004; ABRAHAN, 2005; LIKER, 2005; MAKRYMICHALOS *et al.*, 2005; MONTGOMERY, 2010; HOERL; SNEE, 2012).

Foram selecionadas empresas industriais do estado de São Paulo com mais de 100 funcionários (portes médio e grande), acreditando que nessas empresas é mais provável observar o uso de programas de melhoria, assim como de PE e TE, e com maior tempo de implantação. Foram selecionadas empresas dos setores de alimentos e bebidas, autopeças, bens de capital seriados, bens de consumo e de higiene pessoal, eletroeletrônico e eletrodomésticos, farmacêutico e químico industrial. Esses setores são considerados

dinâmicos e com fortes exigências de competitividade, o que deve reforçar o uso de programas de melhoria. A lista de empresas que atendem aos critérios da amostra foi obtida junto a sindicatos e associações empresariais desses setores industriais no estado de São Paulo. Mas, não foi possível acessar todas as empresas. A população acessada representa as empresas cujos possíveis respondentes (gerentes da qualidade ou de programas de melhoria) foram identificados, por meio de sites e de ligações telefônicas, e aos quais foi enviado o instrumento de pesquisa. Era necessário que a empresa tivesse ao menos um programa de melhoria do escopo desta pesquisa. Foi identificado um total de 735 empresas, às quais foi enviado o questionário eletrônico, obtendo-se resposta de 243 unidades.

### 3.2. Instrumento de pesquisa

Um questionário *online* composto por quatro blocos de questões foi elaborado para coleta de dados. O Bloco A representa os dados gerais da empresa, e questões relacionadas ao uso de programas de melhoria. O Bloco B apresenta questões referentes à presença e utilização do PE na unidade, com questões sobre visão de processo, causas de variação, qualidade de dados entre outras. Este bloco possui 13 questões baseadas nos trabalhos de Snee (1990), Snee (1998), Britz *et al.* (2000) Makrymichalos *et al.* (2005), Santos (2006), Krishnamoorthi (2010), Korakianiti e Rekkas (2011), Coleman (2013). O Bloco C é formado por questões relacionadas à utilização de TE, compreendendo questões sobre a intensidade de uso de técnicas básicas, intermediárias e avançadas. Este bloco é composto por 22 questões. O Bloco D possui questões referentes aos resultados objetivos e subjetivos percebidos com a aplicação do PE e de TE, tais como nível de satisfação dos clientes, redução de não conformidades, aumento do nível de compreensão dos processos, entre outras, este bloco é formado por 15 questões. Os Blocos C e D possuem questões baseadas nos trabalhos de Snee (1990), Snee (1998), Dransfield, Fisher e Vogel (1999), Evans e Lindsay (2005), Abrahan (2005), Makrymichalos *et al.* (2005), Hoerl e Snee (2010), Korakianiti e Rekkas (2011), Hare (2012), Coleman (2013), Toledo *et al.* (2014).

Foi usada revisão bibliográfica para definir as variáveis (e questões) a serem analisadas, uma vez que não existe instrumento similar na literatura da área para a pergunta de pesquisa definida. As respostas às questões seguiram uma escala Likert de 5 pontos de concordância a afirmações que representavam as variáveis: 1- discordo fortemente, 2 – discordo, 3 - não concordo nem discordo, 4 - concordo e 5 concordo fortemente.

### 3.3. Coleta e tratamento dos dados

Foram pesquisados os sites das empresas, procurando identificar os gerentes que poderiam responder o questionário e foram selecionadas 8 empresas entre os diferentes segmentos industriais para responder ao teste piloto. Após o teste piloto e as adequações no questionário, os demais gerentes identificados foram contatados por telefone ou por *email*. No caso de concordância, o questionário (link, que permitia o arquivo em base de dados dos questionários respondidos) foi enviado por e-mail com as devidas explicações.

Os questionários foram enviados para pelo menos 100 empresas de cada um dos 7 segmentos industriais considerados, totalizando 735 empresas. Foram obtidos 243 questionários respondidos, com pelo menos 30 empresas (questionários) por setor, o que corresponde a uma taxa de retorno de 33,06% dos questionários enviados.

Para garantir a obtenção de uma taxa de retorno considerável, entrou-se em contato com os respondentes, por e-mail ou telefone, após o primeiro envio do questionário, a fim de verificar se havia alguma dúvida para preenchimento. O período entre o início do envio dos questionários e a coleta da amostra completa das respostas foi de 6 meses.

Com as respostas obtidas foi feita a análise de consistência do questionário, através do valor do Alfa de Cronbach que foi 0,96. De acordo com Hair *et al.* (2005) valores acima de 0,9 são considerados excelentes.

