

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DO USO DO PENSAMENTO ESTATÍSTICO E
TÉCNICAS ESTATÍSTICAS EM EMPRESAS DE BENS DE CAPITAL
SERIADOS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Nelio Garbellini de Carvalho

SÃO CARLOS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DO USO DO PENSAMENTO ESTATÍSTICO E
TÉCNICAS ESTATÍSTICAS EM EMPRESAS DE BENS DE CAPITAL
SERIADOS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Nelio Garbellini de Carvalho

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Toledo

SÃO CARLOS

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C331au Carvalho, Nelio Garbellini de
Avaliação do uso do pensamento estatístico e técnicas estatísticas em empresas de bens de capital seriados do Estado de São Paulo / Nelio Garbellini de Carvalho. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
165 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Pensamento estatístico. 2. Engenharia estatística. 3. Técnicas estatísticas. 4. Indústria de bens de capital seriados. I. Título.

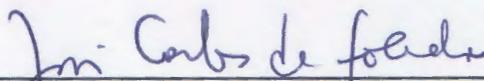


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

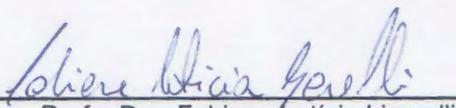
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

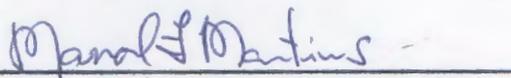
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Nelio Garbellini de Carvalho, realizada em 16/10/2015:



Prof. Dr. Jose Carlos de Toledo
UFSCar



Profa. Dra. Fabiane Leticia Lizarelli
UFSCar



Prof. Dr. Manoel Fernando Martins
UFSCar



Profa. Dra. Adriana Barbosa Santos
UNESP

DEDICO este trabalho aos meus pais e ao meu irmão, pelo carinho e apoio sem medida, pela educação e pelo ensinamento de que o conhecimento é a maior riqueza que existe.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pai, mãe e irmão, pelo exemplo que sempre foram, por todos os ensinamentos que me permitiram trilhar o melhor caminho e por terem me dado as condições para poder ir em busca dos meus sonhos.

À minha noiva Ana Flávia de Oliveira Santos, que sempre me deu forças e me apoiou em todo o caminho para chegar até aqui. Meu muito obrigado e gratidão pela paciência, compreensão e carinho. Sem você este percurso teria sido incrivelmente mais árduo.

Ao meu orientador, Prof. Dr José Carlos de Toledo, pela amizade e apoio ao longo de toda a graduação e pós-graduação, por confiar e acreditar em meu potencial e pelo incentivo e conhecimentos transmitidos, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da banca, Prof. Dr. Manoel Fernando Martins, Profa. Dra. Fabiane Letícia Lizarelli e Profa. Dra. Adriana Barbosa Santos, pelas enriquecedoras contribuições e pela disponibilidade em participar das bancas de qualificação e defesa.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSCar e a todos os profissionais que trabalham no departamento e apoiam os alunos nas atividades acadêmicas.

Aos amigos Henrique Garbellini, Renato Aro, Mateus Roda e Rodrigo Ortega, por todas as conversas sobre a vida e trabalho. Obrigado pelo apoio durante todos os anos de convivência, pelos conselhos e também pela amizade.

Aos meus queridos amigos, por todos os momentos inesquecíveis e por toda felicidade compartilhada, com os quais dividi inúmeros finais de semanas entre estudos e diversão e também aos são-carlenses que, mesmo distantes, participaram desta conquista pelo apoio transmitido.

A todas as empresas e profissionais que optaram por responder ao questionário e participar deste trabalho, permitindo, assim, a realização desta pesquisa.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente neste percurso.

RESUMO

Com a evolução das relações mercadológicas, diversas mudanças vêm ocorrendo a respeito dos fatores competitivos do mercado, dentre os quais se destaca a importância da qualidade dos processos e produtos disponibilizados à sociedade. Dessa maneira, diversos programas e métodos têm sido desenvolvidos com o objetivo de acompanhar os indicadores dos processos produtivos e monitorar as características da qualidade do produto, utilizando para isso técnicas, muitas delas suportadas por conceitos estatísticos, o que, conseqüentemente, estimula a compreensão e uso do Pensamento Estatístico (PE), da Engenharia Estatística (EE) e das Técnicas Estatísticas (TE) nas empresas e destaca sua importância para a gestão da qualidade e eficiência de processos organizacionais. Essa dissertação tem por objetivo analisar o uso do PE e de TE em uma amostra de empresas industriais do setor de bens de capital seriados, localizadas no estado de São Paulo. Para isso, foi conduzida uma *survey* exploratória-descritiva em 42 empresas de médio e grande porte de diferentes segmentos do setor. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por métodos descritivos e multivariados (análise de *cluster*, associação e correlação). Tais análises revelaram a existência de um grande espaço para difusão do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas nessas empresas, bem como a ausência de treinamentos em princípios e técnicas estatísticas, os principais obstáculos para a aplicação sistemática dessas técnicas e a falta de suporte da alta administração. Há evidências de que a implantação bem-sucedida dos programas TQM (*Total Quality Management*) e TPM (*Total Productive Maintenance*) nas empresas o setor exerceu significativa influência sobre a difusão do PE e aplicação das TE; de que o Programa Seis Sigma impacta especialmente na aplicação das TE de maior complexidade; e de que o uso do PE tem potencial para promover maior aplicação das TE.

Palavras-chave: Pensamento Estatístico. Engenharia Estatística. Técnicas Estatísticas. Indústria de Bens de Capital Seriados.

ABSTRACT

With more advanced marketing relations, various changes are taking place in regard to competitive factor markets, among which, the importance of quality processes and goods supplied to the society, stand out. Therefore, diverse programs and methods have been developed to monitor indicators of production processes and the characteristics of product quality, many of which are supported by statistical concepts. This process encourages understanding and the use of Statistical Thinking (ST), Statistical Engineering (SE), and Statistical Techniques (STe) in businesses, highlighting their importance to quality management and the efficiency of organizational processes. This thesis's aim was to analyze the use of ST and STe in a sample of industries in the sector of serial capital goods located in the state of São Paulo, Brazil. For that, an exploratory-descriptive survey was conducted with 42 medium and large companies from different segments of the sector. Data were statistically analyzed using descriptive and multivariate methods (cluster analysis, association and correlation). These analyses revealed there is considerable space to diffuse Statistical Thinking and Statistical Techniques in these companies, as well as revealed a lack of training in statistical principles and techniques, the main obstacles to the systematic application of these techniques, and the lack of support on the part of top management. There is evidence that the successful implementation of Total Quality Management (TQM) and Total Productive Maintenance in the industries of sector significantly influences the diffusion of ST and the application of STe; while the use of Six Sigma program especially impacts the application of more complex STe; and ST has the potential to promote the application of STe.

Keywords: Statistical Thinking. Statistical Engineering. Statistical Techniques. Serial Capital Goods Sector.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Evolução da aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.	31
FIGURA 2.2: As fontes de variação em um processo de produção clássico.	34
FIGURA 2.3: O Pensamento Estatístico no nível estratégico de uma organização.	35
FIGURA 2.4: O Pensamento Estatístico através do nível estratégico ao operacional.	36
FIGURA 2.5: Uso da Engenharia Estatística relacionada às Técnicas Estatísticas.	38
FIGURA 2.6: Ciclo investigativo (PPDAC) utilizado para compreensão de problemas por meio de análise de dados.	42
FIGURA 2.7: Estratégia de melhoria de processos baseada no Pensamento Estatístico.	44
FIGURA 2.8: Estratégia integrada de melhoria de processos e solução de problemas baseada no Pensamento Estatístico.	45
FIGURA 2.9: Impacto da estatística como ciência e como uma disciplina de engenharia.	54
FIGURA 4.1: Etapas da pesquisa.	77
FIGURA 4.2: População de interesse, população acessada e amostra.	78
FIGURA 5.1: Localização das empresas respondentes da pesquisa.	86

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1: Principais países de destino das exportações brasileiras de máquinas e equipamentos.	73
GRÁFICO 3.2: Principais países de origem das importações brasileiras de máquinas e equipamentos.	74
GRÁFICO 5.1: Percentual de empresas respondentes conforme porte.	87
GRÁFICO 5.2: Quantidade de programas da qualidade implantados nas empresas pesquisadas.	88
GRÁFICO 5.3: Frequência de uso de Técnicas Estatísticas básicas/intermediárias.	93
GRÁFICO 5.4: Frequência de uso de Técnicas Estatísticas avançadas.	94
GRÁFICO 6.1: Dendograma formado pelo método hierárquico <i>Ward</i>	102
GRÁFICO 6.2: Distribuição do escore pelos grupos formados pelo método hierárquico <i>Ward</i>	103
GRÁFICO 6.3: Distribuição do escore pelos grupos formados pelo método não hierárquico <i>K-means</i>	103
GRÁFICO 6.4: Gráfico de dispersão dos escores dos blocos B-C por empresa.	118
GRÁFICO 6.5: Gráfico de dispersão dos escores dos blocos C-D por empresa.	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Resultados do procedimento de revisão bibliográfica conforme bases pesquisadas.	23
TABELA 3.1: Taxa de Investimento (FBCF/PIB).	70
TABELA 3.2: Faturamento e produção física do setor de bens de capital.	71
TABELA 4.1: Resultados da análise de consistência (alfa de Cronbach).	85
TABELA 5.1: Programas da qualidade nas empresas respondentes.	88
TABELA 5.2: Resultados sobre a aplicação e difusão de conceitos do Pensamento Estatístico.	91
TABELA 5.3: Proporção de respostas 4 ("Frequentemente") e 5 ("Sempre") para as TE pesquisadas.	95
TABELA 5.4: Frequência de justificativas para não aplicação sistemática das Técnicas Estatísticas.	96
TABELA 5.5: Resultados percebidos com a aplicação do PE e TE.	98
TABELA 6.1: Alteração de escala do Bloco D para análise de <i>cluster</i>	101
TABELA 6.2: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do <i>cluster 1</i>	104
TABELA 6.3: Presença dos programas da qualidade nas empresas do <i>cluster 1</i>	104
TABELA 6.4: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no <i>cluster 1</i>	105
TABELA 6.5: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do <i>cluster 2</i>	107
TABELA 6.6: Presença dos programas da qualidade nas empresas do <i>cluster 2</i>	107
TABELA 6.7: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no <i>cluster 2</i>	108
TABELA 6.8: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do <i>cluster 3</i>	109
TABELA 6.9: Presença dos programas da qualidade nas empresas do <i>cluster 3</i>	109
TABELA 6.10: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no <i>cluster 3</i>	110
TABELA 6.11: Resultados do teste exato de Fisher (<i>p-value</i>) para checar associação.	112
TABELA 6.12: Presença do programa da qualidade TQM por <i>cluster</i>	113
TABELA 6.13: Presença do programa da qualidade Seis Sigma por <i>cluster</i>	115
TABELA 6.14: Relação entre a presença/ausência do Seis Sigma e o uso das TE.	116
TABELA 6.15: Análise da frequência de uso das TE conforme porte das empresas.	117
TABELA 6.16: Resultados da análise de correlação.	119

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1: Resultados do procedimento de revisão bibliográfica para Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.....	22
QUADRO 2.2: Artigos e periódicos utilizados na revisão bibliográfica.	25
QUADRO 2.3: Relação entre os princípios do Pensamento Estatístico e os Métodos e Técnicas utilizadas pelo Programa Seis Sigma.	41
QUADRO 2.4: Motivos que dificultam e iniciativas que estimulam o uso do Pensamento Estatístico pela organização.....	49
QUADRO 2.5: Dificuldades para aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.	52
QUADRO 2.6: Medidas para promover maior aplicação do Pensamento Estatístico.	57
QUADRO 3.1: Classificação de bens de capital segundo IBGE.	68
QUADRO 6.1: Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r).	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ	Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos
ANOVA	Analysis of Variance
ASA	American Statistical Association
ASQ	American Society for Quality
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEP	Controle Estatístico de Processo
CEQ	Controle Estatístico da Qualidade
CNAE	Classificação Nacional de Atividade Econômica
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNM/CUT	Confederação Nacional dos Metalúrgicos da Central Única dos Trabalhadores
DECOMTEC	Departamento de Competitividade e Tecnologia
DFSS	Design for Six Sigma
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control
DOE	Design of Experiment
EE	Engenharia Estatística
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	International Organization for Standardization
ISRU	Industrial Statistics Research Unit
LSS	Lean Six Sigma
PE	Pensamento Estatístico
PIB	Produto Interno Bruto
PINTEC	Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica
PNQ	Prêmio Nacional da Qualidade
PPDAC	Problem, Plan, Data, Analysis and Conclusions
QFD	Quality Function Deployment
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
RSM	Response Surface Methodology
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TE	Técnicas Estatísticas
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Tema e sua importância	14
1.2 Questões de pesquisa e objetivo do trabalho	17
1.3 Método de pesquisa	18
1.4 Estrutura do trabalho.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Procedimento de revisão bibliográfica	21
2.2 Origem e evolução da aplicação do Pensamento Estatístico	27
2.3 Pensamento Estatístico, Engenharia Estatística e Técnicas Estatísticas.....	32
2.3.1 Pensamento Estatístico, Programa Seis Sigma e métodos para melhoria de processos	40
2.4 Barreiras à implantação e fatores críticos de sucesso	47
2.5 Perspectivas para maior aplicação do Pensamento Estatístico	53
2.6 Considerações do capítulo	58
3. O SETOR DE BENS DE CAPITAL	61
3.1 Contextualização do setor de bens de capital	61
3.2 Classificação do setor de bens de capital.....	68
3.3 Desempenho econômico do setor no Brasil.....	69
4. MÉTODO DE PESQUISA	75
4.1 Caracterização da pesquisa	75
4.2 População e definição da amostra.....	77
4.3 Instrumento de coleta de dados.....	79
4.4 Coleta de dados, taxa de retorno e técnicas de análise	82
4.5 Análise de consistência do questionário	84
5. ANÁLISE DESCRITIVA, APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	86
5.1 Perfil das empresas da amostra	86
5.2 Presença e aplicação do Pensamento Estatístico (PE)	90
5.3 Uso de Técnicas Estatísticas (TE).....	92
5.4 Resultados percebidos com aplicação de PE e TE.....	97
6. ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS	100
6.1 Análise de <i>cluster</i>	100

6.1.1	Procedimento para formação dos <i>clusters</i>	100
6.1.2	Descrição das características do <i>cluster</i> 1	104
6.1.3	Descrição das características do <i>cluster</i> 2	106
6.1.4	Descrição das características do <i>cluster</i> 3	109
6.2	Análises de associação e correlação	111
6.2.1	Análise de associação	111
6.2.2	Análise de correlação.....	117
6.3	Considerações do capítulo	120
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
7.1	Conclusões	122
7.2	Limitações da pesquisa	125
7.3	Sugestão de trabalhos futuros	126
	REFERÊNCIAS	127
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO	137
	APÊNDICE B – E-MAIL DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	143
	APÊNDICE C–TABELA COM ESCORES CALCULADOS PARA ANÁLISE DE CLUSTER POR EMPRESA PARTICIPANTE	144
	APÊNDICE D – TABELA COM OS RESULTADOS DOS ESCORES POR CLUSTER FORMADO	154
	APÊNDICE E – TABELAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DE ASSOCIAÇÃO	157
	APÊNDICE F – TABELA COM ESCORES CALCULADOS DO BLOCO C (SEGREGADOS EM TE BÁSICAS/INTERMEDIÁRIAS E AVANÇADAS) E ESCORES DO BLOCO D (PARA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO), POR EMPRESA PARTICIPANTE	163

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema e sua importância

Com o acirramento das relações comerciais, as empresas passaram a buscar alternativas para continuarem evoluindo dentro dessa nova dinâmica de mercado, a qual exige o desenvolvimento de novas estruturas de trabalho que permitam a obtenção de vantagens competitivas.

Diante disso, é necessário que as empresas se adaptem aos novos padrões de gestão, de maneira que aumentem sua capacidade de reagir às pressões do ambiente e do mercado em que estão inseridas. Nesse sentido, é fundamental que as empresas passem por processos de transformação, tendo em vista que seu sucesso depende do grau em que elas conseguem sustentar essas mudanças (SENGE, 2000).

Nesse contexto, a exigência crescente dos consumidores por produtos de maior qualidade ganha destaque, visto que isso demanda da empresa uma maior clareza e compreensão dos requisitos exigidos por seus clientes e gera necessidade de aumento na confiabilidade dos produtos e na robustez do processo produtivo. Todavia, além de procurarem atender às expectativas crescentes do mercado consumidor, o que eleva os gastos da organização, há a necessidade de as empresas serem competitivas financeiramente, o que eleva os desafios a serem superados.

Slack et al. (2006) relatam que vem ocorrendo uma mudança nos padrões exigidos pelos clientes, ou uma “revolução da qualidade”, na qual há uma crescente conscientização de que bens e serviços de alta qualidade podem proporcionar a uma organização considerável vantagem competitiva, de maneira que, a longo prazo, a qualidade tem sido considerada, por diversos profissionais da área, como o mais importante fator que afeta o desempenho da organização em relação a seus concorrentes.

Neste cenário, conforme Montgomery (2010), vários sistemas de gestão vêm surgindo, desde a década de 1980, como programas para melhorar a qualidade de uma organização, dentre os quais destacam-se o TQM – *Total Quality Management* e o Seis Sigma. Segundo o autor, o Seis Sigma se destacou pela sua capacidade de entregar resultados operacionais e financeiros, junto com melhorias na qualidade dos produtos devido ao foco na redução da variabilidade.

Seguindo esta necessidade de aperfeiçoamento das operações, as organizações passaram a combinar os programas Lean e Seis Sigma na abordagem LSS (*Lean Six Sigma*), englobando conceitos de redução de desperdício com o controle da variabilidade por meio de subsídios estatísticos (CHAPLIN; O'ROURKE, 2014).

Coleman (2013) também afirma que, desde meados da década de 80, nas organizações do Reino Unido, houve um crescimento no uso do Seis Sigma, o que se tornou uma grande oportunidade para a estatística, uma vez que possibilitou que suas ferramentas fizessem parte das técnicas utilizadas para melhoria da qualidade, despertando o interesse para o Pensamento Estatístico.

Dessa maneira, a utilização da abordagem estatística vem se destacando com grande potencial para superar os desafios atuais do mercado, a partir da difusão do Pensamento Estatístico (PE) e das Técnicas Estatísticas (TE). O PE, que engloba as TE, é definido, de acordo com Snee (1990), como uma abordagem que reconhece a presença da variação em tudo o que é feito, o trabalho como uma série de processos conectados e reconhece que a variabilidade deve ser controlada e reduzida para fornecer oportunidades de melhorias. A expansão do PE pode ser notada com a valorização do programa Seis Sigma, a qual, segundo Mehrjerdi (2011) e Santos e Martins (2010), consiste em um método no qual a análise dos problemas e as tomadas de decisões são suportadas por técnicas da qualidade decorrentes do PE, focando nos processos e na satisfação dos clientes.