Os dados foram tratados pelo *software* SPSS(IBM), usando técnicas de estatística descritiva, análise fatorial e análise de *cluster*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

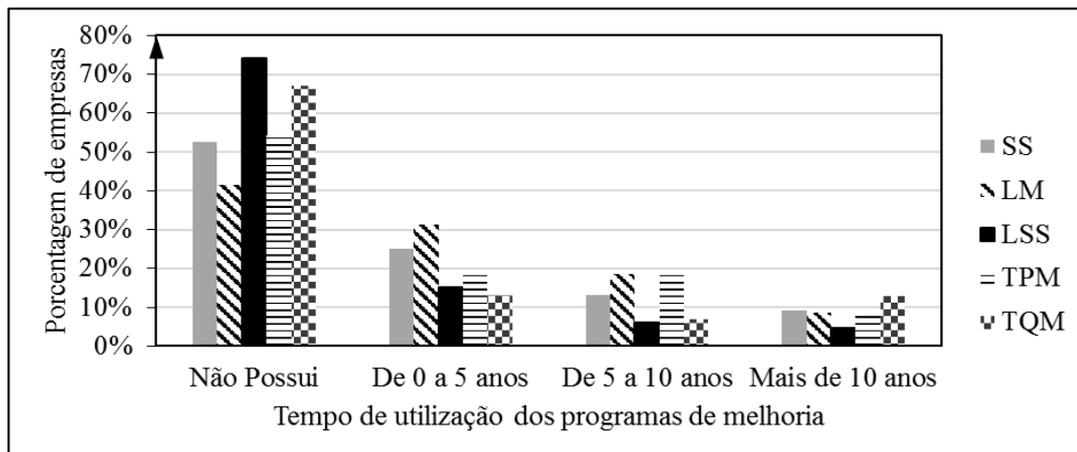
### 4.1. Características da amostra e uso de programas de melhoria

A amostra é constituída por: 33 empresas do segmento de Alimentos e bebidas; 32 de Autopeças; 34 de Bens de consumo e de higiene pessoal; 33 de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos; 39 do Farmacêutico; 42 de Máquinas e equipamentos seriados e 30 do segmento Químico industrial (produtos químicos fornecidos a outros setores industriais). A maior parte da amostra (61,3%) é composta por empresas com mais de 500 funcionários, e 38,7% possuem entre 100 e 500 funcionários.

A Figura 2 apresenta o tempo de uso dos programas de melhoria na amostra. Em ordem decrescente, os programas mais utilizados são: o LM (58,44%), SS (47,33%), TPM

(45,68%), TQM (32,92%) e LSS (25,93%). Algumas empresas aplicam mais de um programa simultaneamente.

Figura 2 - Uso dos Programas de Melhoria na amostra



Fonte: Os Autores.

#### 4.2. Resultados com a análise fatorial

A análise fatorial foi utilizada para sintetizar as 50 variáveis de pesquisa em fatores que abrangem a máxima variância dos dados. Para verificar se a análise fatorial é adequada foi realizada a Análise da estatística KMO (Kaiser – Meyer – Olkin) cujo valor foi de 0,943 e o Teste de Esfericidade de Bartlett, de onde se obteve um valor  $p < 0,001$ . Isto sugere possíveis correlações entre as variáveis, de modo que a aplicação da análise fatorial é adequada.

Para a extração dos fatores utilizou-se a análise de componentes principais, que determina o número de fatores que compreendem a parcela máxima da variância, com maior rapidez e simplicidade. (HAIR et al., 2005). As variáveis de pesquisa foram sintetizadas em 6 fatores, os quais representam 67,33% da variação original dos dados. A Tabela 1 apresenta a descrição dos fatores obtidos, assim como as porcentagens da variância para cada fator e a porcentagem acumulada.

Tabela 1 – Fatores obtidos

Fator	Descrição (denominação do fator)	Porcentagem da variância	Porcentagem da variância acumulada
1	Intensidade do uso de TEA	45,094	45,094
2	Resultados operacionais percebidos	7,098	52,192
3	Compreensão dos princípios do PE	5,032	57,224
4	Resultados percebidos com a compreensão do PE e das TE	4,108	61,332
5	Intensidade do uso das TEB	3,312	64,644
6	Orientação (suporte) ao uso das TE	2,690	67,334

Fonte: Os Autores.

O fator 1 foi nomeado como “Intensidade do uso de Técnicas Estatísticas Avançadas” porque é constituído predominantemente por variáveis que representam o uso de Técnicas Estatísticas Avançadas (TEA) e que mais diferenciaram as empresas. O fator 2 foi denominado como “Resultados operacionais percebidos”, constituído por variáveis que representam os resultados operacionais percebidos nos últimos 3 anos, como a satisfação dos clientes e redução dos custos da não qualidade. O terceiro fator é constituído por variáveis relacionadas à compreensão dos princípios do Pensamento Estatístico, por isso foi nomeado como “Compreensão dos princípios de PE”. O fator 4 foi denominado “Resultados percebidos com a compreensão dos princípios do PE e da aplicação das TE”, porque as variáveis que o compõem se referem aos resultados subjetivos percebidos com o entendimento do PE e a aplicação das TE, tais como a visão de processos e a capacidade para resolução de problemas, com o uso do princípios e técnicas estatísticas. Devido a predominância de variáveis que representam a intensidade de aplicação das Técnicas Estatísticas Básicas, o quinto fator foi nomeado “Intensidade do uso de Técnicas Estatísticas Básicas”. O fator 6 foi denominado de “Orientação para uso das técnicas estatísticas” devido a predominância de todas as variáveis que estão relacionadas com a orientação e suporte dos gestores ao uso de PE e TE.

Pela análise fatorial foi possível identificar as combinações lógicas das variáveis e compreender melhor as inter-relações entre elas representadas pelos seis fatores acima descritos. Com o intuito de identificar grupos de empresas que se distinguem de acordo com tais fatores, procedeu-se com uma análise de *cluster*.

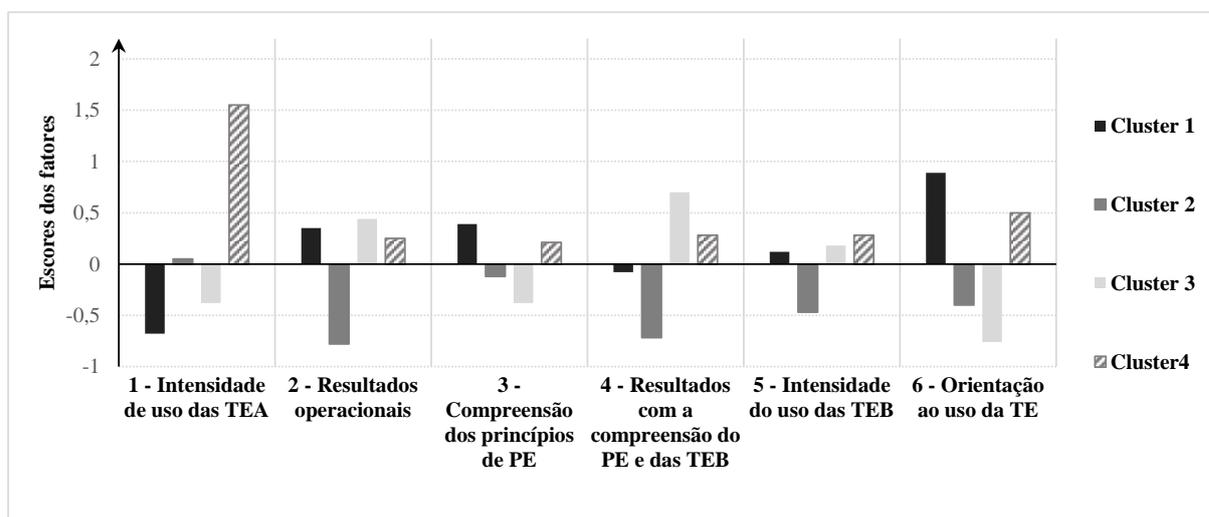
### 4.3. Análise de cluster

A aplicação da análise de *cluster* possibilitou a identificação de agrupamentos de empresas distintos entre si, porém que exibem elevada homogeneidade interna (dentro dos *clusters*). Sem propósito inferencial, essa análise realizada é caracterizada como descritiva.

Quatro *clusters* foram formados pela aplicação do método *k-means*, abrangendo a amostra de 243 empresas. O *cluster 1* é composto por “Empresas quase avançadas”, que se assemelham quanto aos resultados operacionais, que valorizam mais fortemente a compreensão dos princípios do PE e a orientação ao uso das TE. O *cluster 2* foi formado por “Empresas iniciantes” que pouco valorizam a fundamentação estatística em suas ações estratégicas e operacionais, com mais fraca percepção de resultados e de conceitos direcionados ao PE e aplicação das TEB ou TEA. O *cluster 3* foi composto por “Empresas intermediárias”, que tem em comum a utilização de TEB sem, entretanto, uma orientação baseada nos princípios de PE ou outros conceitos que possibilitem o uso das TEA. O *cluster 4* possui “Empresas avançadas”, mais fundamentadas na abordagem estatística e que orientam seus resultados respaldadas em análise de dados.

Na Figura 3 os escores dos fatores calculados pela análise fatorial auxiliam a compreender melhor as diferenças entre os *clusters*. Seu propósito é ilustrar os agrupamentos de acordo com os 6 fatores identificados anteriormente. Note que no *cluster 4* composto por empresas mais avançadas, os escores são positivos, ao passo que no *cluster 2* prevalecem escores negativos, evidenciando seu estágio de iniciante no tocante a maioria dos fatores.

Figura 3 – Escores dos fatores para cada *cluster*



Fonte: Os Autores.

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 2, p. 210 - 237, 2019.