Segundo Makrymichalos et al. (2005), o Pensamento Estatístico e seus princípios devem ser bem difundidos e implantados para que as potenciais melhorias organizacionais sejam obtidas e que seja possível proceder com a implantação de programas da qualidade como o Seis Sigma. Ainda segundo o autor, a compreensão desses princípios pode ser um diferencial que promove a efetividade máxima da companhia.

Seguindo este raciocínio, torna-se essencial que os gerentes e engenheiros industriais, independente do setor de atuação, pensem estatisticamente, de forma que seja possível obter ganhos não só na qualidade dos produtos, mas em todo o desempenho organizacional (JOHN; WHITAKER; JOHNSON, 2001).

Especificamente quando se trata da indústria de bens de capital, Vermulm e Erber (2002) relatam que este segmento possui um forte relacionamento com a produção de outros setores e, assim, exerce um papel relevante na difusão de novas tecnologias e como impulsionador do crescimento econômico. Com isso, a gestão da qualidade no setor de bens de capital ganha ainda mais destaque, pois seus produtos finais serão meios de produção de

outras empresas de diversos segmentos, impactando assim na produtividade e competitividade dessas cadeias produtivas.

Acha et al. (2004) destacam que os bens de capital não são produzidos para satisfazer uma necessidade imediata de consumo, mas sim para permitir o aumento da produção destes bens e de seu consumo. Nesse sentido, os autores ressaltam a importância do setor de bens de capital, visto que sustenta atividades de manufatura, de serviços, de comércio e de distribuição, assumindo um papel crítico em habilitar o desenvolvimento de uma indústria moderna e o progresso econômico. A importância do setor de bens de capital também é relatada por Nassif (2007), apontando que as máquinas e equipamentos exercem importância como criadores de capacidade produtiva e difusores do progresso técnico, mesmo quando o país importa estes bens.

Tendo em vista a relevância do setor de bens de capital, é importante compreender que a elevada e intensa concorrência faz com que as empresas do setor tenham maiores dificuldades em manter suas vantagens competitivas baseadas no produto em si, o que corrói a margem de lucro, fazendo com que essas empresas foquem seus esforços na diferenciação da prestação de serviços a seus consumidores (GEBAUER; PAIOLA; EDVARDSSON, 2010).

Essa diferenciação da prestação de serviços, principalmente de assistência técnica pós-venda, é um dos principais fatores destacados por Vermulm e Erber (2002) para uma empresa de bens de capital ser competitiva no mercado atual, além de outros fatores como possuir instalações, máquinas e mão-de-obra adequada e desenvolver competências específicas em engenharia de projeto, de produto e em comercialização. Mastrantonio (2009) também afirma que, para empresas do setor garantirem competitividade, é necessário apresentar, além da qualidade, flexibilidade produtiva e pontualidade, serviços de pós-venda e capacidade de inovação.

Baseado neste cenário, o Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas podem contribuir para a redução de custos, para o aumento da eficiência operacional e para o aumento da qualidade e confiabilidade dos produtos, os quais são critérios especialmente importantes para a obtenção de vantagens competitivas no setor de bens de capital.

Ao se pensar no setor de bens de capital no Brasil, o estado de São Paulo ganha destaque por ser o estado mais industrializado, por empregar 45% de toda mão-de-obra ativa no setor (CNM/CUT, 2012), além de possuir 18 das 30 maiores empresas de bens de capital, em faturamento, segundo publicação Melhores e Maiores de 2013 (REVISTA EXAME, 2013).

Haja vista as mudanças recentes na competitividade industrial na esfera nacional e internacional, a importância do setor de bens de capital para o equilíbrio econômico de uma nação e da representatividade do estado de São Paulo neste setor, bem como o potencial do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas em proporcionar melhorias de processo e ganhos em competitividade, justifica-se um estudo que relacione tais questões, analisando o grau de aplicação do PE e TE nas empresas do setor.

1.2 Questões de pesquisa e objetivo do trabalho

De acordo com Bjerke e Hersleth (2001) e Makrymichalos et al. (2005), existem diversas barreiras que impedem que o Pensamento Estatístico e suas técnicas sejam efetivamente implantadas nas organizações, mesmo que, segundo Friendly (2008), estas técnicas venham sendo desenvolvidas e aprimoradas desde a segunda metade do século XIX.

Abordagens difundidas e adotadas pela gestão da produção, como TQM – *Total Quality Management*, TPM – *Total Productive Maintenance* e *Lean Manufacturing*, bem como programas da qualidade, por exemplo o Seis Sigma, têm como base a análise de fenômenos baseados em fatos e dados, a qual é suportada e pode ser conduzida com a utilização de princípios e Técnicas Estatísticas. Entretanto, segundo Bjerke e Hersleth (2001), a aplicação dos princípios estatísticos enfrenta obstáculos para uso rotineiro nas decisões gerenciais e nas estratégias empresariais.

Dentre algumas possíveis explicações para essa situação, com base em Makrymichalos et al. (2005) e Abrahan (2005), podem-se supor preconceitos existentes nos diversos níveis hierárquicos de uma organização; dificuldade de compreensão para uso desses princípios e técnicas; formação educacional deficiente e tardia em Estatística, principalmente por engenheiros e administradores; e a pouca valorização do potencial do Pensamento Estatístico em viabilizar melhorias nas empresas.

Alguns questionamentos foram levantados para contribuir na condução deste trabalho, como:

- O Pensamento Estatístico está difundido na empresa por meio de conceitos de variabilidade, visão de processo, análises de causas comuns e aleatórias, e coleta e mensuração de dados?
- Qual a intensidade de uso de Técnicas Estatísticas consideradas básicas/intermediárias e avançadas?
- Quais os motivos para a não difusão e utilização do PE e TE?

- Quais os resultados percebidos pelos gestores com a aplicação de conceitos e TE?
- Existe relação entre o uso do PE e a intensidade de aplicação das TE, bem como entre a existência de programas da qualidade e a frequência de uso do PE e TE?

Esta dissertação de Mestrado tem por objetivo identificar e analisar a difusão e aplicação do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas no setor de bens de capital de produção seriada, em empresas situadas no estado de São Paulo.

Este objetivo geral pode ser estendido nos seguintes objetivos específicos:

- Identificar a aplicação do Pensamento Estatístico e a intensidade de uso de Técnicas Estatísticas conforme seu grau de complexidade (básicas/intermediárias e avançadas) nas empresas amostradas;
- Avaliar a satisfação percebida com o uso de PE e TE pelos gestores industriais e da qualidade das empresas pesquisadas;
- Identificar as principais barreiras e dificuldades enfrentadas na aplicação sistemática do PE e TE nas empresas;
- Identificar os principais resultados percebidos com a difusão e implantação do PE e das TE nas empresas pesquisadas;
- Analisar a existência de relações entre as variáveis da pesquisa, como o uso do PE, uso de TE, presença de programas da qualidade e resultados percebidos com aplicação do PE e TE.

Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa vinculado à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), cujo objetivo é avaliar a difusão e uso do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas em empresas industriais do estado de São Paulo. Os resultados deste trabalho fornecerão, junto aos resultados dos demais setores industriais pesquisados, um panorama sobre o uso do PE e TE, com as principais dificuldades para sua difusão e os resultados percebidos com sua utilização.

1.3 Método de pesquisa

Para atingir os objetivos descritos, o método de pesquisa adotado é a revisão bibliográfica, seguida de uma pesquisa de levantamento (*survey*), para posterior análise dos dados.

A *survey* deste trabalho caracteriza-se como exploratória-descritiva, considerando que, conforme orientações de Forza (2002), pretende-se obter um melhor

entendimento acerca dos questionamentos da pesquisa e descrever como determinado fenômeno ocorre em uma amostra de uma população.

Neste trabalho, a população de interesse consiste nas empresas de bens de capital seriados, de médio e grande porte, situadas no estado de São Paulo, as quais foram levantadas com o auxílio da ABIMAQ (Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos) e também da publicação Melhores e Maiores de 2013 da revista Exame. As empresas amostradas no trabalho foram categorizadas dentro da divisão 28 do CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), a qual é denominada como “Fabricação de Máquinas e Equipamentos” e também do grupo 271 do CNAE 27 (Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos).

Como técnica de pesquisa, adotou-se um questionário estruturado fechado (com opções de respostas e escalas pré-definidas), o qual foi elaborado com base nos questionamentos a serem explorados e nos objetivos a serem atingidos. O questionário foi desenvolvido em formulário eletrônico e distribuído às empresas via e-mail, o qual continha o *link* (endereço eletrônico) para acesso, após contato com os profissionais respondentes (gerente industriais e da qualidade) para explicação da pesquisa em desenvolvimento.

Optou-se por um questionário aplicado de maneira virtual, em virtude da grande quantidade de empresas de bens de capital seriados de médio e grande porte presentes no estado de São Paulo, o que inviabilizaria, tanto em termos financeiros como temporais, a aplicação presencial do questionário por todo o estado. Após elaboração da primeira versão do questionário, realizou-se sua validação por meio da execução do pré-teste, que indicou pequenos ajustes os quais foram realizados, de maneira a tornar o questionário mais claro e objetivo.

Na sequência do trabalho, após a coleta dos dados, foi conduzida uma análise descritiva dos dados, bem como uma análise estatística multivariada que abordou as análises de consistência do questionário, de *cluster* (agrupamento), de associação e de correlação, de maneira a buscar evidências para os questionamentos da pesquisa e relacionamentos entre as variáveis (como a aplicação do PE, o uso de TE e a presença ou ausência de programas da qualidade), a fim de atender aos objetivos do trabalho.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação apresenta sete capítulos, além dos itens pré-textuais e pós-textuais, estes contemplando as referências bibliográficas e os Apêndices.

O primeiro (capítulo 1) introduz o trabalho, apresentando a relevância do tema pesquisado e sua contextualização, as justificativas para o desenvolvimento do trabalho, os questionamentos e objetivos geral e específicos e uma breve descrição do método utilizado.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, passando primeiramente pelo procedimento de revisão realizado sobre o tema abordado, seguido pelos conceitos de Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas e relações com melhorias organizacionais. Apresentam-se também as barreiras enfrentadas e perspectivas para aplicação do PE e TE nas empresas.

No capítulo 3, aborda-se o setor de bens capital, que é o objeto de pesquisa de campo, contemplando sua importância para o desenvolvimento de diversas cadeias produtivas e as características de sua operação. Neste capítulo também são descritas algumas classificações do setor e o seu desempenho econômico nos últimos anos.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa adotado, a justificativa de sua escolha, o instrumento de coleta elaborado para pesquisa de campo, as variáveis da pesquisa, a população de interesse e acessada, a amostra obtida, as análises realizadas para atingir os objetivos do trabalho, bem como os resultados obtidos com a avaliação de consistência do instrumento de pesquisa.

O capítulo 5 descreve a síntese dos dados obtidos com os questionários, seguindo com a análise descritiva univariada dos resultados, por meio de gráficos, tabelas e representações percentuais, assim como as discussões pertinentes.

O capítulo 6 apresenta as análises estatísticas multivariadas dos dados, por meio de análise de *cluster*, análises de associação, de correlação e testes complementares (comparação de médias), bem como as discussões a respeito.

O capítulo 7 contém as considerações finais, as limitações e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho e recomendações para futuras pesquisas.

No Apêndice A está o questionário aplicado, no apêndice B está o protocolo de pesquisa, que consiste na apresentação do trabalho que foi enviada por e-mail aos profissionais respondentes, nos Apêndices C e D estão os escores calculados para análise de cluster, no Apêndice E estão as tabelas utilizadas na análise de associação e no Apêndice F estão os escores calculados para testes complementares e análise de correlação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o procedimento de revisão bibliográfica relacionado às questões de pesquisa sobre o Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas, bem como sobre os conceitos e metodologias relacionadas, descrevendo a importância da aplicação do PE e das TE, os fatores críticos para implantação e uso e as dificuldades encontradas nas organizações para sua maior difusão.

2.1 Procedimento de revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa específica, ou área temática, ou fenômeno de interesse de uma forma que é imparcial (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

Para a condução da revisão bibliográfica deste trabalho, utilizaram-se as recomendações de Biolchini et al. (2007), em que as etapas principais são: planejamento, execução e análise. Brereton et al. (2007) salientam a importância do planejamento, que consiste na elaboração e validação de um protocolo para a realização da pesquisa, para poupar tempo e obter consistência na realização da revisão.

A etapa de planejamento envolve a definição do problema da revisão, a questão que deve ser respondida, as fontes, bases de dados que serão utilizadas, idiomas das publicações e quais palavras-chave são mais adequadas para a busca e critérios de inclusão e exclusão da publicação para a revisão (BIOLCHINI et al., 2007).

O problema inicial que motivou a revisão bibliográfica foi caracterizar e analisar o que é Pensamento Estatístico, quais seus conceitos e resultados para as organizações e quais seus desdobramentos e relação com as Técnicas Estatísticas.

A partir desse problema, tem-se a seguinte pergunta geral da pesquisa: Em que grau as empresas aplicam o Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas (básicas/intermediárias e avançadas), no controle de melhoria dos processos, e quais os resultados percebidos com a aplicação do PE e TE?

As bases utilizadas para análise foram: *Engineering Village*, *Scopus* e *Web of Science*. As bases foram escolhidas devido ao número de revistas que abrangem, as editoras que as publicam e o potencial de conter artigos sobre o tema da pesquisa.

O quadro 2.1 apresenta os resultados retornados pelos termos de busca utilizados. Iniciou-se a pesquisa com o termo de busca relacionando o Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas, porém, poucos resultados foram obtidos. Como pode ser observado no quadro 2.1, os termos de busca sofreram alterações para que um maior número de trabalhos fosse obtido.

Quadro 2.1: Resultados do procedimento de revisão bibliográfica para Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.

Termo de busca	Web of Science Período:1945-2014 Busca: Tópico*	Scopus Período:1960-2014 Busca: Título, resumo e palavras-chave	Engineering Village Período:1969-2014 Busca: Título, resumo e assunto
("statistical thinking" and "statistical techniques")	9 resultados 0 textos salvos	13 resultados 1 texto salvo	0 resultados
("statistical thinking" and "critical success factors")	0 resultados	2 resultados 2 textos salvos	0 resultados
("statistical thinking" and "difficulties" or "implementation")	9 resultados 6 textos salvos	21 resultados 6 textos salvos	8 resultados 2 textos salvos
("statistical techniques" and "implementation difficulties")	3 resultados 0 textos salvos	7 resultados 1 texto salvo	3 resultados 1 texto salvo
("statistical thinking")	223 resultados 142 resultados após refinamento por artigos de revistas e de congressos 57 artigos após refinamento por área (Engineering Industrial; Management; Operational Research Management Science; Engineering Manufacturing; Engineering multidisciplinary; Computer Science; Education Research; Education Scientific Disciplines) 8 textos salvos	267 resultados 226 resultados após refinamento por artigos de revistas e de congressos 100 artigos após refinamento por área (Engineering; Business, Management and Accounting; Decision Science) 12 textos salvos	104 resultados 104 resultados após refinamento por artigos de revistas e de congressos 74 artigos após refinamento por área (Quality Assurance and Control; Management; Industrial Engineering and Management; Education; Industrial Engineering; Production Engineering; Industrial Economics) 10 textos salvos

* Tópico: busca no título dos artigos, resumos, palavras-chave do autor e *keywords plus* (função da base *Web of Science* que busca palavras ou frases extraídas dos títulos dos artigos citados).

Fonte: elaborado pelo autor.

É preciso ressaltar a dificuldade de acesso aos textos completos, visto que diversos artigos não estavam disponíveis nas bases com acesso à realização do *download* do material, como o portal de periódicos da Capes.

Para seleção dos artigos pesquisados, realizou-se o refinamento por artigos de periódicos e de congressos e, na sequência, por área de publicação. Com isso, para a base *Web of Science*, de 78 artigos resultantes após refinamento, 14 textos foram salvos; para a base *Scopus*, de um total de 143 artigos resultantes, 22 textos foram salvos; e para a base *Engineering Village*, de um total de 85 artigos resultantes após refinamento, 13 textos foram salvos.

Na busca mais ampla, que foi realizada pelo termo “*Statistical Thinking*”, os resultados passaram também pelo processo de refinamento, considerando se o artigo é de congresso ou periódico, bem como sua área de publicação. Para a pesquisa deste termo, houve também a leitura de todos os resumos para seleção dos textos para *download*. Tentou-se utilizar o termo geral “*Statistical Techniques*” para a busca, mas o retorno foi de mais de 12000 resultados, inviabilizando a análise. Os resultados do procedimento de revisão bibliográfica, conforme bases pesquisadas, encontram-se na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Resultados do procedimento de revisão bibliográfica conforme bases pesquisadas.

Resultados / Bases Pesquisadas	<i>Web of Science</i>	<i>Scopus</i>	<i>Engineering Village</i>
Total de artigos resultantes após pesquisa por termos pré-definidos (vide quadro 2.1)	244	310	115
Artigos após refinamento por trabalhos de periódicos e congressos e por áreas de publicação	78	143	85
Textos salvos	14	22	13

Fonte: elaborado pelo autor.

Com a realização deste procedimento de revisão e, retirando-se os textos repetidos encontrados nas diferentes bases de pesquisa, foram obtidos 32 textos completos para posterior leitura completa e compilação dos dados, resultando na seleção de 17 artigos a serem utilizados para consulta.

Dentre os motivos para a não utilização dos demais 15 artigos selecionados no procedimento de revisão, destaca-se o fato de que alguns artigos descrevem o uso do Pensamento Estatístico em uma esfera social e sobre os princípios da profissão de estatístico, como em “*Statistics making an impact*”, de John Pulinger (2013); outros discutem o

desenvolvimento de algum método estatístico/matemático, como em “*Statistical Method in Kansei Engineering: a Case of Statistical Engineering*”, de Marco-Almagro e Tort-Martorell (2012); e por fim, outros enfatizam as características e conceitos do programa Seis Sigma que, embora tenham relação com o Pensamento Estatístico, não é o foco deste trabalho, como em “*Six Sigma at a Crossroads*”, de Thong Goh (2012).

Com a leitura destes 17 artigos obtidos em procedimento de revisão, outros artigos e autores foram pesquisados, e, assim, 23 novos artigos foram obtidos por referência cruzada, principalmente com a utilização de outras plataformas de pesquisa, como *Google Scholar* e *Emerald Insight*, bem como por meio do próprio site dos periódicos cujos artigos foram publicados. Com isso, foram utilizados 40 artigos no total para elaboração da revisão sobre PE e TE.

Observando-se os 23 artigos obtidos por referência cruzada, nota-se que os mesmos não possuem, em sua maioria, os mesmos termos descritos em seu resumo e palavras-chave, que os buscados nas bases pesquisadas em procedimento de revisão bibliográfica (vide quadro 2.1). Com a avaliação das palavras-chave desses 23 artigos, observam-se casos em que houve uma generalização na escolha pelos autores, como em Ahmed e Hassan (2003) e outros artigos em que houve a utilização do termo Seis Sigma, como em Montgomery (2010) e em Box e Woodall (2012). Como exemplo, seguem as palavras-chave de alguns artigos obtidos por referência cruzada:

- Ahmed e Hassan (2003): *Quality management, Surveys, Case studies, Small to medium-sized enterprises;*
- Montgomery (2010): *Six Sigma, Process management, Quality management, Lean Production;*
- Box and Woodall (2012): *DFSS, DMAIC, Experimental design, Innovation engineering, Six Sigma.*

Após levantamento e leitura dos artigos identificados, observou-se que o termo Pensamento Estatístico está disperso em artigos de diferentes áreas de conhecimento, como em estudos sociais, estudos estatísticos e matemáticos, em pesquisas sobre o Seis Sigma e também em pesquisas sobre sua relação com a gestão da qualidade, os quais foram foco deste trabalho.