Em relação a quantidade de empresas por *cluster*, a Tabela 2 indica o *cluster* 2 com a maior quantidade de empresas, mas com quantidades próximas dos *clusters* 1 e 3. Ou seja, a maior participação relativa é de empresas que podem ser classificadas como ainda iniciantes no uso de PE e TE e nos resultados percebidos, mesmo tendo programas de melhoria embasados na abordagem estatística. O *cluster* 4 (“Empresas Avançadas”) é o menor, com 16,9% das empresas, ou seja, na amostra é relativamente menor a quantidade de empresas que poderiam ser consideradas avançadas no uso de PE e TE e nos resultados percebidos. A maturidade no uso de PE e TE pode ser considerada baixa na amostra. Considerando que se trata de setores industriais mais dinâmicos em competitividade, com empresas de maior porte e que adotam programas de melhoria estruturados há alguns anos, era esperado uma quantidade maior de empresas com uso mais consolidado da abordagem estatística (caso do *cluster* 4). As razões para isso podem ser investigadas em pesquisas futuras.

Tabela 2 - Composição dos clusters

Cluster	Quantidade de empresas por cluster	%
1	65	26,7%
2	69	28,4%
3	68	28,0%
4	41	16,9%
<b>Total</b>	<b>243</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Os Autores.

#### 4.4. Relação entre os clusters e os resultados percebidos

Analisou-se a quantidade de empresas que perceberam a obtenção de resultados superiores (soma das respostas sobre resultados nas alternativas 4 e 5 da escala Likert) relacionados ao desempenho operacional médio dos últimos 3 anos e aos benefícios subjetivos percebidos com a aplicação das TE e princípios do PE.

A Tabela 3 sumariza as quantidades de empresas quanto aos Resultados operacionais percebidos (Rop), que se refere a variáveis relacionadas à redução de não conformidades, aumento da produtividade, diminuição de reclamações dos clientes, redução dos custos da não qualidade, entre outras, e no indicador Benefícios subjetivos (Bsub) percebidos com a aplicação das TE e princípios do PE, que envolve variáveis relacionadas a motivação dos

profissionais para uso do PE e TE, aumento da compreensão sobre os processos, compromisso com a melhoria, entre outros. O número de empresas que obtiveram tanto Rop quanto Bsub superiores também está indicado na Tabela 3.

Tabela 3 – Distribuição de frequências por *cluster* para os indicadores Resultados operacionais e Benefícios subjetivos percebidos \*

Clusters	Rop		Bsub		Rop e Bsub		Total de empresas do cluster
	n	%	n	%	n	%	
1	8	12,31%	4	6,15%	3	4,61%	65
2	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	69
3	6	8,82%	10	14,70%	4	5,88%	68
4	12	29,26%	11	26,82%	7	17,07%	41

Fonte: Os Autores. \* soma das respostas nas alternativas 4 e 5, de maior intensidade.

Mais empresas do *cluster* 4, onde estão agrupadas as “Empresas avançadas”, obtiveram resultados operacionais e benefícios subjetivos percebidos com o uso de PE e TE, evidenciando que as empresas mais fundamentadas nos princípios do PE e no uso do TE são mais bem sucedidas nestes indicadores. Do total de 41 empresas neste *cluster*, 12 empresas (29,26%) tem a percepção de que obtiveram Resultados operacionais (Rop) em maior intensidade, 11 empresas (26,82%) percebem Benefícios subjetivos (Bsub) e 7 empresas (17%) obtiveram tanto Rop quanto Bsub mais elevados. Já o *cluster* 1, composto por “Empresas quase avançadas”, possui 8 empresas (12,31%) com Rop, 4 (6,15%) com Bsub e 3 (4,61%) com ambos os resultados. No *cluster* 1 a percepção dos benefícios subjetivos é menos expressiva, sendo inferior ao *cluster* 3 de “Empresas intermediárias” que possui 6 empresas (8,82%) com Rop, 10 (14,70%) com Bsub e 4 (5,88%) com ambos os resultados.

#### 4.5. Relação entre os clusters e programas de melhoria

Para analisar a existência de associação entre os *clusters* e o tempo de implantação de programas de melhoria foi aplicado o teste Qui-quadrado ao nível de significância de 5%. As hipóteses testadas foram:  $H_0$ : não há associação entre os *clusters* e o tempo de implantação do programa de melhoria; e  $H_1$ : há associação entre os *clusters* e o tempo de implantação do programa de melhoria.

Para realização dos testes, foram construídas tabelas de dupla entrada 4x4 considerando cada programa em separado com 4 categorias (“Não possui”; “De 0 a 5 anos”; “De 5 a 10 anos”; e “Mais de 10 anos”). Na Tabela 4 estão dispostos os valores p que destacam evidências de rejeição de  $H_0$  em cada caso. Verifica-se que a associação foi altamente significativa para todos os casos, uma vez que  $p < 0,001$ , exceto para TQM.

Tabela 4 – Resultados relativos ao teste Qui-quadrado para associação entre os *clusters* e o tempo de implantação do programa de melhoria

Programa	Valor p
<i>Lean Manufacturing</i>	<0,001
Seis Sigma	<0,001
<i>Lean Seis Sigma</i>	<0,001
TQM	0,004
TPM	<0,001

Fonte: Os Autores.

Os *clusters* 1, 2 e 3 são formados majoritariamente por empresas nacionais. Já o *cluster* 4 das “Empresas avançadas” possui mais empresas estrangeiras comparadas com as nacionais. Apenas o *cluster* 1 é composto em sua maioria por empresas de médio porte; nos demais, há predominância de empresas de grande porte.

Dentre as empresas do *cluster* 1, “Empresas quase avançadas”, 29,23% utilizam o SS entre 0 e 5 anos; 38,46% usam o LM entre 0 e 5 anos e 26,15% entre 5 e 10 anos. O uso do SS, o mais abrangente quanto aos princípios do PE e as TE em todos os níveis de complexidade, aparentemente contribuiu para que o *cluster* 1 tenha os escores dos fatores positivos para os fatores 2, 3, 5 e 6 (Figura 3). As “Empresas iniciantes” do *cluster* 2 em grande parte não adotam os programas de melhoria considerados na pesquisa, com valores negativos nos escores dos fatores obtidos na análise fatorial. No *cluster* 3 das “Empresas intermediárias” 30,88% usam o SS entre 0 e 5 anos e 20,58% utilizam o LM pelo mesmo período. Isso contribui para que o *cluster* 3 tenha os fatores 2, 4 e 5 com escores dos fatores positivos, devido a presença de PE e utilização das TE no SS e a ênfase na aplicação de TEB no LM. “Empresas avançadas” do *cluster* 4 em sua maioria adotam todos os programas de melhoria considerados, com destaque para programas que são utilizados há mais de 5 anos,

sendo que 53,65% das empresas deste *cluster* usam o SS, 46,34% o LM, 43,90% o TQM e 51,21% o TPM há pelo menos cinco anos.

Os princípios do PE são pouco presentes no LM, TQM e TPM, assim como o uso das TE intermediárias e avançadas, assim os valores positivos de todos os escores dos fatores do *cluster* 4 podem ser resultantes da utilização do SS e LSS. Observa-se que 53,65% das empresas desse *cluster* usam o SS por mais de 5 anos e 31,70% usam o LSS pelo mesmo período.

Pode se inferir, com as análises anteriores, que o uso de um programa de melhoria específico por menos de 5 anos, pode não contribuir para a obtenção de valores positivos dos escores dos fatores e conseqüentemente para a compreensão dos princípios do PE e aplicação das TE, assim como para a obtenção de resultados operacionais e benefícios percebidos com o uso. Ou seja, a percepção de obtenção de resultados com o uso de PE e TE, difundidos por meio de programas de melhoria, requer um período considerável de tempo e maturidade do programa.

Ainda referente ao *cluster* 4, com empresas mais fundamentadas em PE e TE, as principais características na utilização do SS, LM, LSS, TQM e TPM é o uso destes programas por mais de 5 anos, com destaque para SS e LSS, que mais contribuem para o uso do PE e TE e podem ser considerados determinantes na obtenção dos resultados operacionais.

O Quadro 2 apresenta uma síntese desses resultados, destacando características predominantes nos *clusters*, assim como aspectos relativos ao tempo de implantação de programas de melhoria nos *clusters*.

Quadro 2 - Síntese da análise de *cluster*

Característica	Cluster			
	1	2	3	4
Segmentos industriais predominantes	Bens de consumo e de Higiene pessoal; Eletroeletrônicos/ Eletrodomésticos	Farmacêutico; Químico industrial	Máquinas e Equipamentos seriados; Alimentos e Bebidas	Autopeças; Farmacêutico; Químico industrial
Porte predominante	Médio	Grande	Grande	Grande
Origem predominante	Nacionais	Nacionais	Nacionais	Estrangeiras
Programa de melhoria				

SS	29,23% usam até 5 anos	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	31,70% usam entre 5 e 10 anos; 21,95% usam há mais de 10 anos
LM	38,46% usam até 5 anos; 26,15% usam entre 5 a 10 anos.	A maioria não utiliza	30,88% usam até 5 anos	21,95% usam entre 5 e 10 anos; 24,39% usam há mais de 10 anos
LSS	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza; 20,58% usam até 5 anos	12,19% usam entre 5 e 10 anos; 19,51% usam há mais de 10 anos
TQM	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	17,07% usam entre 5 e 10 anos; 26,83% usam há mais de 10 anos
TPM	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	A maioria não utiliza	36,58% usam entre 5 e 10 anos; 14,63% usam há mais de 10 anos

Fonte: Os Autores.

## 5. CONCLUSÕES

O SS e o LSS são programas de melhoria com os princípios do PE mais presentes e fundamentados. O LM e o TQM buscam a eliminação de desperdícios, mas não o controle da variação. O TPM busca eliminar a variabilidade dos processos, com foco na melhoria da manutenção e confiabilidade dos equipamentos do processo, mas não aborda o uso de ferramentas para controle da variação. Isso reflete na aplicação das TE que cada programa usa na redução das fontes de variação. Os programas que utilizam técnicas estatísticas em seus diferentes níveis de complexidade são o SS e o LSS, assim, estes programas proporcionam um melhor entendimento, controle e redução da variação.