Baseado no procedimento de revisão bibliográfica e na pesquisa por referência cruzada, seguem os artigos utilizados e consultados neste capítulo de revisão, oriundos da pesquisa nas bases de dados e plataformas citadas, e os periódicos em que foram publicados, conforme quadro 2.2.

Quadro 2.2: Artigos e periódicos utilizados na revisão bibliográfica.

Periódico	Tipo*	Artigos
<i>Quality Engineering</i>	Periódico	Goh (2002); Hoerl e Snee (2010a); Mast e Does (2010); Vining (2011); Anderson-Cook et al. (2012); Hare (2012); Box e Woodall (2012)
<i>International Statistical Review</i>	Periódico	Dransfield, Fisher e Vogel (1999); Wild e Pfannkuch (1999); Abraham (2005); Nolan e Lang (2007)
<i>Quality Progress</i>	Periódico	Snee (1998); Bisgaard e De Mast (2006); Hoerl e Snee (2010b)
<i>International Journal of Quality and Reliability Management</i>	Periódico	Ahmed e Hassan (2003); Grigg e Walls (2007); Kumar et al. (2008)
<i>Quality and Reliability Engineering International</i>	Periódico	Kenett, Coleman e Stewardson (2003); Goh (2011)
<i>Managerial Auditing Journal</i>	Periódico	Coleman e Stewardson (2002); Makrymichalos et al. (2005)
<i>The TQM Journal</i>	Periódico	Firka (2011); Coleman (2013)
<i>International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage</i>	Periódico	Snee (2004); Hare (2005);
<i>Journal of the American Statistical Association</i>	Periódico	Snee (1990); Brown e Kass (2009)
<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	Periódico	Montgomery (2010)
<i>Statistical Science</i>	Periódico	Friendly (2008)
<i>Significance</i>	Periódico	Coleman (2008)
Gestão & Produção	Periódico	Santos e Martins (2008)
<i>Quality Management Journal</i>	Periódico	Bjerke e Hersleth (2001)
<i>Essential Reading in Light Metals</i>	Livro (compilação de artigos)	Sinclair e Sadler (2004)
<i>Youden Address – ASQ Statistics Division Newsletter</i>	Revista (newsletter)	Bisgaard (2006)
<i>Technometrics</i>	Periódico	Steinberg (2008)
<i>5th International Quality Conference</i>	Congresso	Milanovic e Stamenkovic (2011)

Continua

Periódico	Tipo*	Artigos
<i>Applied Stochastic Models in Business and Industry</i>	Periódico	Hoerl e Snee (2009)
<i>ORiON</i>	Periódico	Montgomery (2000)
<i>Journal of Materials Processing Technology</i>	Periódico	Ribeiro e Cabral (1999)
<i>IEEE 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management</i>	Congresso	Krishnamoorthi (2010)

*Com base em classificação adotada em Currículo *Lattes* (CNPq).

Fonte: elaborado pelo autor.

A respeito dos principais periódicos consultados, notam-se boas qualificações, segundo classificação Qualis da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), tendo como base sua avaliação conforme enquadramento nas áreas e temas pesquisados neste trabalho. Dessa maneira, periódicos como o *Quality Engineering* está avaliado como B1, o *International Statistical Review* como A2 e o *Journal of the American Statistician Association* como A1.

Utilizou-se também, para avaliação dos periódicos utilizado neste trabalho, o índice JCR – *Journal Citation Reports*, considerando seu fator de impacto, que é calculado pelo total de referências citadas e números de artigos publicados e quanto maior seu valor, melhor sua classificação. Para os periódicos cujos fatores de impacto foram encontrados, destacam-se o *International Statistical Review* com 1,190, o *Journal of the American Statistician Association* com 2,114 e o *Statistical Science* com 1,690.

Com relação aos resultados do procedimento de revisão adotado, verifica-se que diversos trabalhos obtidos contribuíram para a descrição dos conceitos do Pensamento Estatístico e seus desdobramentos nas organizações, como os de Snee (1990), de Makrymichalos et al. (2005) e o de Hoerl e Snee (2012), os quais ressaltam a presença da variabilidade, a necessidade de seu controle e a importância do PE no nível estratégico das organizações e para a melhoria de processos.

Outros trabalhos, como o de Coleman (2013), destacam o PE como um processo de conscientização organizacional, à luz da variação e probabilidade. Já trabalhos como o de Snee (1998) e de Goh (2011) relacionam o PE com a importância de utilização das técnicas estatísticas. Os artigos de Hoerl e Snee (2010b) e Anderson-Cook et al. (2012) ainda tratam do tema Engenharia Estatística e o seu papel de ligação entre o PE e as TE.

O procedimento de revisão ainda permitiu identificar trabalhos que discutem as dificuldades de aplicação do PE nas organizações, como os trabalhos de Ahmed e Hassan (2003), Abrahan (2005) e também o de Makrymichalos et al. (2005). Foi possível observar alternativas propostas por autores para a maior difusão do PE, como nos trabalhos de Montgomery (2000) e de Brown e Kass (2009).

Com isso, para embasar a discussão em torno do Pensamento Estatístico, descrever seus conceitos, ilustrar as dificuldades encontradas para sua difusão e ainda discutir medidas para ampliar sua utilização, foram pesquisadas e utilizadas diversas fontes de pesquisa, o que contribuiu, inclusive, para a elaboração de um questionário de pesquisa alinhado aos objetivos do trabalho.

Por fim, com uma breve análise do procedimento de revisão bibliográfica, notam-se que os temas Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas parecem ser pouco explorados de forma conjunta, visto o pequeno retorno de resultados para o período observado e número de bases analisadas, apesar de que, individualmente, tais temas sejam bem difundidos na esfera acadêmica.

2.2 Origem e evolução da aplicação do Pensamento Estatístico

Embora os conceitos do Pensamento Estatístico ainda não fossem difundidos na primeira metade do século XIX, Friendly (2008) afirma que este período foi uma época de evolução das representações gráficas, na qual houve desenvolvimento de gráficos estatísticos básicos e significativos avanços a respeito da linguagem visual adotada para apresentar dados quantitativos de forma mais compreensível, permitindo a comparação de um conjunto de números com outro através do tempo. Na segunda metade do século XIX, houve uma variedade de evoluções no campo da estatística, da coleta de dados e de novas tecnologias que, combinados, permitiram diversos avanços nos métodos gráficos e estatísticos, de maneira que tal período foi definido pelo autor como “*Golden Age of Statistical Graphs*”.

Friendly (2008) afirma que isso foi possível devido ao reconhecimento da importância da coleta de dados sistemática e pelo surgimento das principais teorias estatísticas e do Pensamento Estatístico, permitindo o desenvolvimento de técnicas e a criação de novos métodos para retratar dados quantitativos, valorizando o papel dos gráficos na ciência e sua incorporação nas publicações de dados estatísticos.

No início do século XX, segundo Montgomery (2010), a ciência, os negócios e a indústria estavam embasados no determinismo, com a crença generalizada de que as leis físicas e os modelos econômicos poderiam traduzir situações reais, podendo prever eventos futuros, de forma precisa, através da coleta suficiente de dados. Com isso, a variabilidade e a visão estatística não eram difundidas e valorizadas, de maneira que uma citação de Ernst Rutherford (ganhador do prêmio Nobel de Física em 1908) evidencia essa descrença, ao relatar que se um experimento precisasse de estatística, o mesmo deveria ser feito.

Entretanto, neste mesmo período, a ciência estava avançando na capacidade de realizar medições com maior precisão, tanto que se descobriu que quanto mais precisa uma medição, um erro maior é observado. Assim, esta variabilidade começou a ser vista como um mal que deveria ser superado de alguma maneira (MONTGOMERY, 2010). Shewart (1986) ainda ressalta que a variabilidade sempre existiu e que, assim, os conceitos e técnicas estatísticas devem ser desenvolvidos considerando sua influência nos processos.

Ainda no início do século XX, na década de 1910, surgiram a produção em massa e os princípios da administração científica, os quais levaram à padronização das tarefas e às técnicas de montagem de componentes, bem como ao sistema de medição de tempos e métodos, aprofundando questões da qualidade no trabalho. Neste contexto, surgiram, no mundo acadêmico, cursos de ferramentas estatísticas, principalmente para engenheiros (MONTGOMERY, 2010).

Com o desenvolvimento dos métodos de produção no início do século XX, o interesse na aplicação de métodos estatísticos também evoluiu, principalmente em virtude do grande aumento da padronização das operações industriais e também em decorrência de uma mudança ideológica, em direção aos conceitos probabilísticos, o que demandou uma menor taxa de rejeição de produtos e menor custo com inspeção (SHEWART, 1986).

Seguindo esta evolução, conforme Coleman (2013), o controle estatístico de processo (CEP) foi originalmente desenvolvido por Walter A. Shewart para processos manufatureiros. Segundo Montgomery (2010), Shewart desenvolveu o conceito de gráficos de controle utilizado no CEP em 1924, os quais são considerados o início formal do controle estatístico da qualidade e, no final da década de 1920, Harold F. Dodge e Harry Romig desenvolveram métodos de amostragem estatística alternativos à inspeção 100%. De acordo com Shewart (1986), tais métodos de amostragem foram um marco no controle estatístico de processo, uma vez que permitiu que engenheiros reduzissem os testes destrutivos que eram realizados na época, mantendo o nível da qualidade dos produtos.

Ainda segundo Montgomery (2010), seguindo a tendência de crescimento na aplicação dos conceitos estatísticos para controle da qualidade, estes passaram a ser adotados na década de 1930 por algumas corporações, apesar de a importância do Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) ainda não ser amplamente reconhecida pela indústria manufatureira. Entretanto, Montgomery (2004) ressalta que, na década seguinte, principalmente durante o período da Segunda Guerra Mundial, observou-se uma grande expansão e aceitação dos conceitos do CEQ na indústria, haja vista também que surgiram importantes organizações em prol da qualidade, como a *The American Society for Quality* (ASQ) e a *International Organization for Standardization* (ISO), ambas criadas em 1946, disseminando o uso de técnicas de melhoria da qualidade para todos os tipos de produtos e serviços.

A partir disso, nos anos 1950 e 1960, houve o surgimento da engenharia de confiabilidade, o lançamento de diversos livros importantes sobre o controle da qualidade (como a primeira edição do livro *Total Quality Control* lançado em 1951 por Armand V. Feigenbaum), bem como o surgimento do ponto de vista de que a qualidade é uma maneira de gerenciar uma organização (MONTGOMERY, 2010). Na década de 1950, segundo Montgomery (2004), também houve uma maior difusão da técnica estatística “projeto de experimento”, chegando à Europa e aos Estados Unidos, sendo suas primeiras aplicações na indústria química, favorecendo que esta fosse reconhecida como uma das mais competitivas do mundo.

Tal técnica passou a ser utilizada pela indústria japonesa na década de 1960, na resolução de problemas, na avaliação de projetos de produto e na melhoria da confiabilidade e desempenho dos produtos, o que despertou na indústria ocidental um profundo interesse e crescimento no uso dos métodos estatísticos. De acordo com Montgomery (2000), na década de 1950, iniciou-se o treinamento sobre qualidade para os gerentes industriais japoneses, ministrado por Deming, e houve a primeira publicação do *Quality Control Handbook* por Juran e Gryna; já na década de 1960, os cursos de controle da qualidade estatísticos se disseminaram em programas acadêmicos de Engenharia Industrial e foram introduzidos no Japão os programas de Círculos de Controle da Qualidade por Ishikawa, com a aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade.

Segundo Montgomery (2010), o comprometimento das indústrias japonesas com o uso dos métodos estatísticos e a valorização da qualidade dos produtos como fator competitivo são os principais fatores que levaram à expansão da economia japonesa nas décadas de 1950 a 1970. O autor também destaca que, desde os anos 1980, tem havido um

extensivo crescimento do uso de métodos estatísticos na busca pela melhoria da qualidade, principalmente nos países desenvolvidos.

Hoerl e Snee (2010a) relatam também que, nas décadas de 1950 a 1970, houve um crescente número de problemas estatísticos não resolvidos, os quais foram solucionados devido às pesquisas acadêmicas dedicadas que propiciaram aplicações práticas, como “metodologia de superfície de resposta” (RSM – *Response Surface Methodology*) e “projetos fatoriais fracionados”. No âmbito da gestão da qualidade, podem-se citar os métodos de Taguchi e os gráficos de controle para dados correlacionados. De acordo com Montgomery (2000), na década de 70, houve um crescente interesse por círculos da qualidade na América do Norte e o surgimento de livros dedicados à técnica DOE (*Design of Experiment*).

Baseado na evolução citada, o surgimento do conceito de Pensamento Estatístico destacou a importância do controle da variabilidade dos processos para a qualidade dos produtos. Segundo Snee (1990), PE significa um processo reflexivo que reconhece que a variação está presente em tudo o que é feito, que todo trabalho é uma série de processos interconectados, e que identificar, caracterizar, quantificar, controlar e reduzir a variação é a chave para a melhoria.

Um marco na difusão do Pensamento Estatístico foi concebido por Samuel S. Wilks em seu discurso dirigido à *American Statistical Association* (ASA) em 1951, ao atribuir ao autor H. G. Wells a afirmação de que o PE seria um dia tão necessário para a cidadania assim como a capacidade de ler e escrever (COLEMAN, 2013).

Segundo Coleman (2013), a inserção da estatística em questões da qualidade ainda ocorre de forma gradual. Como exemplo, pode-se citar a *Industrial Statistics Research Unit* (ISRU), grupo de pesquisa da universidade de NewCastle, criado em 1984, a qual iniciou suas atividades de forma puramente estatística, atacando problemas específicos de químicos, engenheiros e gestores e, progressivamente, vem mudando o foco, migrando de trabalhos puramente técnicos para atividades que envolvam melhorias da qualidade, buscando identificar oportunidades de aplicação do Pensamento Estatístico. De acordo com Montgomery (2000), ainda na década de 1980 surgiram periódicos importantes, como *Quality Engineering e Quality & Reliability Engineering International*, bem como se desenvolveram as atividades de TQM – *Total Quality Management*.

Seguindo esta tendência, Coleman (2013) descreve que os estatísticos passaram a perceber a necessidade de estarem envolvidos com a identificação de problemas, com a sua definição, com a ação a ser tomada, implementação e validação. Coleman (2008) afirma que este movimento foi favorecido pelo surgimento do Programa Seis Sigma, no final dos anos

1980, o qual impulsionou e fortaleceu o Pensamento Estatístico e a busca pela melhoria da qualidade. Montgomery (2000) destaca que, na década 1990, ocorreu, por parte das organizações, uma ampla procura por certificações da qualidade e padronização das atividades, bem como a difusão do programa Seis Sigma por diversas indústrias.

Seguindo o histórico descrito, desde o surgimento de métodos gráficos, passando pela evolução da importância da qualidade e o estímulo ao Pensamento Estatístico, pode-se ilustrar sua evolução conforme figura 2.1.

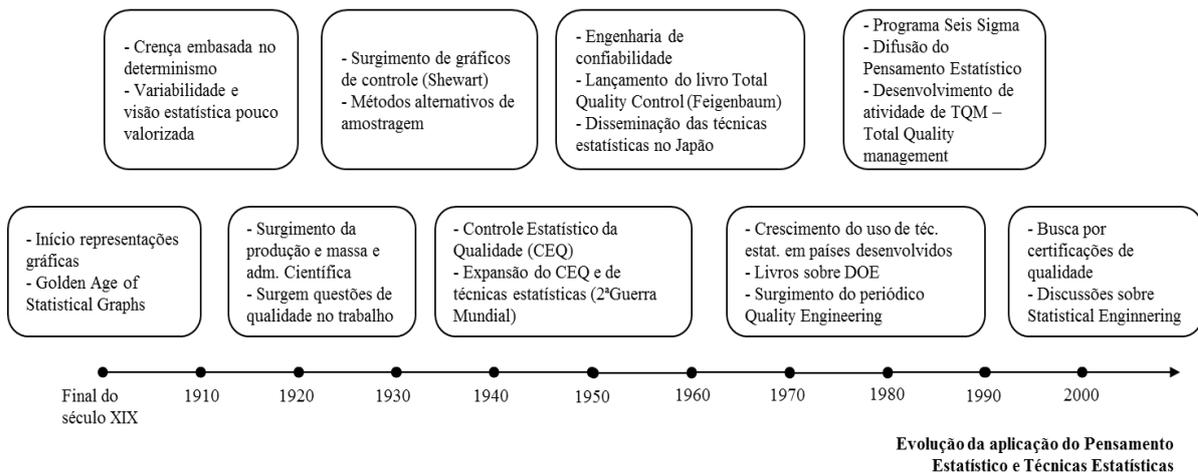


Figura 2.1: Evolução da aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.

Fonte: baseado em Montgomery (2004), Coleman (2008), Friendly (2008), Montgomery (2010) e Coleman (2013).

O Pensamento Estatístico evoluiu como uma forma de pensar, a qual, segundo Makrymichalos et al. (2005), ao ser utilizada em favor da melhoria da qualidade, pode ser um diferencial que contribui para a efetividade máxima do gerenciamento. Conforme Snee (1990), o amplo uso do Pensamento Estatístico é essencial para uma busca bem-sucedida da Qualidade Total.

Conforme descrevem Hoerl e Snee (2010a), o uso da estatística vem crescendo principalmente como uma função dentro da área da qualidade, ganhando importância como uma disciplina da engenharia. Entretanto, segundo estes autores, na década de 1990, e também no início do século XXI, existe uma lacuna entre os novos desenvolvimentos teóricos e a estatística na prática, particularmente em métodos da qualidade. Nesse cenário, de acordo com Hare (2012), o conceito de Engenharia Estatística (EE) ganha destaque, visto que tem o objetivo de encontrar a melhor maneira de alocar os recursos estatísticos, expandindo sua esfera de atuação prática.

Coleman (2013) afirma que os profissionais ligados à área da qualidade devem compreender a evolução do Pensamento Estatístico, a qual atualmente conta com uma

explosão de dados por toda parte, além de considerar as várias disciplinas para análise de informações e de negócios. Dessa maneira, o desenvolvimento da qualidade deve passar pelo PE, de maneira a fazer um melhor uso dos dados, realizando mais intervenções nos processos com maior racionalidade.