Entre os 4 grupos de empresas formados, o que obteve melhor resultado foi o cluster 4, denominado de “Empresas avançadas” com 16,9% da amostra (41 empresas). As “Empresas avançadas” possuem valores positivos para os fatores intensidade do uso das TEA, resultados operacionais percebidos, compreensão dos princípios do PE, resultados com a compreensão do PE e das TE, intensidade do uso das TEB e Orientação ao uso das TE, demonstrando assim que as empresas deste cluster são mais bem fundamentadas na compreensão do PE e no uso das TE. Além disso, mais empresas desse grupo (12)

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, nº 2, p. 210 - 237, 2019.

conseguiram perceber, em maior intensidade, a obtenção de resultados operacionais, 11 empresas perceberam a obtenção de benefícios subjetivos e 7 perceberam ambos os resultados. Um dos fatores que pode ter influenciado esses resultados das “Empresas avançadas” é o uso dos programas de melhoria, principalmente, LSS e SS, por mais de 5 anos.

Através da análise do cluster das “Empresas avançadas” pode se inferir que empresas com maior fundamentação no uso dos princípios do PE e de TE, e que utilizam os programas de melhoria há mais tempo, com destaque para o SS e o LSS, são capazes de obter melhores resultados operacionais e resultados subjetivos com o uso do PE e TE. Assim, conclui-se que o uso do SS e LSS, por mais de 5 anos, proporcionou a essas empresas maiores chances de atingirem melhor fundamentação nas bases teóricas (princípios do PE) que envolvem estes programas e estão conseguindo usar as TE com melhor eficiência, levando a obtenção de resultados positivos.

Diversos autores e publicações mencionados na introdução deste artigo (DEMING, 1986; SNEE, 1998; SNEE, 2004; MAKRYMICHALOS et al., 2005; GRIGG; WALLS, 2007; GOH, 2011; HOERL; SNEE, 2012; JENSEN *et al.*, 2012; GOH, 2015) indicam os efeitos positivos do uso do PE e TE no desempenho operacional, entretanto observa-se, com a amostra desta pesquisa, que esse resultados exigem um tempo de uso, para sua consolidação, e estão associados ao tipo de programa de melhoria e a sua maturidade na empresa. A consolidação desse uso também deve depender de uma cultura organizacional favorável ao pensamento estatístico, do conhecimento da organização sobre esses conceitos e métodos, e de uma gestão que valorize e estimule o uso. Esses aspectos não foram considerados nesta pesquisa, e podem ser objeto de pesquisas futuras.

Apesar da ampla difusão dos programas de melhoria que, em maior ou menor grau, fazem uso de princípios e técnicas estatísticas, ainda são poucas as empresas em que esse uso estaria mais consolidado. Os resultados obtidos permitem orientar pesquisas futuras e direcionar ações práticas que contribuam para a sustentabilidade de Programas de Melhoria. É importante aprofundar o conhecimento sobre os motivos desse baixo uso para gerar recomendações aos níveis gerenciais das empresas e à própria formação básica em estatística nos cursos de engenharia no Brasil.

É necessário desenvolver contribuições práticas que permitam a operacionalização do pensamento estatístico nas empresas brasileiras, uma vez que, aparentemente abstrato, ele fundamenta o uso de técnicas estatísticas e, em conjunto, robustecem a análise de processos, a

solução de problemas e as ações de melhoria. É esperado que um uso mais intenso e efetivo da abordagem estatística contribua para soluções mais sustentáveis dos problemas de manufatura.

## Referências

- ABRAHAN, B. Statistics in Business and Industry: Implementation. **International Statistical Review**, v. 73, n. 2, p.173-176, 2005.
- ANDERSON-COOK, C. M.; LU, L.; CLARK, G.; DEHART, S. P.; HOERL, R., JONES, B.; SNEE, R. Statistical engineering—Forming the foundations. **Quality Engineering**, v.24, n.2, p.110-132, 2012.
- AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. Total productive maintenance: literature review and directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.25, n.7, p.709-756, 2008.
- ANDERSSON, R.; ERIKSSON, H.; TORSTENSSON, H. Similarities and differences between TQM, Six Sigma and lean, **The TQM Magazine**, v.18, n.3, p. 282-96, 2006.
- ANHOLON, R.; SANO, A. T. Analysis of critical processes in the implementation of lean manufacturing projects using project management guidelines. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, p. 9-12, 2016.
- ANTONELLI, S. C.; SANTOS, A. B. Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um *survey* com indústrias de alimentos de São Paulo. **Gestão da Produção**, v.18, n.3, p.509-524, 2011.
- ANTONY, J. Six Sigma vs TQM: some perspectives from leading practitioners and academics. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.58, n.3, p. 274-279, 2009.
- ANTONY, J. Six Sigma vs Lean: Some perspectives from leading academics and practitioners. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 60, n. 2, p.185-190, 2011.
- ARNHEITER, E. D.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and Six Sigma. **The TQM magazine**, v. 17, n. 1, p. 5-18, 2005.
- ARNHEITER, E. A.; MALEYEFF, J.; VENKATESWARAN, V. The continuing evolution of Lean Six Sigma. **The TQM Journal**, v.24, n.6, p.542-555, 2012.
- ATTRI, R.; GROVER, S.; DEV, N.; KUMAR, D. Analysis of barriers of total productive maintenance (TPM). **International Journal of System Assurance Engineering Management**, v.4, n.4, p.365-377, 2013.
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. An overview of continuous improvement: from the past to the present. **Management decision**, v. 43, n. 5, p. 761-771, 2005.
- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A.; WILSON, J. A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, n. 8, p. 671-687, 2006.
- BRUNET, A. P.; NEW, S. Kaizen in Japan: an empirical study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 12, p. 1426-1446, 2003.
- CALVO-MORA, A.; RUIZ, C.; PICÓN, A.; CAUZO, L. The relationships between soft-hard TQM factors and key business results. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 1, p. 2014a.