2.3 Pensamento Estatístico, Engenharia Estatística e Técnicas Estatísticas

O Pensamento Estatístico é uma forma de pensar que reconhece todo trabalho como uma série de processos conectados, os quais devem ter suas variações identificadas, quantificadas e reduzidas como forma de fornecer oportunidades de melhoria (SNEE, 1990). Makrymichalos et al. (2005) e Hoerl e Snee (2012) definem PE como uma filosofia de aprendizado e ação baseada nos seguintes princípios:

- Todo trabalho ocorre em um sistema constituído de processos interconectados: um processo tem uma ou mais atividades conectadas, nos quais “entradas” são transformadas em “resultados” com propósito específico, sendo que as empresas são constituídas por uma coleção de processos interconectados que fornecem um bem ou serviço para um cliente, usuário ou consumidor;
- A variação existe em todos os processos: a variação existe em tudo que fazemos e em todos os sistemas que criamos, sendo entendida, por exemplo, como a diferença entre dois itens ou unidades produzidas por um mesmo processo e com as mesmas especificações;
- Entender e reduzir a variação são elementos-chave para se alcançar o sucesso: identificar, caracterizar, quantificar, controlar e reduzir variações fornecem oportunidades de melhoria e a consequente possibilidade de maior satisfação dos funcionários, clientes, acionistas e da comunidade afetada direta ou indiretamente pelo processo.

Coleman (2013) afirma que o Pensamento Estatístico se refere a um processo de conscientização, no qual se analisam situações à luz da variação e probabilidade, fazendo uso das técnicas estatísticas fundamentais. O PE significa a compreensão de que a variabilidade está presente em todos os processos e precisa ser controlada, a adoção de uma visão que refuta o determinismo e valoriza o comportamento aleatório e a variabilidade natural.

Segundo Snee (1998), o foco do Pensamento Estatístico é obter um melhor gerenciamento da organização e produzir melhores resultados no negócio, já as Técnicas Estatísticas são utilizadas na realização de análises de processo e produto. Goh (2011) afirma

que, com o PE, a qualidade passa a ser vista em termos do desempenho dos processos, com o reconhecimento de que um processo operacional está, inevitavelmente, sujeito à variabilidade e de que as ferramentas baseadas na coleta de dados são fundamentais para compreender e lidar com esta variabilidade. Krishnamoorthi (2010) cita que o Pensamento Estatístico fornece métodos que mensuram a variabilidade e técnicas que revelam a relação entre os parâmetros do produto com seu desempenho, bem como entre os parâmetros do processo com a qualidade do produto.

Considerando a importância de se entender a variação para se obter ganhos nos processos, nota-se a necessidade de identificar quais são as origens dessas variações, as quais podem ocorrer desde o início de um processo (*inputs*) até seu resultado (*outputs*). Nesse sentido, Britz et al. (2000) afirmam que as fontes dessa variação são:

- Pessoas: por meio de diferentes maneiras de fazer as coisas, diferentes estilos de aprendizagem, diferentes talentos e habilidades;
- Máquinas: por meio de equipamentos inconsistentes ou de características das várias partes de um equipamento, cujo desempenho não é uniforme (apesar de se esperar que fosse);
- Material: devido à diversidade de fornecedores que supostamente oferecem as mesmas entradas, ou mesmo da variação entre diferentes lotes de um mesmo fornecedor;
- Método: através de procedimentos mal elaborados ou inapropriados ao controle das fontes de variação, ou de diferenças entre pessoas, no grau de compreensão e de aplicação dos métodos e procedimentos associados;
- Medições: inabilidade ou outras deficiências dos sistemas de medição para medir exata e precisamente as diversas saídas dos processos, bem como suas variáveis;
- Ambiente: mudanças ou condições inadequadas tanto do ambiente físico como do ambiente de trabalho.

Quando se analisam essas fontes de variação dentro de um processo produtivo inserido em um sistema clássico, com suas entradas e saídas bem definidas, conclui-se que essas podem ocorrer em diferentes pontos do processo, como evidenciado na figura 2.2.

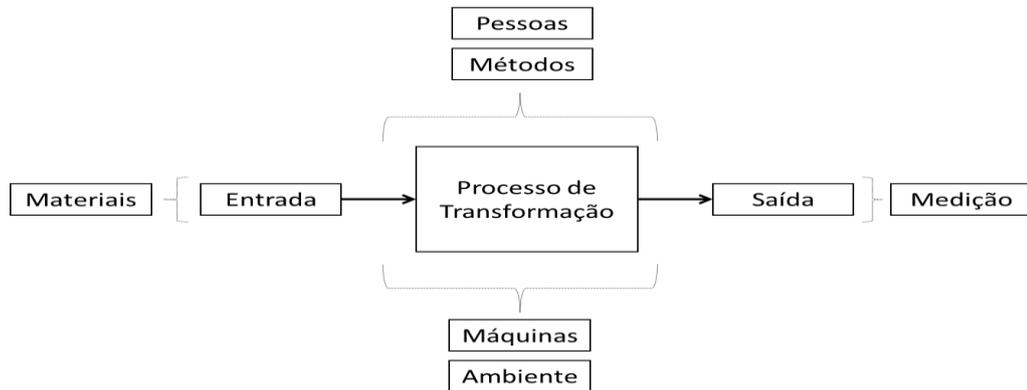


Figura 2.2: As fontes de variação em um processo de produção clássico.
 Fonte: adaptado de Britz et al. (2000).

O entendimento e a redução do efeito dessas fontes de variação sobre os resultados dos processos podem ser conseguidos com a aplicação de métodos e Técnicas Estatísticas em atividades de planejamento, controle e melhoria da qualidade. Esses métodos e técnicas podem ser organizados em três áreas de aplicação (EVANS; LINDSAY, 2005):

- Estatística Descritiva: métodos e técnicas para a coleta eficiente de conjuntos de dados e sua adequada organização e descrição;
- Inferência Estatística: processo de desenhar conclusões sobre características desconhecidas de uma população a partir da identificação e caracterização de determinados tipos de dados; e
- Estatística Preditiva: métodos e técnicas para desenhar ou predizer cenários futuros com base em séries históricas de dados.

Conceitualmente, neste trabalho, um método consiste em uma sucessão de etapas (um processo) que devem ser seguidas para se alcançar um determinado objetivo, e que uma técnica representa um procedimento específico a ser efetuado para atingir um resultado. Assim, um método estatístico pode ser composto de diversas técnicas estatísticas que serão utilizadas para atingir um objetivo específico.

Nesse sentido, conforme afirmam Makrymichalos et al. (2005), é fundamental que os gestores organizacionais estejam mais preocupados em descobrir os fatores que geram a variabilidade, pois esta afeta as medidas de desempenho. Para isso, o Pensamento Estatístico é fundamental, visto que fornece uma estrutura para entendimento das importantes fontes de variação nos processos, ao criar o cenário para a aplicação de técnicas apropriadas para coleta e análise de dados, o que, conseqüentemente, resulta em ações de melhoria dos processos (SINCLAIR; SADLER, 2004).

Com isso, nota-se a importância do Pensamento Estatístico, o qual, segundo Hoerl e Snee (2012), ao ser difundido em nível estratégico na organização, gera um maior impacto e racionalidade às ações do que simplesmente a utilização de Técnicas Estatísticas.

Neste processo de busca da redução da variação dos processos, o PE possui um papel fundamental, visto que incentiva, a partir do nível gerencial da organização, a difusão e utilização de ferramentas e conceitos estatísticos através dos níveis táticos e operacionais (SNEE, 1990; HOERL; SNEE, 2012). Tal relação é expressa na figura 2.3.

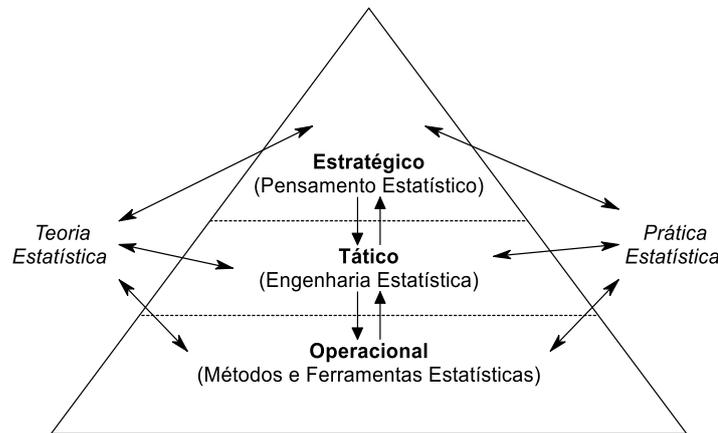


Figura 2.3: O Pensamento Estatístico no nível estratégico de uma organização.
Fonte: Hoerl e Snee (2012).

A partir da tradução das diretrizes estratégicas pela Engenharia Estatística (EE) pelo nível tático, a qual, segundo Hoerl e Snee (2010b), consiste no estudo de como utilizar os conceitos estatísticos e transmitir o PE em técnicas aderentes aos objetivos de melhoria de desempenho, pode-se planejar quais as técnicas mais bem adaptadas a cada situação operacional. Hoerl e Snee (2010b) destacam, ainda, a função da Engenharia Estatística, que tem o papel de ligação entre o PE e a aplicação das TE, e o potencial de expandir o impacto da abordagem de melhoria baseada em processos, variação e dados.

Abraham (2005) cita as principais atribuições de cada nível da organização, bem como vislumbra a Estatística tendo um papel cada vez mais importante em todos estes níveis, conforme a seguir:

- Em nível estratégico, a grande ênfase deve ser no Pensamento Estatístico, contemplando a visão de processos, a tomada de decisões baseada em dados, o entendimento da variação e a interpretação sistemática das situações;
- Em nível tático ou gerencial, ocorre o planejamento para implantação das diretrizes estratégicas, tendo como responsabilidades o desenvolvimento de processos e produtos robustos, de melhorias e controles de ações para capacitação e treinamento, bem como a compreensão do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas. Hoerl e Snee (2010b) ressaltam a importância da Engenharia Estatística neste nível tático de uma empresa;

- Em nível operacional, a compreensão das Técnicas Estatísticas, como gráficos de controle, análise de capacidade, projeto de experimento, sistema de análise de medição e análise de regressão, deve estar devidamente difundida pelos colaboradores, bem como a sabedoria em sua aplicação, principalmente para aqueles responsáveis por monitorar a estabilidade dos processos.

Nesse sentido, Dransfield, Fisher e Vogel (1999) ressaltam os principais papéis dos profissionais utilizando a classificação em zonas estratégica, tática e operacional. Na zona estratégica (ou membro de conselho), a compreensão estatística dos profissionais deve, no mínimo, permitir a interpretação de gráficos de controle, gráficos de dispersão, familiaridade com diagrama de Pareto e com indicadores de tendência (*lead indicators*) e indicadores de resultado (*lag indicators*), além de uma apreciação por análises sistemáticas e processuais. Na zona tática, os gestores devem ter um bom entendimento de distribuições, de histogramas, de diagrama de caixa (*box plot*), bem como possuir habilidade para interpretar gráficos complexos e compreender a utilidade de projetos de experimento na melhoria dos processos. Já na zona operacional devem ser aplicados métodos e técnicas para controle e melhoria, como projetos de experimento, gráficos de controle processual, análises de regressão e correlação. Nessa zona, é importante que os gestores ensinem e estimulem outros profissionais a conduzirem experimentos, de maneira a difundir conceitos de melhoria e a importância da agregação de valor ao consumidor final.

Dessa maneira, pode-se expressar a estrutura do Pensamento Estatístico através dos níveis organizacionais, baseado em Britz et al. (2000), seguindo até as Técnicas Estatísticas, conforme figura 2.4.

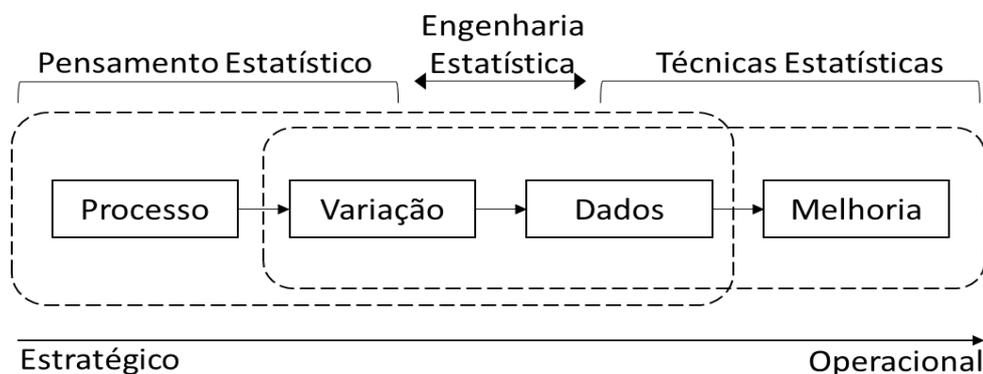


Figura 2.4: O Pensamento Estatístico através do nível estratégico ao operacional.
Fonte: adaptado de Britz et al. (2000).

É importante destacar o papel fundamental da ligação entre o Pensamento Estatístico e as Técnicas, denominado de Engenharia Estatística, a qual, segundo Hare (2012),

permite que os estatísticos, juntamente com cientistas e engenheiros, produzam resultados que nenhum desses profissionais geraria isoladamente ou sem o uso do pensamento, das técnicas e dos métodos estatísticos.

Hoerl e Snee (2010b) ressaltam que a Engenharia Estatística é a melhor maneira de se utilizar os princípios estatísticos e suas técnicas para solucionar problemas de alto impacto em benefício da humanidade. Estes autores também descrevem que a EE representa a ligação tática que estava ausente, a qual permite a adequada aplicação das Técnicas Estatísticas baseada em um sólido conhecimento dos princípios do Pensamento Estatístico. Em outras palavras, como descrevem Anderson-Cook et al. (2012), a partir de declaração de Peter A. Parker (Nasa), a EE permite a transformação do que precisa ser feito no nível estratégico em como deve ser feito no nível operacional, assegurando a coesão e a eficácia na execução de um projeto.

Existem outras definições acerca do termo Engenharia Estatística, visto que este é um tema recente dentro do Pensamento Estatístico, conforme pode ser observado nas percepções de distintos autores descritas em Anderson-Cook et al. (2012), dentre as quais podem ser citadas definições apresentadas por MacKay e Steiner, por Jones e por Clark:

- Engenharia Estatística é a aplicação e o estudo da ligação tática entre os princípios do Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas. O objetivo da EE é assegurar a eficiente e efetiva aplicação das técnicas e métodos estatísticos em processos de melhoria (R. Jock MacKay e Stefan H. Steiner – *University of Waterloo*);
- Engenharia Estatística é a aplicação prática dos princípios e técnicas estatísticas para desempenhar tarefas que beneficiem a sociedade (Bradley Jones – *Statistical Analysis System Institute*);
- Engenharia Estatística é o estudo de como melhor utilizar os conceitos, métodos e técnicas estatísticas juntamente com outras importantes ferramentas a fim de gerar melhores resultados a respeito da redução da variação e outros objetivos (Gordon Clark – *Ohio State University*).

Esta última definição apresentada por Gordon Clark segue a mesma linha da apresentada por Douglas Montgomery - *Arizona State University*, também exposta no trabalho de Anderson-Cook et al. (2012), tendo em vista que Montgomery ressalta a importância de a Engenharia Estatística incorporar técnicas de outros campos de estudo dependendo do problema específico envolvido, como exemplo, citam-se técnicas de análise de riscos para a análise de problemas financeiros. A esse respeito, Anderson-Cook et al. (2012) indicam que Jones aponta que a introdução e o conhecimento de técnicas não estritamente estatísticas, como QFD – *Quality Function Deployment* e FMEA – *Failure Mode*

and *Effect Analysis*, são tão necessárias quanto o conhecimento de projetos de experimento (DOE).

Ainda segundo Anderson-Cook et al. (2012), conforme exposição de Gordon Clark, vale destacar a utilização da EE em um projeto de melhoria, no qual os resultados gerados pelas técnicas no nível operacional são avaliados pela própria Engenharia Estatística (nível tático), podendo levar ao alcance do objetivo ou gerar novas instruções para análises (figura 2.5).

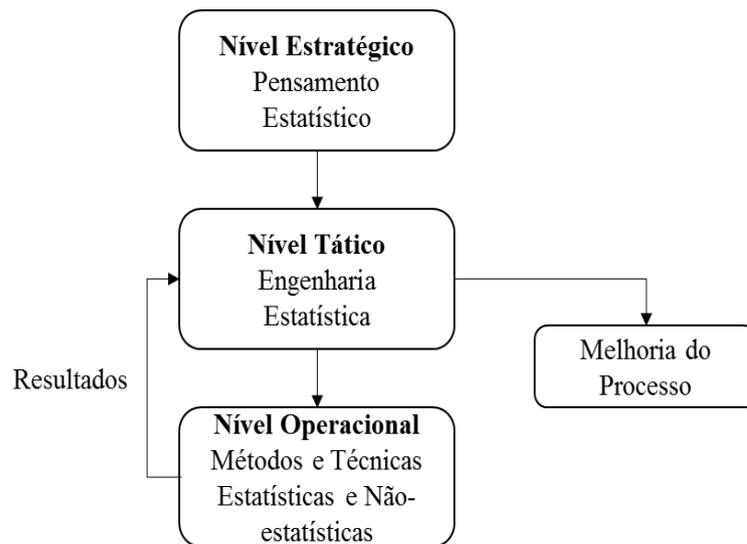


Figura 2.5: Uso da Engenharia Estatística relacionada às Técnicas Estatísticas.
Fonte: baseado em Anderson-Cook et al. (2012).

Com o desenvolvimento desta nova linha de estudo, na qual o foco é a EE, segundo Anderson-Cook et al. (2012), criam-se novas perspectivas para o crescimento da importância do uso dos conceitos estatísticos, de maneira a trazer benefícios como a geração de melhores soluções para problemas complexos do trabalho e a redução no número de rodadas de análise de um problema, o que conduz a ganhos financeiros nas corporações.

Nesse sentido, as Técnicas Estatísticas, que podem ser consideradas ferramentas úteis para a descoberta de padrões em cenários nos quais os fenômenos são baseados em dados, podem ser usadas em análise de processos industriais para atacar os problemas da qualidade e produtividade. Indo além, as técnicas só são efetivas se forem aplicadas de acordo com as diretrizes estratégicas e táticas (VINING, 2011). Segundo Ribeiro e Cabral (1999), para o sucesso na aplicação das TE, as variáveis que influenciam o processo analisado devem ser precisamente definidas, podendo utilizar para esta definição o diagrama de Ishikawa (análise de causa e efeito).

Dentre as Técnicas Estatísticas, Grigg e Walls (2007) classificam-nas em básicas e avançadas, sendo as primeiras amplamente utilizadas em monitoramento e melhoria

dos processos, com técnicas visuais básicas e gráficos de barra e de dispersão, sem requererem elevada maturidade ou compreensão estatística. Já as técnicas avançadas incluem procedimentos gráficos mais complexos, como projetos de experimento (DOE), estudos de capacidade e ANOVA (*Analysis of Variance*).

Conforme Santos e Martins (2008), o Pensamento Estatístico fornece uma abordagem mais holística para a melhoria, a qual é complementada pelos métodos estatísticos que são pautados no uso de dados e na análise das fontes de variação existentes em processos, produtos e serviços.

A respeito da importância do uso de dados, Coleman e Stewardson (2002) reforçam que são a base para a melhoria da qualidade, uma vez que eles fornecem evidências que facilitam o controle e a redução da variabilidade. Entretanto, para que os dados resultem em informações confiáveis, sua coleta, assim como sua análise e apresentação, devem seguir um planejamento e execução fundamentados estatisticamente (GRIGG; WALLS, 2007). Deming (1986) destaca que a utilização das técnicas estatísticas deve enfatizar a redução da variação dos processos, visto que, à medida que esta variação é reduzida, os benefícios se manifestam, como redução das não-conformidades, dos desperdícios e dos custos da não-qualidade.

Hare (2005) ressalta que o entendimento do processo é elemento chave para possibilitar a redução da variação e que, a partir disso, o foco na variação leva ao estabelecimento de um sistema de medição e monitoramento, o qual, com os subsequentes esforços na coleta de dados, resulta em melhorias de desempenho.

Para Alves (2003), o monitoramento das características da qualidade de um processo de produção está atrelado ao uso das Técnicas Estatísticas para a detecção, identificação e análise das causas responsáveis por variações que afetam o comportamento do processo. Ainda segundo o autor, uma das técnicas de destaque para este monitoramento é o CEP – Controle Estatístico de Processo, por meio de gráficos de controle.

A utilização das Técnicas Estatísticas e a difusão do Pensamento Estatístico em uma organização fornecem as condições para que programas da qualidade, como o Seis Sigma, sejam desenvolvidos de forma bem-sucedida em uma empresa (MAKRYMICHALOS et al., 2005). De acordo com Kumar et al. (2008), o PE pode ser utilizado para criar uma cultura que deve ser enraizada em todo profissional de uma organização que esteja se preparando para o Seis Sigma.

2.3.1 Pensamento Estatístico, Programa Seis Sigma e métodos para melhoria de processos

Baseado em Hoerl e Snee (2010a), é fundamental um método de solução de problemas e melhoria de processos para aproveitar as oportunidades de melhoria de uma forma bem-sucedida, o qual deve ser aplicado em uma ampla variedade de situações, de forma simples e com técnicas relacionadas de maneira sequencial. Para aplicação efetiva do PE e implantação de programas da qualidade, como o Seis Sigma, deve haver etapas a serem seguidas para que haja um progresso sustentável até a obtenção dos resultados.

Segundo Goh (2011), o segredo do sucesso do programa Seis Sigma não está ligado às Técnicas Estatísticas por si só, mas sim à difusão do Pensamento Estatístico por todos os departamentos de uma organização. Tal afirmação está relacionada à definição mais ampla do Seis Sigma elaborada por Santos (2006, p.26), a qual descreve que o “Seis Sigma é uma abordagem que estimula a melhoria no desempenho do negócio e na satisfação do cliente por meio de uma estratégia de gerenciamento, da aplicação do Pensamento Estatístico em todos os níveis de atividades e da utilização de indicadores de desempenho e de técnicas variadas para se avaliar e otimizar processos”.

Santos (2006) cita que a abordagem estatística do Seis Sigma está alicerçada no Pensamento Estatístico, destacando o foco em processos, o entendimento da variação e o uso de dados para planejamento de ações como componentes fundamentais para o gerenciamento dos processos.

Nesse sentido, nota-se uma estreita relação entre o Pensamento Estatístico e o programa da qualidade Seis Sigma, visto que as definições do primeiro, apresentadas neste tópico do trabalho, destacam a importância da compreensão da variação como condicionante de melhoria dos processos. Essa é uma questão fundamental ao Seis Sigma, o qual, segundo Snee (2004), é um programa orientado para ação e melhoria de processos que impactam consumidores finais, buscando reduzir os defeitos por meio da redução da variação.

Esta relação entre o Pensamento Estatístico e o Seis Sigma também é endossada por Goh (2002), que enfatiza a necessidade de projetos Seis Sigma para atacar problemas interfuncionais e multidisciplinares, gerando e enriquecendo ideias e técnicas com subsídios do PE. Assim, pode-se relacionar os princípios deste com as Técnicas Estatísticas aplicadas pelo referido programa da qualidade, conforme quadro 2.3.

Quadro 2.3: Relação entre os princípios do Pensamento Estatístico e os Métodos e Técnicas utilizadas pelo Programa Seis Sigma.

Princípios do Pensamento Estatístico	Métodos e Técnicas do Seis Sigma
Todo trabalho ocorre em um sistema de processos conectados	Mapeamento de processo, SIPOC, mapeamento da cadeia de valor, análise de causa e efeito, QFD (<i>Quality Function Deployment</i>), FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>).
Variação existe em todos os processos	Histograma, gráficos de controle, gráficos multivariados, <i>run chart</i> (gráfico pelo tempo), <i>box plot</i> (diagrama de caixa), análise de capacidade do processo, sistema de medição de análise.
Compreender e reduzir a variação são a chave para o sucesso	Teste de hipótese, análise de correlação, análise de Pareto, ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>), gráficos de controle, análise de regressão, DOE (<i>Design Of Experiment</i>), SPC (<i>Statistical Process Control</i>), Métodos Taguchi (Projeto Robusto).

Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Makrymichalos et al. (2005).

A respeito de técnicas aplicadas em programa da qualidade, Ahmed e Hassan (2003), em pesquisa conduzida com empresas manufatureiras localizadas na Malásia, com o objetivo de avaliar a aplicação de técnicas na gestão da qualidade, destacam algumas áreas de aplicação das Técnicas Estatísticas:

- Desenvolvimento de novos produtos: *Design of Experiment* (DOE) e diagrama de causa e efeito;
- Durante o processo produtivo: gráfico de Pareto, gráficos de controle e índice de capacidade do processo;
- Avaliação do processo e do produto: histograma, gráficos de dispersão e gráfico de barras.

O extenso uso de Técnicas Estatísticas, valorizadas tanto pelo Pensamento Estatístico como no programa Seis Sigma, está vinculado à metodologia para análise de problemas. No caso do Seis Sigma, tal metodologia é conhecida pelo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), que, segundo Vining (2011), consiste em um ciclo de melhoria que integra técnicas simples e complexas com o objetivo de resolver problemas da qualidade e produtividade. No caso do Pensamento Estatístico, a metodologia descrita é a PPDAC (*Problem, Plan, Data, Analysis, Conclusions*), a qual, segundo Wild e Pfannkuch (1999), representa uma forma de integrar elementos estatísticos a um processo de resolução de problemas.

Segundo Wild e Pfannkuch (1999), o ciclo PPDAC representa o ciclo investigativo (definido pelos autores como Dimensão 1), pertencente a um processo mais abrangente de utilizar o Pensamento Estatístico em um processo de resolução de problemas, o qual seria composto também pelo Tipo de Pensamento (Dimensão 2), pelo Ciclo Interrogativo

(Dimensão 3) e, por fim, pelas Disposições (Dimensão 4). Entretanto, como as dimensões 3 e 4 representam, respectivamente, fundamentos genéricos científicos e características comportamentais, não diretamente ligadas à definição de Pensamento Estatístico, este trabalho se limita à discussão das duas primeiras dimensões para embasar o processo de análise e solução de problemas contextualizado pelo PE.

O Ciclo Investigativo (Dimensão 1) representado pelo ciclo PPDAC (figura 2.6) está voltado à compreensão do problema por meio da análise dos dados. A etapa *Problem* consiste no aprendizado da dinâmica do processo e na definição do problema; a etapa *Plan* representa o planejamento do sistema de medição, o projeto de amostragem, a gestão dos dados e planos de experimentação e análise; a etapa *Data* denota a coleta dos dados, sua tabulação e saneamento; a etapa *Analysis* retrata a exploração dos dados, as análises planejadas e não planejadas, a aplicação de técnicas e também a geração de hipóteses; e, por fim, a etapa *Conclusions* consiste na interpretação das análises, gerando conclusões e ideias sobre a situação analisada (WILD; PFANNKUCH, 1999).

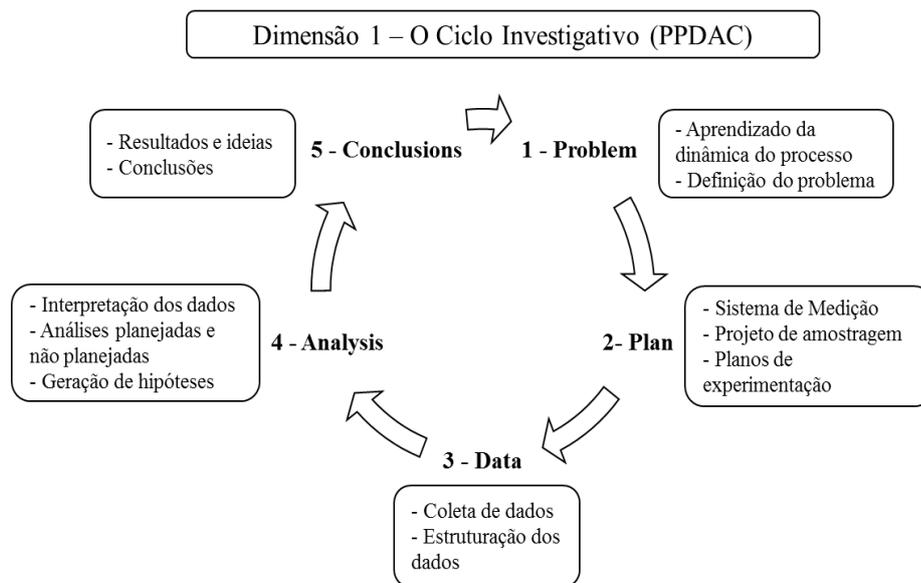


Figura 2.6: Ciclo investigativo (PPDAC) utilizado para compreensão de problemas por meio de análise de dados. Fonte: adaptado de Wild e Pfannkuch (1999).

O Tipo de Pensamento (Dimensão 2) consiste na definição das formas de pensar e compreender um problema inserido em um contexto estatístico, as quais são, conforme Wild e Pfannkuch (1999):

- Reconhecimento da necessidade de dados: a importância de dados para realizar análises estatísticas, reconhecendo que somente a observação de evidências é insuficiente para geração de resultados;

- Transnumeração: representa a mudança de representação dos dados em busca de uma melhor compreensão dos mesmos, ocorrendo quando se encontram maneiras distintas de obtenção de dados significativos de um sistema real. A transnumeração permeia toda análise estatística, pois ocorre todo momento em que se muda a maneira de se analisar os dados;
- Variação: refere-se à maneira de pensar inerente à estatística, na qual toda decisão é tomada com um certo grau de incerteza, em decorrência da onipresente variação;
- Conjunto de modelos: refere-se à construção de modelos para representar situações reais e buscar prever o comportamento de variáveis, auxiliando na compreensão dos processos e em suas análises. Deve-se ter consciência de que a construção de modelos sempre envolve o descarte de algum tipo de informação, de forma a prevenir que esta perda não comprometa ou invalide os resultados;
- Relação entre conhecimento estatístico e o contexto: refere-se à importância de se pensar estatisticamente, havendo uma compreensão do contexto, considerando a necessidade de se fazer conexões entre o cenário ao redor e os princípios estatísticos. Dessa maneira, os estágios iniciais de um processo de resolução de problema são direcionados quase inteiramente pelo conhecimento do contexto, aumentando gradativamente a utilização de conhecimento estatístico através das etapas do PPDAC.

Ainda segundo Wild e Pfannkuch (1999), em um processo de análise de problemas na abordagem estatística, devem ser consideradas as restrições relacionadas, como conhecimento técnico da equipe envolvida e restrições de tempo, capital e material para realizar a coleta da amostra, o que pode limitar a obtenção de dados para análises. Os autores destacam que a abordagem estatística torna o processo de mapeamento de processo mais eficiente, visto que cria arquétipos dos problemas e os vincula a modelos e técnicas para solução, as quais, para serem utilizadas, devem ter sua aplicabilidade conhecida.

Hoerl e Snee (2012) expressam uma estratégia de melhoria de processos baseada no Pensamento Estatístico que merece destaque, sendo mais abrangente que a PPDAC, pois esta se limita à análise estatística dos dados de uma determinada situação. Entretanto, os autores também destacam o papel das Técnicas Estatísticas, expressando a relação de algumas delas dentro dos passos de sua estratégia, conforme figura 2.7.

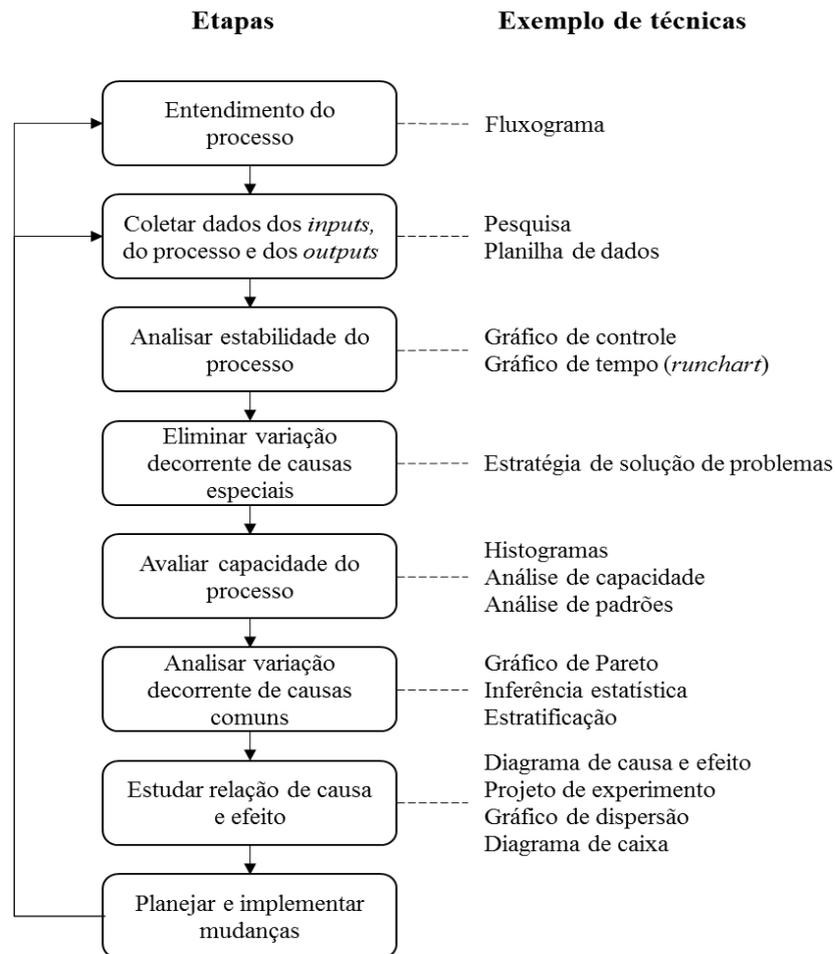


Figura 2.7: Estratégia de melhoria de processos baseada no Pensamento Estatístico.
Fonte: adaptado de Hoerl e Snee (2012).

Nota-se que a identificação das causas de variação nos processos, seja ela comum ou especial, consiste em etapas importantes da estratégia de melhoria de processos baseada em Pensamento Estatístico, proposta por Hoerl e Snee (2012). De acordo com Britz et al. (2000), a variação pode ser oriunda de causa-comum e/ou causa-especial, sendo a primeira caracterizada por flutuações normais no comportamento de um processo, exercendo um menor impacto nas características padrões e valores esperados, e a segunda caracterizada por oscilações temporárias provocadas por algum agente externo ao processo, exercendo um maior impacto nos valores padrões esperados.

Anderson-Cook et al. (2012) destacam que a eliminação dessas causas de variação é fundamental em uma estratégia de melhoria de processos baseada em Pensamento Estatístico, principalmente quando são causas-especiais, considerando que estas ocorrem em circunstâncias isoladas e, normalmente, requerem menos esforços para seu controle e redução do que as causas-comuns, as quais estão sempre presentes.

Dessa maneira, retornando à definição do Pensamento Estatístico e todas as questões envolvidas citadas, nota-se a integração de temas como processo, variação, análise de dados, compreensão do contexto, tomada de decisão e ação, resultando na melhoria da qualidade e satisfação do cliente, o que permitiu desenvolver um diagrama (figura 2.8) relacionando os conceitos e métodos de análise e solução de problemas, bem como os de melhoria de processos baseado no PE, propostos por Snee (1990), Wild e Pfannkuch (1999), Makrymichalos et al. (2005) e Hoerl e Snee (2012).

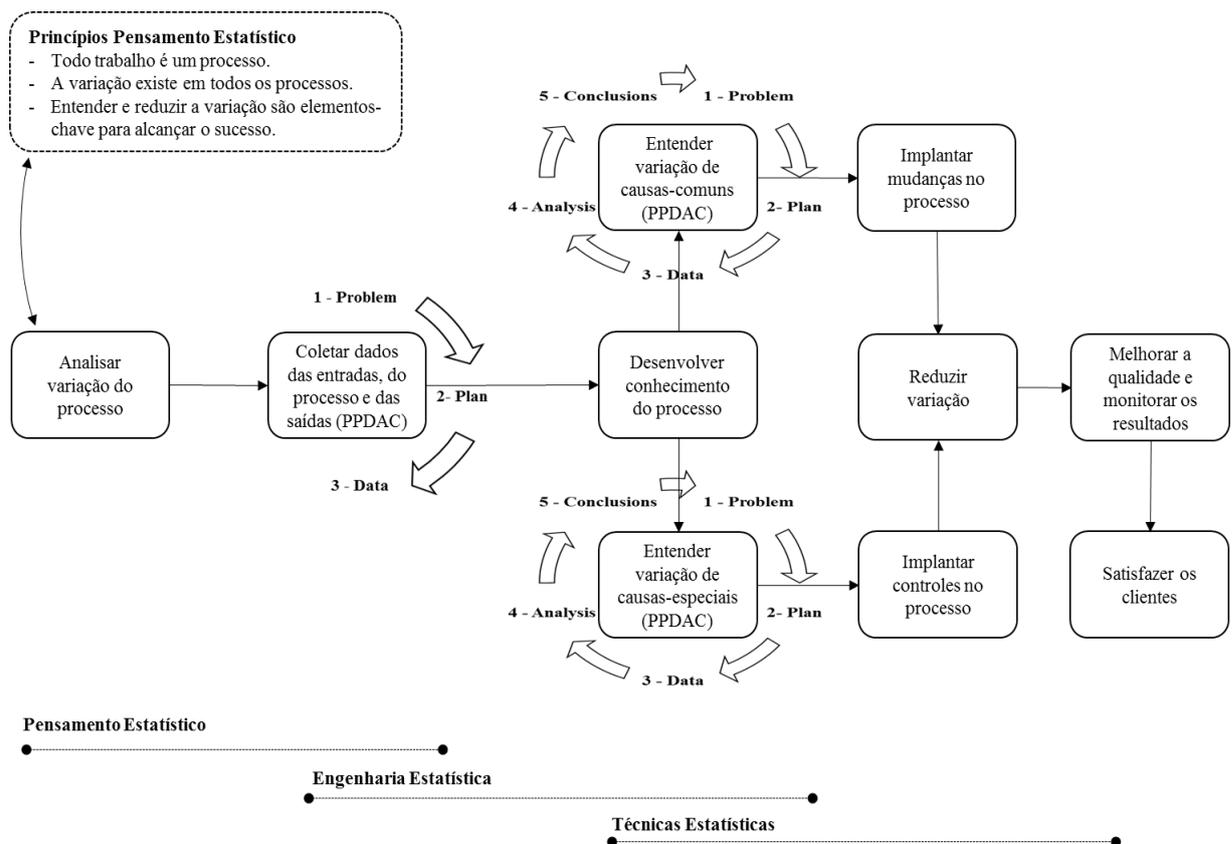


Figura 2.8: Estratégia integrada de melhoria de processos e solução de problemas baseada no Pensamento Estatístico.

Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Snee (1990), Wild e Pfannkuch (1999), Makrymichalos et al. (2005) e Hoerl e Snee (2012).

A estratégia integrada de melhoria de processos e solução de problemas, demonstrada na figura 2.8, destaca a utilização do ciclo PPDAC em três fases distintas. Na primeira delas, o ciclo segue até a etapa de coleta de dados (*Problem – Plan – Data*), tendo em vista que tem o objetivo de identificar o problema e a variação e obter os dados necessários para futuras análises. Nas outras duas fases o ciclo PPDAC encontra-se completo, visto que predomina a necessidade de um entendimento profundo de um problema e o desenvolvimento de um conhecimento detalhado do processo e de suas variações, o que é

obtido com a análise criteriosa de dados, permitindo implantar mudanças e controles nos processos, melhorando a qualidade percebida pelo cliente final.

Tal estratégia, demonstrada na figura 2.8, destaca também a importância da abordagem estatística na melhoria de processos, a qual, segundo Shewart (1986), deve especificar uma maneira de observar uma sequência de dados com o objetivo de se identificar causas-especiais de variação, bem como determinar ações corretivas a serem tomadas em caso de desvios às especificações.

A partir do diagrama elaborado, nota-se a importância de se atentar para as causas das variações dos processos. Como pontua Deming (1986), a redução da variação leva à melhoria da qualidade, e também conforme expressa Makrymichalos et al. (2005), a consistência no desempenho pode ser alcançada por uma eliminação sistemática desta variação.

A identificação de qual tipo de causa está provocando a variação no processo é imprescindível para conduzir a uma iniciativa adequada pois, como afirmam Milanovic e Stamenkovic (2011) e Snee (1990), as estratégias de melhoria dos processos diferem conforme a classificação da causa em comum ou especial. Segundo os autores, a abordagem para melhorar um processo estável estatisticamente (existência somente de causas-comuns) é buscar a redução da variação por meio de mudanças no processo; já a abordagem para melhorar um processo instável estatisticamente (existência de causas-comuns e também especiais) é levar à redução da variação através da implantação de controles no processo.

Dessa maneira, tanto em um ambiente no qual se incorram somente causas-comuns, como em outro no qual irrompem causas especiais, uma estratégia de melhoria deve ser traçada e, consoante Vining (2011), para esta ter um sucesso duradouro, deve apresentar uma equipe para gerenciamento das mudanças, uma gestão de projetos apropriada e a utilização de técnicas analíticas adequadas, as quais são frequentemente estatísticas.

Considerando esta estratégia de promover melhorias na qualidade baseada no Pensamento Estatístico, no uso de dados e na aplicação de Técnicas Estatísticas, é importante destacar que mudanças são necessárias e que, assim, existe uma estreita relação com a inovação, a qual, segundo Bisgaard (2006), é um processo de desenvolvimento e comercialização de novos: produtos e serviços, métodos de produção, métodos de transporte, modelos de negócio e formas de organização.

Para Bisgaard e De Mast (2006), a melhoria da qualidade está relacionada com a inovação sistemática de produtos e processos, tendo em vista que envolve incrementar projetos de produto e de processo, mudanças radicais e graduais, e propiciar redução de

custos, o que também é um dos objetivos de um processo inovativo. Nesse sentido, os autores reiteram que o Seis Sigma fornece uma abordagem sistemática para a melhoria e inovação dos produtos e processos e que técnicas como projeto de experimentos são importantes dentro da área de desenvolvimento de produtos.

Bisgaard e De Mast (2006) ressaltam que a inovação, por ser um processo sistemático, envolve uma cuidadosa sequência de passos para ser devidamente atingida. Para isso, segundo Box e Woodall (2012), a metodologia para melhoria de processos DMAIC do Seis Sigma pode também levar a inovações.

Nesse sentido, conclui-se que o Pensamento Estatístico também desempenha um papel importante na inovação, já que a utilização de seus conceitos na prática e de suas técnicas leva à melhoria na qualidade de processos e produtos, além de, conforme Makrymichalos et al. (2005), fornecer as condições propícias aos níveis estratégicos, gerenciais e operacionais para maximização da contribuição de programas como o Seis Sigma.

Com isso, conforme afirmam Anderson-Cook et al. (2012), a estatística não é só um conjunto de técnicas, mas sim, consiste em uma abordagem integrada de resolução de problemas. Segundo Makrymichalos et al. (2005), o Pensamento Estatístico é importante para que os gestores sejam capazes de distinguir as causas-comuns e especiais das variações nos processos, de forma a obter um maior conhecimento dos mesmos, além de propiciar, com base em Milanovic e Stamenkovic (2011), uma melhoria da qualidade de maneira confiável e sustentável.

2.4 Barreiras à implantação e fatores críticos de sucesso

Kenett, Coleman e Stewardson (2003) afirmam que, embora seja importante que as atividades estatísticas sejam realmente implantadas e desenvolvidas de forma que seus benefícios sejam mantidos e reutilizados por diferentes departamentos de uma empresa, ainda há uma tendência de as aplicações estatísticas serem desenvolvidas por equipes técnicas e não por equipes gerenciais. Bjerke e Hersleth (2001) relatam que a estatística vem sendo praticada, na maioria das vezes, ao nível operacional, sendo pouco utilizada nas tomadas de decisão nos níveis gerenciais e estratégicos.

Sinclair e Sadler (2004) relatam que existe um grande esforço para aplicação dos métodos estatísticos com o objetivo de incrementar a qualidade e a produtividade,

entretanto, o retorno deste investimento frequentemente não tem sido percebido pelas empresas, principalmente em decorrência de dois motivos:

- A crença de que a utilização das Técnicas Estatísticas por si só não seria suficiente para entregar as melhorias organizacionais;
- Uma intensa aplicação de treinamentos sobre as Técnicas Estatísticas focados nos níveis operacionais ou técnicos.

No primeiro caso, Sinclair e Sadler (2004) relatam que as TE devem ser utilizadas em situações nas quais há uma relação clara entre a melhoria que será obtida com sua aplicação e a geração de valor ao negócio, o que pode ser visualizado em um cenário no qual o Pensamento Estatístico está difundido. Já o segundo caso ocorre, pois geralmente a gerência corporativa enxerga o seu papel, em um processo de implantação de métodos estatísticos, mais como suporte do que como um envolvimento direto.

Ahmed e Hassan (2003), em estudo realizado em empresas manufatureiras de pequeno e médio porte na Malásia, concluíram que a falta de suporte e envolvimento da alta administração e a ausência de conhecimento estatístico apropriado comprometem a implantação de Técnicas Estatísticas nessas organizações. Os autores ainda afirmam que os engenheiros e gerentes de manufatura necessitam de treinamentos para compreender a importância da abordagem estatística. Grigg e Walls (2007) relatam também a falta de suporte da alta gestão, a ausência de conhecimento estatístico e o sistema inadequado de medição e coleta de dados como fatores que barram a utilização das TE nas empresas.

Coleman (2013) destaca também que existe um problema na liderança organizacional que afeta a aplicação e difusão do Pensamento Estatístico, o qual consiste no fato de os estatísticos encontrarem dificuldades em desenvolver habilidades em gerenciamento, além também de existir uma falta de interesse dos mesmos em desenvolvê-las.

Makrymichalos et al. (2005) endossam que existem diversos fatores que dificultam a aplicação do Pensamento Estatístico de uma forma integrada com processos de negócio da organização, além de expressar iniciativas para reverter tais situações, conforme segue descrito no quadro 2.4.

Quadro 2.4: Motivos que dificultam e iniciativas que estimulam o uso do Pensamento Estatístico pela organização.

Motivos que dificultam o uso do Pensamento Estatístico	Iniciativas que podem estimular o uso efetivo do Pensamento Estatístico
A Estatística tem sido mais utilizada para resolver problemas individuais (localizados) do que para tratar das organizações.	A necessidade de competir globalmente tem forçado os gestores a buscarem novos modos de funcionamento das organizações e melhores formas de gerenciamento dos processos.
A Estatística não é utilizada para resolver problemas gerenciais.	O incremento na complexidade dos problemas e negócios exige uma nova maneira de se utilizar o conhecimento estatístico, baseando seu uso no plano estratégico da empresa e focando na melhoria de processos; integrando o Pensamento Estatístico e os métodos e ferramentas de melhoria e controle de processos; e proporcionando ambiente, estrutura e capacidade técnicas para o uso da Estatística de modo mais abrangente dentro das organizações.
Os gestores veem a Estatística como uma ferramenta para ações imediatas e de curto prazo.	O acirramento da competição estimula a busca contínua por processos que gerem bens e serviços com alto grau da qualidade a baixo custo operacional. Essa busca pela melhoria contínua exige a implantação de programas da qualidade visando a redução da variação dos processos, entendendo-se que ao se controlar as causas especiais e comuns de variação, reduz-se a variação e se melhora a qualidade, produtividade e confiabilidade dos processos.
Muitos engenheiros têm uma formação em Estatística deficiente e não conseguem aplicá-la na prática, existindo um “gap” entre o conhecimento de métodos e técnicas estatísticas e as necessidades das organizações e gestores.	A crescente necessidade do uso da Estatística nos processos de gerenciamento estimula a criação de cursos menos concentrados no ensino da teoria de probabilidade, distribuições de probabilidade e outros aspectos matemáticos, para se concentrarem no ensino de técnicas que são mais úteis na prática de engenharia e gestão.
Os gestores têm medo de Estatística, como consequência de sua má formação nessa área de conhecimento.	A necessidade de gestores com formação e conhecimento em Estatística estimula as instituições de ensino a ofertarem disciplinas ou cursos para formação de recursos humanos, ensinando Técnicas Estatísticas através de exemplos práticos e casos reais ainda na graduação.
De modo geral, os gestores não sabem distinguir causas comuns e especiais de variação em seus processos-chave de negócio.	Os gestores devem ser treinados para saberem distinguir entre causas especiais e comuns, bem como estabelecer planos de ação adequados para cada caso.
Os gestores e engenheiros têm dificuldades para visualizarem os processos com foco na variabilidade.	Os gestores e engenheiros devem reconhecer que o Pensamento Estatístico é uma mentalidade ou um modo diferente de pensar, agir, trabalhar, tomar decisões e interagir com outros profissionais.

Fonte: baseado em Makrymichalos et al. (2005).

Tais dificuldades gerais para difusão e aplicação do Pensamento Estatístico acometem também a utilização de Técnicas Estatísticas específicas, como o projeto de experimento (DOE), a qual, segundo Montgomery (2010), é considerada a mais poderosa técnica de melhoria da qualidade, visto que as mudanças são deliberada e sistematicamente

inseridas em um sistema ou experimento para avaliar seus efeitos, não sendo baseado, portanto, em observações passivas.

Segundo este autor, a aplicação de projetos de experimento na planta ou em processos manufatureiros ainda não está amplamente difundida. Algumas das razões para isso incluem treinamento inadequado em conceitos básicos de estatística e em métodos práticos para engenheiros e outros especialistas de processo, assim como a ausência de recursos computacionais e *softwares* estatísticos com *layout* amigável para suportar a aplicação de projetos de experimento.

Firka (2011) ressalta diversos fatores que podem afetar a aplicação efetiva da técnica “projeto de experimento”, os quais foram divididos nas dimensões estatística, técnica e sociológica, sendo que esta última representa questões sobre o uso e implantação do DOE em um contexto organizacional. Dessa forma, o autor destaca nesta dimensão, questões como ausência de comunicação no nível gerencial sobre a utilidade e vantagens da aplicação do DOE, ausência de comunicação junto aos colaboradores operacionais sobre as especificidades do processo e descrença ocasionada pelas dificuldades encontradas nos primeiros estágios de implantação do DOE, levando ao seu desuso.

Baseado nos cenários destacados a respeito da dificuldade em implantação do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas, Abrahan (2005) destaca alguns fatores de sucesso para que haja uma difusão e implantação bem-sucedida dos conceitos estatísticos, os quais são:

- Envolvimento da alta direção: os colaboradores devem perceber o comprometimento da gerência sênior da organização, que deve reconhecer que as técnicas estatísticas contribuem para a resolução de problemas, melhoria de processos, bem como aumenta a satisfação do cliente;
- Papel dos estatísticos: a função desses profissionais deve ser ampliada, visto que tradicionalmente atuam como consultores de projetos e treinam demais colaboradores em algumas Técnicas Estatísticas, como projeto de experimento. Assim, com a extensão de suas atividades, os estatísticos passariam a ensinar todos os níveis hierárquicos, facilitando e orientando a gestão em tomadas de decisão;
- Estrutura dos sistemas e processos: os processos devem ser construídos priorizando que a interação entre as pessoas, tecnologia e cultura organizacional seja positiva, ou seja, que o resultado da combinação dos fatores seja maior do que os resultados de cada um individualmente (Resultado (Fator A + Fator B) > Resultado (Fator A) + Resultado (Fator

B)). Para isso, é necessária que a implantação dos conceitos estatísticos siga uma abordagem pré-definida e relacionada com toda a organização;

- Plano de implantação: antes de iniciar a implantação dos conceitos estatísticos, deve-se ter definido quem serão os responsáveis, onde as Técnicas Estatísticas serão utilizadas, o cronograma das atividades e qual o sistema de medição que acompanhará o processo;

- Treinamento/Consultoria: devem-se avaliar, antes de iniciar a implantação dos conceitos estatísticos, quais são as habilidades e conhecimentos já difundidos pela organização. Assim, o treinamento deve ser adaptado de acordo com as necessidades de cada nível hierárquico e também levar em consideração as situações reais da empresa. Sinclair e Sadler (2004) também ressaltam que qualquer esforço na implantação de métodos estatísticos deve incluir o treinamento de Pensamento Estatístico à equipe gerencial.

Abrahan (2005) ainda destaca que a educação universitária deve enriquecer o ensinamento estatístico, de forma que o estudante tenha conhecimentos técnicos concretos a respeito. Neste contexto, Steinberg (2008) afirma que existe um significativo desencontro entre as pesquisas acadêmicas em estatística e as práticas de melhoria e controle da qualidade, provocado pelo fato de que os pesquisadores não focam seus trabalhos nas necessidades percebidas pelos profissionais da área da Qualidade e também por estes não procurarem pelas mais recentes descobertas das pesquisas. A esse respeito, Montgomery (2000) endossa a necessidade de haver uma atualização e reforço no ensino estatístico, tanto em cursos e *workshops* oferecidos nas empresas, como também nas universidades.

Neste cenário, segundo Hoerl e Snee (2010a), para aumentar o papel da estatística na gestão da qualidade e organizacional, os estatísticos devem focar esforços em definir as alternativas para, baseado no uso do Pensamento e Técnicas Estatísticas, proporcionar melhorias e liderança à organização; utilizar a ampla gama de conceitos e técnicas em favor da obtenção de vantagens competitivas; contribuir além dos limites da estatística para melhorar os resultados do negócio; e entender que a estatística é tanto uma disciplina pura como também uma disciplina de engenharia.

Hare (2012) também afirma que, em projetos de Engenharia Estatística, os quais representam a ligação entre o PE e as TE, deve-se procurar garantir o sucesso em sua implantação por meio de fatores como: pró-atividade em fundamentos estatísticos, um sólido histórico de retorno financeiro, suporte e envolvimento da gestão, planejamento cuidadoso e comunicação efetiva e persistente.

Ainda segundo Hare (2012), há necessidade de ampliação do uso e difusão do Pensamento Estatístico e, para isso, deve-se estar engajado em projetos de Engenharia Estatística por meio dos seguintes fatores:

- Entender e atacar as necessidades organizacionais definidas pela gestão;
- Trazer a atenção da gestão para questões e necessidades que envolvem o uso da estatística;
- Participar de grupos de trabalho que priorizem os esforços de EE;
- Buscar aprendizados estatísticos e compartilhar com grupos de trabalho;
- Comunicar objetivos, estratégias, ganhos financeiros e progresso dos projetos envolvendo esforços estatísticos.

Dessa forma, conforme Coleman (2013), os profissionais da área da qualidade devem aderir à evolução do Pensamento Estatístico e dominar as disciplinas relacionadas à análise de dados e resolução de problemas, de forma a aumentar a aceitação geral das análises quantitativas estatísticas e superar as dificuldades encontradas. Tais dificuldades para aplicação do PE e para uso das TE seguem consolidadas no quadro 2.5.

Quadro 2.5: Dificuldades para aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas.

Motivos que dificultam o uso do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas	Autores
Estatística é usada, principalmente, em nível operacional, mas sendo pouco utilizada nas tomadas de decisão gerenciais.	Bjerke e Hersleth (2001), Sinclair e Sadler (2004), Makrymichalos et al. (2005)
Falta de suporte e envolvimento da alta direção para promover a aplicação do PE e TE.	Ahmed e Hassan (2003), Grigg e Walls (2007), Firka (2011)
Ausência de conhecimento estatístico adequado aos gerentes e engenheiros de manufatura.	Ahmed e Hassan (2003), Makrymichalos et al. (2005), Montgomery (2010), Coleman (2013)
A crença de que a utilização das Técnicas Estatísticas não é suficiente para entregar as melhorias organizacionais, sendo vistas como iniciativas de curto prazo.	Sinclair e Sadler (2004), Makrymichalos et al. (2005), Firka (2011)
A educação universitária é pobre no ensino estatístico, de forma que o estudante não obtém conhecimentos técnicos concretos a respeito.	Abrahan (2005)
Desencontro entre o conhecimento de Técnicas Estatísticas e as necessidades das organizações, havendo um descasamento entre as pesquisas acadêmicas estatísticas e as necessidades de melhoria da qualidade.	Makrymichalos et al. (2005), Steinberg (2008)

Fonte: baseado em Bjerke e Hersleth (2001), Ahmed e Hassan (2003), Sinclair e Sadler (2004), Abrahan (2005), Makrymichalos et al. (2005), Grigg e Walls (2007), Steinberg (2008), Montgomery (2010), Firka (2011) e Coleman (2013).

2.5 Perspectivas para maior aplicação do Pensamento Estatístico

Segundo Steinberg (2008), existe uma tendência para a democratização da estatística, notada pelo desenvolvimento de *softwares* com interfaces mais simples e pelos intensos treinamentos estatísticos concedidos por iniciativas como Seis Sigma e por outras iniciativas corporativas. Tal tendência tem resultado em profissionais que não são estatísticos desempenhando atividades relacionadas às técnicas estatísticas, principalmente em situações mais rotineiras.

Entretanto, como afirmam Hoerl e Snee (2010a), atualmente existe uma lacuna entre o desenvolvimento de novas teorias estatísticas e as necessidades práticas encontradas em áreas da qualidade. Tais lacunas têm sido supridas pelo desenvolvimento de outras frentes de estudo que procuram atacar problemas práticos, como ciências da computação e pesquisas operacionais.

Brown e Kass (2009) relatam que o ensino da estatística deve passar por algumas mudanças radicais, sendo uma delas o maior foco a ser dado ao Pensamento Estatístico, em oposição à ênfase dada às técnicas e métodos. Segundo os autores, tal mudança é necessária, pois, atualmente, os estudantes de estatística são preparados para serem consultores de curto-prazo, capazes de responder a questões baseadas em uma limitada compreensão do contexto, não sendo treinados, assim, em estratégias de solução de problemas que passam por situações dinâmicas e interdisciplinares.