- CALVO-MORA, A.; PICÓN, A.; RUIZ, C., CAUZO, L. Mediation effect of TQM technical factors in excellence management systems. **Journal of Business Research**, v. 67, p.769–774, 2014b.
- COLEMAN, S.Y. Statistical Thinking in the quality movement  $\pm$  25 years. **The TQM Journal**. v. 25, n. 6, p. 597-605, 2013.
- CORREDOR, P.; GOÑI, S. TQM and performance: Is the relationship so obvious? **Journal of Business Research**, v. 64, p. 830–838, 2011.
- CUA, K. O.; MCKONE, K. E.; SCHROEDER, R. G. Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. **Journal of Operations Management**, v.19, p.675–694, 2001.
- DAHLGAARD-PARK, S. M.; CHEN, C. K.; JANG, J. Y.; DAHLGAARD, J. J. Diagnosing and prognosticating the quality movement—a review on the 25 years quality literature (1987–2011). **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 24, n. 1-2, p. 1-18, 2013.
- DARLINGTON, J.; FRANCIS, M.; FOUND, P.; THOMAS, A. Targeting lean process improvement projects for maximum financial impact. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 2, p. 114-132, 2016.
- DEMING, W. E. **Out of the crisis**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Centre for Advanced Engineering Study, 1986.
- DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- DRANSFIELD, S.B.; FISHER, N.I.; VOGEL, N.J. Using Statistics and Statistical Thinking to Improve Organisational Performance. **International Statistical Review**, v. 67, n. 2, p. 99-150, 1999.
- DROHOMERETSKI, E.; COSTA, S. E.G.; LIMA, E. P.; GARBUIO, P. A. D. R. Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 3, p. 804-824, 2014.
- EVANS, J. R.; LINDSAY, W. M. **The Management and Control of Quality**. Mason: Thomson South-Western, 6ª ed., 760 p. 2005.
- GLASER-SEGURA, D. A.; PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Fatores influenciadores do sucesso da adoção da produção enxuta: uma análise da indústria de três países de economia emergente. **Revista de Administração**, v. 46, n. 4, p. 423-436, 2011.
- GOH, T. N. Six triumphs and six tragedies of Six Sigma. **Quality Engineering**, v. 22, n. 4, p. 299-305, 2010.
- GOH, T.N. Six sigma in industry: some observations after twenty-five years. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 27, n. 2, p. 221-227, 2011.
- GOH, T. N. Emerging Megatrends in Quality Engineering and the “New 5S” Response. **Quality Engineering**, v. 27, n. 4, p. 450-460, 2015.
- GRIGG, N. P.; Walls, L. Developing statistical thinking for performance improvement in the food industry. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 24, n. 4, p. 347-369, 2007.