Montgomery (2000) descreve que o ensino estatístico deve ser projetado para que os estudantes possam obter conhecimento em engenharia e negócios, bem como na própria ciência estatística. Assim, o autor sugere diversas mudanças a serem adotadas para que a educação estatística tenha um amplo impacto na prática industrial, dentre as quais se destacam:

- Menor ênfase em teorias matemáticas e de probabilidade;
- Maior ênfase em habilidades computacionais, incluindo *softwares* relacionados com gestão organizacional e não somente *softwares* estatísticos;
- Um mais amplo e menos profundo ensinamento da teoria estatística;
- Maior foco em disciplinas multidisciplinares, como engenharia e negócios em áreas particulares de interesse, ao invés de um profundo conhecimento matemático;
- Mais amplo ensino em habilidades de identificação e formulação de problemas, de comunicação e em aspectos organizacionais.

Nolan e Lang (2007) afirmam que muitos cursos focam o ensino de métodos estatísticos, baseados na demonstração das leis matemáticas teóricas. Com isso, não há uma preocupação objetiva em desenvolver as habilidades necessárias para abordar um problema científico do ponto de vista prático, utilizando conceitos estatísticos. Nesse sentido, Hoerl e Snee (2010a) afirmam que uma maior ênfase no ensino do Pensamento Estatístico promoveria uma maior reflexão a respeito dos dados e sobre os processos que os geraram.

Tal ênfase pode ser alcançada, segundo Hoerl e Snee (2010a), pela visão de que a estatística é tanto uma ciência pura como também uma disciplina de engenharia. Os autores também afirmam que, entre as décadas de 1950 e 1970, o foco era desenvolver a estatística como uma ciência pura, todavia, desde o início do século XXI, nota-se a necessidade de evoluir como uma disciplina de engenharia, especialmente na área de melhoria da qualidade.

Assim, haveria um avanço nos estudos de como utilizar de uma melhor forma os princípios e Técnicas Estatísticas, integrando-os à tecnologia da informação e outras disciplinas relevantes, objetivando melhores resultados. Dessa forma, o foco não seria avançar com o desenvolvimento de leis fundamentais, mas sim compreender como estas podem ser utilizadas para obter benefícios práticos, utilizando a Engenharia Estatística (HOERL; SNEE, 2010a).

Estes autores ainda destacam que a teoria estatística deve continuar sendo estudada, entretanto, atualmente a sociedade carece de pesquisas que permitam um melhor entendimento de como aplicar as técnicas já existentes, o que permitiria um benefício tangível em processos de melhoria. Essa mudança de foco nos estudos estatísticos, partindo da estatística como uma ciência pura para a ênfase prática, geraria um impacto positivo com o decorrer do tempo, conforme pode ser observado na figura 2.9.

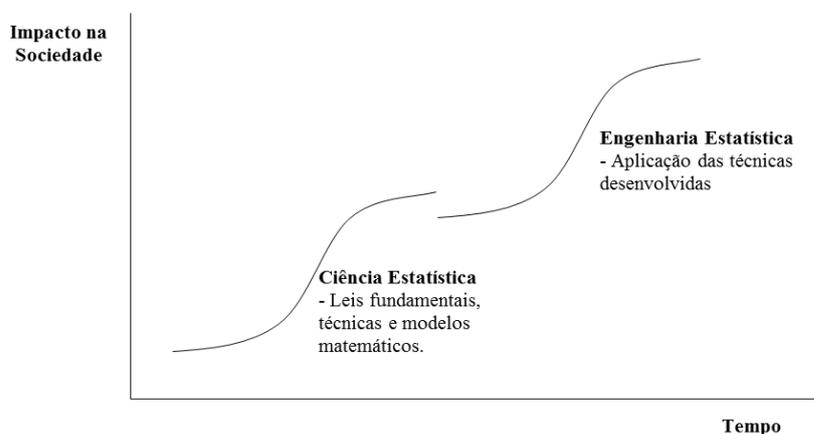


Figura 2.9: Impacto da estatística como ciência e como uma disciplina de engenharia.
Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Hoerl e Snee (2010a).

Hoerl e Snee (2010a) descrevem três medidas que devem ser tomadas para impulsionar essa mudança no foco dos estudos estatísticos e promover a Engenharia Estatística como um viabilizador da aplicação do Pensamento Estatístico e de métodos de melhoria da qualidade, as quais são:

- Legitimar a EE como um curso acadêmico, assim como é engenharia mecânica, engenharia da computação, dentre outras;
- Incorporar o Pensamento Estatístico e suas técnicas nos processos executados nas organizações;
- Utilizar EE para contribuir na gestão financeira das empresas.

De acordo com Hoerl e Snee (2010a), na primeira medida, deve-se pensar em uma abordagem de ensino que contemple métodos de solução de problemas baseados na coleta de dados, a necessidade de integração de Técnicas Estatísticas a outras ferramentas, estágios curriculares voltados à aplicação da estatística na prática, bem como cursos e seminários para estimular a difusão do Pensamento Estatístico. Anderson-Cook et al. (2012) destacam que, para haver a consolidação da Engenharia Estatística como uma disciplina, as empresas e a academia devem estar em constante comunicação, alinhando os objetivos de cada setor, de maneira que haja estímulo para que os estatísticos difundam e apliquem o PE, promovendo importantes contribuições.

A segunda medida foca esforços em incorporar o Pensamento Estatístico em processos chave do negócio, visto que esses processos são utilizados rotineiramente e, assim, o uso das Técnicas Estatísticas também passaria a promover uma visão completa do desempenho dos processos. Para isso, de acordo com Hoerl e Snee (2009), é fundamental a análise periódica de dados por meio de TE, como, por exemplo, a utilização mensal de gráfico de Pareto para avaliação das causas de inadimplência ou a utilização de gráficos temporais para indicadores de desempenho chave do negócio. Vinning (2011) ressalta ainda que a noção de como aplicar a técnica adequada no trabalho é fundamental para o sucesso da Engenharia Estatística.

A terceira medida enfatiza promover ganhos financeiros baseados nas melhorias sustentáveis nos processos e, para isso, pode-se utilizar o *Lean Sigma* ou *Seis Sigma*, programas da qualidade que utilizam técnicas comprovadamente efetivas na prática e propiciam resultados financeiros por meio da aprendizagem e organização dos processos. Hoerl e Snee (2009) destacam que, por meio do *Lean Sigma*, a organização pode definir as prioridades do negócio e equilibrar a necessidade de geração de receita com a exposição aos riscos.

Segundo Anderson-Cook et al. (2012), em afirmação realizada por James Simpson (Eglin Air Force Base), o movimento em direção à Engenharia Estatística deve proceder com cautela, sendo que o principal objetivo não é apenas atrair estudantes, mas sim melhorar consideravelmente as empresas, serviços e organizações governamentais, por meio de um entendimento mais claro e preciso do comportamento dos processos, permitindo ganhos financeiros.

Dentro deste contexto, já existem alguns exemplos práticos que os autores consideram iniciativas de EE. Em Anderson-Cook et al. (2012), segundo afirmação de Stephanie DeHart e Jeniffer Van Mullekon (DuPont), a empresa DuPont tem integrado o Pensamento Estatístico e suas técnicas em seus processos de gestão, como marketing, comercialização e produção. Segundo Hoerl e Snee (2010a), tal programa é conhecido como PQM – *Product Quality Management* e foi desenvolvido na década de 1970, incluindo técnicas como amostragem de produtos e processos, análise de variância (ANOVA), projetos de experimento, metodologia de superfície de resposta (RSM) e representações gráficas de dados.

Outro exemplo destacado em Anderson-Cook et al. (2012), com base em Hoerl (GE *Global Research*) e Snee (*Snee Associates*), é a metodologia desenvolvida pela empresa *Scott Paper Company*, com o objetivo de avaliar e incrementar os sistemas de medição para seus produtos, a qual relaciona estudos de repetição e reprodutibilidade, análise de variância, teste de hipótese, análise de regressão e gráficos de controle.

Anderson-Cook et al. (2012), baseados em afirmação de Douglas Montgomery (Arizona State University), destacam que aspectos que envolvem princípios de engenharia, tecnologia e estatística devem interagir para melhorar a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos produtos, transformando-se em exemplos de Engenharia Estatística, assim como são as técnicas estatísticas de previsão de demanda e de modelagem e simulação utilizadas em gestão de cadeia de suprimentos.

Dessa maneira, os estatísticos apresentam um papel fundamental na aplicação da EE, tendo em vista o potencial em contribuir tanto para o desenvolvimento de novos produtos com base em análise de dados e projetos de experimentos, bem como para papéis gerenciais e estratégicos ao difundir o conhecimento e suportar as decisões tomadas pelos líderes organizacionais (ANDERSON-COOK et al., 2012).

Hoerl e Snee (2010a) destacam que o papel dos estatísticos nas organizações tende a crescer quando existe um contexto em que o Pensamento Estatístico e suas técnicas são incorporadas aos processos que operacionalizam os negócios, sendo importante a

participação desses profissionais nas atividades de solução de problemas, nos treinamentos em gestão da qualidade para todos os níveis hierárquicos e nas tomadas de decisão gerenciais da organização. Mast e Does (2010) salientam que a colaboração dos estatísticos junto aos diretores e gerentes industriais, bem como a outras áreas de atuação, como financeira e voltadas a saúde, é fundamental para aplicação de Técnicas Estatísticas em seus contextos.

Notam-se diversos caminhos indicados pelos autores como alternativas para aumentar o papel e o impacto do Pensamento Estatístico nas organizações, como se pode observar no quadro 2.6.

Quadro 2.6: Medidas para promover maior aplicação do Pensamento Estatístico.

Alternativas para impulsionar o uso do Pensamento Estatístico	Autores
Focar o ensino da estatística no Pensamento Estatístico em oposição à ênfase nas técnicas, contemplando também métodos de análise e solução de problemas e disciplinas multidisciplinares.	Montgomery (2000), Brown e Kass (2009), Hoerl e Snee (2010a)
Legitimar a Engenharia Estatística como uma disciplina acadêmica	Hoerl e Snee (2010a)
Estimular o uso do Pensamento Estatístico, por meio da Engenharia Estatística, nas organizações.	Hoerl e Snee (2010a)
Estimular a participação de estatísticos nas tomadas de decisões estratégicas organizacionais.	Hoerl e Snee (2010a), Mast e Does (2010), Anderson-Cook et al. (2012)

Fonte: elaborado pelo autor, baseado em Brown e Kass (2009), Hoerl e Snee (2010a), Mast e Does (2010) Montgomery (2010) e Anderson-Cook et al. (2012).

Dessa maneira, com as alternativas sugeridas, determinadas barreiras à difusão, destacadas por autores como Makrymichalos et al. (2005), Montgomery (2010) e Ahmed e Hassan (2013), poderão ser minimizadas, como a ausência de conhecimento adequado em estatística aos gerentes e engenheiros e a pouca aplicação da estatística nas tomadas de decisão, visto que haverá uma maior difusão dos conceitos estatísticos nos ambientes organizacionais.

Segundo Anderson-Cook et al. (2012), com a evolução do Pensamento Estatístico e da Engenharia Estatística, haverá a descoberta de novas e boas ideias e estratégias, que proporcionarão soluções rápidas para problemas complexos, bem como a percepção de que se deve envolver o estatístico ou os profissionais com conhecimentos estatísticos nos estágios iniciais de uma abordagem de investigação de um problema. Segundo esses autores, de acordo com afirmação feita por James Simpson (Eglin Air Force Base), outros benefícios serão obtidos, os quais são:

- Aumento de atratividade na carreira estatística e de engenheiros da qualidade em conhecimentos estatísticos;
- Maior ênfase em pesquisa aplicadas oriundas da academia;
- Aumento da colaboração para o setor industrial;
- Estabelecimento das bases para contribuição com os resultados estratégicos de qualquer organização;
- Oportunidades para organizar e interpretar quantidade massiva de dados coletados e vincular a informação gerada com o entendimento do processo.

É importante destacar também, segundo Hoerl e Snee (2009), a evolução do uso de conceitos estatísticos em ambientes não manufatureiros, como em funções de serviços em empresas industriais (compras, logística, finanças e marketing, por exemplo), como também em empresas especificamente prestadoras de serviço, como empresas de saúde, varejo e financeiras (bancos). Os autores relatam que, mesmo com as diferenças naturais entre uma operação manufatureira e uma de serviço, na qual não há um produto final tangível e não há uma padronização de processos, as Técnicas Estatísticas podem ser utilizadas em diversas atividades, como avaliações de crédito e risco com base em análise massiva de dados e previsões de demanda em uma cadeia de suprimentos.

Hoerl e Snee (2009) ressaltam a importância de que haja uma maior ênfase na Engenharia Estatística em relação à ciência estatística, descrevendo, por exemplo, a elevada necessidade de existir uma melhor utilização de gráficos de controle em organizações de saúde, financeiras e até em serviços dentro de empresas industriais, ao invés de pesquisas adicionais sobre propriedades matemáticas destes gráficos.

Coleman (2013) afirma que o Pensamento Estatístico deve incluir mais aspectos do pensamento analítico, fazendo melhor uso das análises de dados e estando mais atento a detalhes e à redução de desperdício. O autor ainda destaca que o volume de dados será cada vez maior e, assim, será fundamental a realização de uma análise inteligente dos mesmos, através da tecnologia da informação, buscando a solução de problemas práticos, com a ajuda da EE.

2.6 Considerações do capítulo

A Estatística surgiu como uma ciência pura e teve grande desenvolvimento nas décadas de 1950 a 1970, focando o desenvolvimento de leis fundamentais e teorias,

entretanto, no século XXI, nota-se a necessidade de que todas as leis desenvolvidas sejam adequadamente estudadas para serem aplicadas na prática, seja em organizações públicas, como em empresas privadas, tanto em operações industriais como de serviços (HOERL; SNEE, 2010a).

Assim, para promover o PE, o foco da estatística deve ser em uma disciplina com viés de engenharia, como descrevem Brown e Kass (2009), ao endossar a necessidade de que o Pensamento Estatístico seja difundido e ensinado aos profissionais com o objetivo de promover um impacto prático da estatística aplicada.

Hoerl e Snee (2010a) destacam que o avanço de como utilizar melhor os princípios e Técnicas Estatísticas, de forma integrada a outras ferramentas, pode oferecer diversos benefícios práticos e pode ser definido como Engenharia Estatística.

Dessa forma, o Pensamento Estatístico, como um processo reflexivo baseado no controle da variabilidade das operações e com o objetivo de melhorar a qualidade de seus processos, vem ganhando importância com a dinâmica competitiva do mercado. Hoerl e Snee (2010a) afirmam que, para fazer uso de todo o potencial oferecido pela abordagem estatística de melhoria nos processos, deve-se embasar em métodos estruturados de solução de problemas, com técnicas pré-definidas e sequenciais.

Baseado nisso, o DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*), metodologia de solução de problemas adotada pelo Seis Sigma, surge como um método adequado, tendo em vista que, segundo Vining (2011), consiste em um ciclo de melhoria que integra técnicas estatísticas simples e complexas com o objetivo de resolver problemas da qualidade e produtividade. Há também o ciclo PPDAC (*Problem, Plan, Data, Analysis, Conclusions*), o qual, segundo Wild e Pfannkuch (1999), representa uma forma de integrar elementos estatísticos em um processo de resolução de problemas, por meio de diversas análises e hipóteses a serem corroboradas ou refutadas.

Nesse cenário, a Engenharia Estatística ganha destaque, pois viabiliza a ligação tática entre o Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas, permitindo a adequada aplicação prática dessas técnicas, com base em variação e análise de dados (HOERL; SNEE, 2010b).

Hare (2012) descreve que a EE permite que os estatísticos, juntamente com cientistas e engenheiros, produzam resultados que nenhum desses profissionais geraria isoladamente ou sem o uso do Pensamento Estatístico. Entretanto, como afirma Vining (2011), deve haver um planejamento para execução prática de todas as Técnicas Estatísticas,

considerando que estas só são efetivas se forem aplicadas de acordo com as diretrizes estratégicas e táticas.

Dessa forma, o ensino do Pensamento Estatístico deve adotar uma postura mais abrangente, e, como afirma Nolan e Lang (2007), focar o desenvolvimento de habilidades necessárias para abordar um problema científico do ponto de vista estatístico. Hoerl e Snee (2010a) destacam ainda que um maior foco no ensino do PE promoveria uma maior reflexão sobre a importância de se considerar os dados e a compreensão dos processos que os geraram.

Para isso, existem desafios a serem superados, como a reestruturação do ensino estatístico, seja em cursos empresariais ou acadêmicos, de forma que passem a adotar, como afirma Montgomery (2000), uma maior ênfase em disciplinas multidisciplinares e em identificação e formulação de problemas, de maneira que as barreiras para a difusão do PE sejam minimizadas e o impacto da sua aplicação seja mais bem difundido, independentemente do setor de atuação, seja em ambientes manufatureiros, atividades de serviços, empresas públicas ou privadas, em atividades operacionais ou em tomadas de decisão gerenciais e estratégicas.

3. O SETOR DE BENS DE CAPITAL

A descrição do setor de bens de capital procura definir as suas características, descrever seu papel no mercado, as questões da qualidade e competitividade envolvidas no setor, seus segmentos industriais, além de ilustrar o seu desempenho econômico nos últimos anos no Brasil. Neste capítulo descrevem-se características do setor de bens de capital em geral, independente se o arranjo produtivo é seriado ou por encomenda, tendo em vista que as instituições pesquisadas, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), bem como a maioria dos autores pesquisados, não realizam seus estudos segregados pelo tipo de processo produtivo.

3.1 Contextualização do setor de bens de capital

Segundo Vermulm e Elber (2002), a indústria de bens de capital contempla a fabricação de máquinas e equipamentos que serão utilizados pelos demais setores do mercado para produzir bens de serviços. Alem e Pessoa (2005) afirmam que um bem, para ser classificado como de capital, deve ter sua utilização nos processos de outros bens e serviços sem sofrer transformação como ocorre com matéria-prima e insumos. Nassif (2007) afirma que o setor assume papel estratégico no desenvolvimento econômico de um país, considerando seu potencial em difundir o progresso técnico por diversas cadeias produtivas.

Essa difusão de novos equipamentos e processos produtivos no mercado, conforme salienta Resende (1994), ocorre a partir de protótipos e plantas piloto, os quais são articulados junto com clientes, institutos de pesquisa e empresas de consultoria, de maneira a desenvolver e viabilizar as inovações.

Além de desempenhar o papel de difusor do progresso técnico, o desenvolvimento do setor é fundamental para reduzir a vulnerabilidade externa de um país, tendo em vista que um setor de bens de capital forte diminui a propensão à importação de diversas cadeias produtivas, favorecendo o equilíbrio econômico em virtude do efeito multiplicador positivo na renda interna (ALEM; PESSOA, 2005).

Entretanto, o setor de bens de capital também depende de um equilíbrio econômico sustentável, pois, segundo Avellar (2008), o setor apresenta uma grande

sensibilidade referente à ausência de estabilidade dos investimentos no próprio setor como nos setores a montante e a jusante. Nesse cenário, o setor de bens de capital em países como o Brasil, nos quais há uma grande incerteza das políticas governamentais, das taxas de juros e elevadas oscilações no volume de investimento, sente o reflexo deste desequilíbrio.