- HAIR, Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HARE, L. B. Statistical engineering- principles and examples. **Quality Engineering**, v. 24, n. 2, p. 153-161, 2012.
- HELLSTEN, U.; KLEFSJÖ, B. TQM as a management system consisting of values, techniques and tools. **TQM Magazine**, v. 12, n. 4, p. 238-244, 2000.
- HOERL, R. W.; SNEE, R. D. Statistical Thinking and Methods in Quality Improvement: a look to the future. **Quality Engineering**, v. 22, n. 3, p. 119-129, 2010.
- HOERL, R. W.; SNEE, R. D. **Statistical Thinking**: improving business performance. New Jersey: John Wiley&Sons, 2012.
- HUARNG, F.; CHEN, Y. Relationships of TQM philosophy, methods and performance: a survey in Taiwan. **Industrial Management & Data Systems**, v. 102, n. 4, p. 226-234, 2002.
- JAIN, A.; BHATTI, R.; SINGH, H. Total productive maintenance (TPM) implementation practice. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 3, p. 293-323, 2014.
- JAYARAM, J.; AHIRE, S. L.; DREYFUS, P. Contingency relationships of firm size, TQM duration, unionization, and industry context on TQM implementation — A focus on total effects. **Journal of Operations Management**, v. 28, p. 345-356, 2010.
- KORAKIANITI, E.; REKKAS, D. Statistical Thinking and Knowledge Management for Quality- Driven Design and Manufacturing in Pharmaceuticals. **Pharmaceutical Research**, v. 28, n.7, p.1465-1479, 2011.
- KORNFELD, B. J.; KARA, S. Project portfolio selection in continuous improvement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 10, p.1071-1088, 2011.
- KRISHNAMOORTHY, K. S. Statistical Thinking for Engineers - What, Why, and How? In: INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT. 17th. 2010. **Anais...** (IE&EM), International Conference, 2010.
- KUMAR, M.; ANTONY, J.; MADU, C. N.; MONTGOMERY, D. C.; PARK, S. H. Common myths of Six Sigma demystified. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25, n. 8, p. 878-895, 2008.
- LIKER, J. K. **O Modelo Toyota**: 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo. Porto Alegre: Bookman. 2005.
- LIZARELLI, F. L.; TOLEDO, J. C. Identificação de relações entre Melhoria Contínua e Inovação de produtos e processos por meio de revisão bibliográfica sistemática. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 3, p. 590-610, 2015.
- LU, J.; LAUX, C.; ANTONY, J. Lean Six Sigma leadership in higher education institutions. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 66, n. 5, p. 638-650, 2017.
- LUCIO, M. M.; JENKINS, S.; NOON, M. Fads, techniques and control: the competing agendas of TPM and Tecex at the Royal mail (UK). **Journal of Management Studies**, v.37, n. 4, 2000.

- MAKRYMICHALOS, M.; ANTONY, J.; ANTONY, F.; KUMAR, M. Statistical thinking and its role for industrial engineers and managers in the 21st century. **Managerial Auditing Journal**, v. 20, n. 4, p. 354-363, 2005.
- MARKSBERRY, P.; BADURDEEN, F.; GREGORY, B.; KREAFLE, K. Management directed kaizen: Toyota's Jishuken process for management development. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 6, p. 670-686, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. A modern framework for achieving enterprise excellence. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n.1, p. 56-65, 2010.
- PFANNKUCH, M.; WILD, C. Towards an understanding of statistical thinking (17-46). In: Ben-Zvi, D., & Garfield, J. B. (Eds.). **The challenge of developing statistical literacy, reasoning and thinking**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- PODVAL, P. S.; PRAMOD, V. R.; RAJ, J. Interpretive Structural Modeling and its application in analyzing factors inhibiting implementation of Total Productive Maintenance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 32, n. 3, p. 308-331, 2015.
- SALAH, S.; RAHIM, A.; CARRETERO, J. A. The integration of Six Sigma and lean management. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n. 3, p. 249-274, 2010.
- SANTOS, A. B. **Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade Seis Sigma**: proposta e avaliação. Tese. 312 f. 2006. (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações. **Gestão & Produção**, v.15, n.1, p. 43-56, 2008.
- SCHERER, J. O. S. O.; RIBEIRO, J. L. D. Proposição de um modelo para análise dos fatores de risco em projetos de implantação da metodologia *lean*. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 3, p. 537-553, 2013.
- SENAPATI, N. R. Six Sigma: myths and realities. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 21, n. 6, p. 683-690, 2004.
- SINCLAIR, K. A.; SADLER, B. A. Going beyond SPC – Why we need statistical thinking in operations such as carbon plants. In: TOMSETT, A.; JOHNSON, J. (ed) **Essential Reading in Light Metals**, v. 4, p. 365-370, 2004.
- SINGH, J.; SINGH, H. Continuous improvement approach: state-of-art review and future implications. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 3, n. 2, p. 88-111, 2012.
- SNEE, R.D. Getting Better Business Results. Using statistical thinking and methods to shape the bottom line. **Quality Progress**, p.102-106, 1998.
- SNEE, R.D. Statistical thinking and its contribution to total quality. **The American Statistician**, v. 44, n .2, p.116-121, 1990.
- SNEE, R. D. Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v.1, n. 1, p. 4-20, 2004.
- SUNDARESHAN, S. D.; SWAMY, D. R.; SWAMY, T. S. N. A Literature Review on Lean Implementations: A comprehensive summary. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 5, n. 11, p.73-81, 2015.

SUNDER, M. V. Corporate perspectives: commonalities and differences between Six Sigma and Lean. **Sigma**, v. 6, n. 3, p. 281-288, 2015.

TOHIDI, H. Six Sigma methodology and its relationship with Lean Manufacturing system. **Advances in Environmental Biology**, v. 6, n. 2, p. 895-906, 2012.

TOLEDO, J. C.; BORRÁS, M. A. A.; MERGULHÃO, R. C.; MENDES, G. H. S. **Qualidade: Gestão e Métodos**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ULUSKAN, M. Analysis of Lean Six Sigma tools from a multidimensional perspective. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 24, n.1, p. 1-22, 2017.

ZU, X.; ROBBINS, T. L.; FREDENDALL, L. D. Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices. **International Journal of Production Economics**, v. 123, p. 86–106, 2010.