Nesse sentido, Vermulm (2003) destaca que a taxa de juros tem uma influência preponderante sobre o setor, pois uma alta taxa encarece os preços das máquinas e equipamentos, pelo fato de que a maior parte das vendas é feita por meio de financiamentos, e também inibe investimentos na própria produção de maquinários. Dados do relatório Proposta de Políticas de Competitividade para a Indústria Brasileira de Bens de Capital Mecânicos (ABIMAQ, 2014) demonstram que as taxas de juros praticadas no Brasil, tanto da SELIC quanto dos juros do mercado, estão muito acima da média de outros países emergentes, como Colômbia, China, Rússia, África do Sul e Chile.

Tendo em vista este papel estratégico e econômico do setor, é fundamental entender como o mesmo se encontra pulverizado em diversos segmentos produtivos distintos, de maneira que a competitividade de cada um destes influencia diversas cadeias produtivas a jusante. Tal heterogeneidade é corroborada por Duarte (2001), o qual ressalta a presença de empresas com processo produtivo seriado e também sob encomenda. O autor cita que esta diversificação do setor é decorrente de três fatores principais: processo histórico de formação dos segmentos industriais, ritmo de incorporação do progresso técnico de cada segmento e os objetivos a que se destinam os produtos.

Ao se tratar da segmentação entre empresas de bens de capital de produção seriada e por encomenda, é importante evidenciar suas principais características. Conforme Avellar (2008), a produção seriada de máquinas e equipamentos é onde o Brasil apresenta maior competitividade, visto que se caracteriza, geralmente, por uma produção que envolve uso intensivo de matéria-prima (aço, por exemplo, que é disponível internamente no país) e mão-de-obra, que apresenta custos mais baixos para as empresas instalarem suas unidades produtivas, diminuindo os entraves à entrada. Nesse tipo de produção, são fundamentais a engenharia de processo e a escala de produção, sendo o preço do produto o principal fator de concorrência.

Vermulm e Erber (2002) ressaltam que, na produção de bens seriados, economias de escala são muito mais importantes do que na produção por encomenda, onde as economias dinâmicas, resultado da repetição de experiências de projetar produtos e do aprendizado no ato de fabricação (*learning by doing*) são cruciais. No primeiro caso, as empresas tendem a operar com processos relativamente rígidos e com maquinário mais

especializado, enquanto no segundo a flexibilidade dos equipamentos, da mão-de-obra e das rotinas produtivas é fundamental.

Independente do processo produtivo da empresa (seriado ou por encomenda), o setor de bens de capital no Brasil, em geral, apresenta algumas deficiências como o maquinário ultrapassado, conteúdo tecnológico desatualizado, ausência de certificações que permitam inserir os produtos nos países desenvolvidos, métodos de gestão ineficazes que comprometem a agilidade produtiva e estrutura de assistência técnica deficiente (ALEM; PESSOA, 2005).

Avellar (2008), segundo diagnóstico apresentado pelo governo brasileiro, também aponta gargalos para o setor, como parque de fornecedores de componentes pouco desenvolvido, excesso de diversificação de produtos por parte de fabricantes, baixo nível de produtividade de trabalho comparado aos padrões internacionais e baixo nível de automação eletrônica de processo.

Além dos pontos citados acima que merecem atenção, o relatório “Perspectivas Setoriais” (BNDES, 2012) descreve que, para existir um aumento sustentável na competitividade do setor de bens de capital, é necessário investimento em inovação e em qualificação de mão-de-obra. Tal fato vai ao encontro do explanado por Hill (1995), o qual afirma que a capacidade de inovação é um dos fatores críticos de sucesso para uma empresa de bens de capital, além de fatores como o desempenho técnico de seus produtos e o processo de engenharia capaz de satisfazer às necessidades específicas dos clientes.

No primeiro caso, o investimento em inovação se destaca devido ao seu potencial em aumentar a produtividade e reduzir custos, além do grande espaço para expansão de atividades inovativas no setor de bens de capital, informação constatada a partir de dados analisados entre os anos de 2009 e 2011, pela Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica – Pintec (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2013). Já a qualificação de mão-de-obra surge como uma segunda condicionante, pois, como identificado pela mesma pesquisa, em empresas do setor no ano de 2011, apenas 8% dos profissionais atuantes na área de Pesquisa e Desenvolvimento possuíam pós-graduação.

Levantamento feito pela Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos e descrito em relatório “Proposta de Políticas de Competitividade para a Indústria Brasileira de Bens de Capital Mecânicos”, ressalta que uma das principais oportunidades do setor é a modernização do parque industrial dos mais diversos segmentos produtivos, de maneira a incrementar a competitividade de toda indústria brasileira (ABIMAQ, 2014).

Tal fato pode ser explicado com base na constatação feita pela Pintec, a qual evidencia que, em 2011, a aquisição de máquinas e equipamentos representou 47% dos investimentos em inovação da indústria brasileira (IBGE, 2013). Dessa maneira, um estímulo à inovação na indústria tem potencial de gerar um grande reflexo no setor de bens de capital, por meio da geração de demanda adicional.

As oportunidades de investimento citadas estão distribuídas por todo o setor de bens de capital, o qual, segundo Avellar (2008), está concentrado em grandes empresas, na maioria multinacionais, entretanto, também contempla forte presença de pequenas e médias empresas nacionais. Tal fato pode ser compreendido devido à grande diversidade de cadeias produtivas que podem ser supridas pelo setor.

Esta característica do setor de bens de capital de suprir diversas cadeias produtivas e, assim, assumir o papel de difusor técnico foi abordado por Nassif (2007), bem como por Acha et al. (2004), os quais afirmam que o setor é fundamental para o progresso industrial, gerando tecnologias e inovações que serão utilizadas por todo sistema econômico.

Relatório divulgado em 2012 pela Agência Gaúcha de Desenvolvimento e Promoção de Investimento, intitulado Arranjo Produtivo Local Metalmeccânico de Máquinas e Equipamentos (AGDI, 2012), corrobora o papel de efeito multiplicador do setor de bens de capital, como difusor de tecnologia, inovação e qualidade. Este relatório cita que tal efeito é condicionado pela sua longa e complexa cadeia produtiva e pode ser avaliado pela FBCF (Formação Bruta de Capital Fixo).

Segundo Kon (1991), a Formação Bruta de Capital Fixo representa uma medida de investimento físico na economia, indicando o crescimento da riqueza por meio do estoque de capital fixo, que são produtos destinados à continuação de atividades produtivas, isto é, bens de capital. O autor afirma também que a FBCF é um indicador da capacidade atual e futura de desenvolvimento da economia.

A partir da medida FBCF, o IBGE realiza o cálculo da Taxa de Investimento, a qual é o resultado da relação entre a formação bruta de capital fixo e o produto interno bruto (PIB), representando a participação da indústria de transformação no PIB. Esta participação, segundo relatório elaborado pelo Departamento de Competitividade e Tecnologia (DECOMTEC), vem decrescendo desde meados da década de 1980. É importante citar que, conforme Vermulm (1993), o setor de bens de capital é extremamente dependente desta taxa de investimento, apresentando flutuações, em decorrência de seu patamar, mais intensas do que outros setores dentro da indústria de transformação.

Segundo Vermulm (2003), as taxas de investimentos a partir de meados da década de 1980 não corresponderam às necessidades de crescimento da economia, o que gerou um cenário desfavorável ao setor de bens de capital. Com base em relatório da Fiesp (2013), é preciso aumentar as taxas de investimento, de forma que aumente a demanda no curto prazo, criando capacidade produtiva, permitindo que se atinja uma maior taxa de expansão do setor.

Neste cenário, Marcones, Reis e Araújo (2014) indicam que, para se ter um setor de bens de capital com desenvolvimento sustentável, é preciso haver um maior investimento, assim como fazem os países desenvolvidos, os quais possuem uma indústria de bens de capital consolidada, gerando uma demanda por seus próprios bens durante o processo de elevação de oferta, ou seja, é um ciclo retroalimentado, pois investimento gera capacidade produtiva que gera demanda.

De acordo com Vermulm e Erber (2012), os fatores que concedem competitividade ao setor de bens de capital, como instalações, máquinas e mão-de-obra adequadas, conhecimentos específicos em engenharia de projeto e produto e assistência técnica pós-venda, possuem peso relativo dependendo do mercado em que a empresa de máquinas e equipamentos atua.

Entretanto, independente do segmento de atuação da empresa de bens de capital, a qualidade dos produtos e serviços é fundamental para garantir a competitividade, visto que, como afirma Montgomery (2004), a qualidade tornou-se um dos mais importantes fatores de decisão dos consumidores na seleção de produtos e serviços que competem entre si, independentemente do tipo de cliente, seja indivíduo, loja, instituição governamental ou uma organização industrial.

Como a inovação é um fator crítico de sucesso para uma empresa de bens de capital, conforme afirma Hill (1995), e esta é possível e estimulada também pelo uso de ferramentas de gestão da qualidade, como descreve Box e Woodall (2012), conclui-se a relevância desses conhecimentos para o sucesso do setor de bens de capital. Bisgaard e De Mast (2006) relatam que a melhoria da qualidade está estritamente relacionada com a inovação, contribuindo para projeto e desenvolvimento de produtos e processos, implantação de melhorias e novas formas de gestão, sendo esta última uma deficiência das empresas de bens de capital, pois, de acordo com Alem e Pessoa (2005), os métodos de gestão são ineficazes no setor, comprometendo sua eficiência produtiva.

Montgomery (2014) destaca que diversos setores industriais serão beneficiados por inovações, sejam elas radicais, que envolvem desenvolvimento de novas tecnologias, ou

incrementais, que aperfeiçoam tecnologias e processos existentes. Segundo o autor, os setores de energia, farmacêutico, de transporte e de comunicação terão seu crescimento econômico pautado em inovações radicais e os setores automotivo, eletrônico e químico se desenvolverão baseados em inovações incrementais. Nesse contexto, programas como *Lean Sigma* e suas ferramentas da qualidade, dentre elas estatísticas, exercem um papel fundamental como impulsionador desse processo inovativo.

A esse respeito, como um processo de inovação envolve experimentação e desenvolvimento de protótipos, o pensamento e os métodos estatísticos da qualidade são frequentemente requisitados nos projetos e análise das diversas variáveis envolvidas em uma inovação, com o objetivo de minimizar os custos envolvidos e maximizar a eficiência (BOX; WOODALL, 2012). Montgomery (2014) ainda destaca que a técnica estatística “projeto de experimento” é uma das mais poderosas técnicas de inovação disponíveis nas organizações, desde que seja bem planejada, corretamente aplicada e apropriadamente analisada.

Groover e Zimmers (1984) endossam a importância das Técnicas Estatísticas para a qualidade do produto em empresas manufatureiras, dentre as quais se enquadram o setor de bens de capital, afirmando que a integração dessas técnicas aos equipamentos de controle da qualidade e a uma estratégia para monitoramento do ciclo do produto é o que concede qualidade ao produto final.

De acordo com Montgomery (2008), cada técnica estatística deve ser utilizada conforme os objetivos do processo, de maneira que os esforços sejam apropriadamente direcionados ao sucesso do negócio, inclusive os esforços inovativos.

Como o setor de bens de capital atua com clientes de praticamente todos os setores, fornecendo os recursos e maquinários necessários para o desenvolvimento de diversas cadeias, o mesmo deve estar preparado e habilitado para suportar o desenvolvimento tecnológico, as inovações e os requisitos da qualidade das empresas a jusante, fazendo uso de métodos de gestão da qualidade efetivos e da abordagem estatística em seus processos produtivos e gerenciais. Lee (1998) afirma que as vantagens competitivas das empresas compradoras de máquinas e equipamentos, ou seja, a jusante na cadeia, também é determinada pelo grau de inovação dos fornecedores especializados, isto é, das empresas de bens de capital, de forma que uma inovação em um maquinário fornecido por um fornecedor local pode propiciar ao comprador oferecer preços mais competitivos de seus produtos no mercado e diferenciá-los em critérios como qualidade. O autor reforça que em países desenvolvidos como Alemanha e Japão, existe uma estreita ligação entre as empresas fornecedoras de máquinas e equipamentos com as empresas a jusante.

De acordo com Lee (1998), esta ligação das empresas compradoras de máquinas com as fornecedoras é só um dos fatores competitivos da cadeia, dependendo também de uma gestão eficiente das empresas envolvidas, de um cordial fluxo de tecnologia e de uma boa comunicação entre as áreas de pesquisa e desenvolvimento, manufatura e marketing. Ainda segundo o autor, o grau da qualidade e da capacidade tecnológica de uma empresa de bens de capital reflete diretamente nas vantagens competitivas obtidas pelas suas empresas clientes.

Töllner et al. (2011) endossam que os clientes de uma empresa de bens de capital esperam excelência no maquinário ou equipamento adquirido, como na definição dos requisitos necessários, na customização e integração dos bens e serviços inerentes e também no suporte pós-instalação do maquinário. Tal afirmação reforça a necessidade da qualidade no produto e no serviço prestado por empresas fabricantes de máquinas e equipamentos.

Ahmed e Hassan (2003) destacam que uma gestão da qualidade sistemática e estruturada, com a integração de métodos e técnicas, é fundamental para o melhoramento contínuo e que o controle estatístico do processo é uma das melhores técnicas para incrementar a qualidade de um produto ou serviço, em qualquer tipo de organização. Os serviços inerentes ao setor de bens de capital, os quais são fatores de competitividade do setor, conforme afirma Avellar (2008), também podem ser aprimorados com o uso do Pensamento Estatístico. Dentre esses serviços, destaca-se a assistência técnica pós-venda, a qual procura garantir serviços de manutenção eficientes das máquinas e equipamentos comercializados.

Com a evolução da tecnologia da informação, uma quantidade massiva de dados vem sendo gerada nas atividades, tanto em operações de manufatura como de serviços, e, segundo Montgomery (2011), estes são uma rica fonte de informações que podem ser extraídas, por meio da aplicação do Pensamento e Técnicas Estatísticas, para determinar como essas atividades podem ser melhoradas e conduzidas para fornecer um melhor produto e/ou serviço aos clientes e obter vantagens competitivas no mercado.

Principalmente no setor de bens de capital, o qual sofre profunda influência do cenário macroeconômico, ainda mais no mercado brasileiro que é sujeito a inúmeras incertezas regulatórias, conforme afirma Vermulm (2003), a utilização dos dados para obtenção de informações sobre o desempenho dos processos e aumento da qualidade dos meios de produção fabricados, que suprem diversas cadeias a jusante, deve ser fator prioritário para os gestores industriais, sendo o Pensamento Estatístico de grande potencial para contribuir para essa iniciativa e manter a eficiência produtiva.

3.2 Classificação do setor de bens de capital

Segundo Avellar (2008), a indústria de bens de capital é caracterizada pela heterogeneidade de suas empresas e atividades produtivas, tendo em vista a grande variabilidade de produtos demandados por inúmeras cadeias produtivas. O autor também cita que esta heterogeneidade está vinculada ao ritmo tecnológico de cada segmento interno ao setor de bens de capital, como também de setores demandantes de máquinas e equipamentos, isto é, compradores de bens de capital.

Tendo em vista a diversidade do setor, é fundamental embasar toda a análise em uma tipologia abrangente e adequada a esta característica. Sendo assim, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) adota uma classificação denominada Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), no qual o setor de bens de capital está inserido na Seção C (Indústria de Transformação) e representa a divisão CNAE 28 – Fabricação de Máquinas e Equipamentos, categorizada em seis grupos, conforme exposto em quadro 3.1.

Quadro 3.1: Classificação de bens de capital segundo IBGE.

Grupo	Descrição	Itens produzidos (Classes)
281	Fabricação de motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão.	Fabricação de motores e turbinas; bombas e carneiros hidráulicos; válvulas; compressores; equipamentos de transmissão para fins industriais.
282	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral.	Fabricação de equipamentos para instalações térmicas; máquinas para elevação de cargas; aparelhos de refrigeração; aparelhos de ar condicionado.
283	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária.	Fabricação de máquinas e implementos para fins agrícolas e para pecuária; fabricação de tratores.
284	Fabricação de máquinas-ferramentas.	Fabricação de ferramentas para trabalhar metais, madeiras, pedras; ferramentas manuais (furadeira, serras); ferramentas de solda; dentre outras.
285	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e construção.	Fabricação de equipamentos para prospecção e extração de petróleo; para extração mineral e construção; de terraplanagem e pavimentação.
286	Fabricação de outras máquinas e equipamentos de uso específico.	Fabricação de máquinas para indústria alimentar, bebida e fumo; para indústria têxtil; para vestuário; para indústria de celulose e papel e para indústria do plástico.

Fonte: elaborado pelo autor.

Além da classificação realizada pelo IBGE, há também a categorização adotada pela ABIMAQ, a qual é composta por 25 câmaras setoriais (CS), as quais são: Ar Comprimido e Gases (CSAG); Bombas e Moto bombas (CSBM); Máquinas e Equipamentos para Cimentos e Mineração (CSCM); Equipamentos de Irrigação (CSEI); Equipamentos Navais e de Offshore (CSEN); Fornos e Estufas Industriais (CSFED); Ferramentas e Modelações (CSFM); Equipamentos para Ginástica (CSGIN); Equipamentos Hidráulicos, Pneumáticos e Automação Industrial (CSHPA); Máquinas e Acessórios para Indústria do Plástico (CSMAIP); Equipamentos para Movimentação e Armazenagem de Materiais (CSMAM); Máquinas e Acessórios Têxteis (CSMAT); Máquinas e Equipamentos Gráficos (CSMEG); Máquinas e Equipamentos para Madeira (CSMEM); Máquinas-Ferramentas e Sistemas Integrados de Manufatura (CSMF); Máquinas e Implementos Agrícolas (CSMIA); Máquinas para a Indústria Alimentícia, Farmacêutica e Refrigeração Industrial (CSMIAFRI); Motores e Grupos Geradores (CSMGG); Máquinas Rodoviárias (CSMR); Projetos e Equipamentos Pesados (CSPEP); Máquinas, Equipamentos e Instrumentos para Controle da Qualidade, Ensaio e Medição (CSQI); Transmissão Mecânica (CSTM); Fabricantes de Vedação (CSVED); Válvulas Industriais (CSVI); Equipamentos Motorizados para Manutenção de Grama e Jardim e Máquinas Portáteis para Manejo Florestal (CSGF).

Entretanto, devido a esta heterogeneidade, tanto entre as empresas do setor de bens de capital, como entre as classificações adotadas pelo IBGE e ABIMAQ, optou-se por utilizar a classificação do IBGE para categorizar a população e amostra deste trabalho, como pode ser observado no capítulo 4. O setor de bens de capital, em todos os seus gêneros industriais, inclusive internamente às classificações do IBGE e da ABIMAQ, possui empresas que utilizam o processo produtivo seriado e também a produção por encomenda, o que representa outro fator de heterogeneidade, mesmo dentro dos segmentos de bens de capital.

3.3 Desempenho econômico do setor no Brasil

Com o objetivo de contextualizar o desempenho do setor de bens de capital em um passado recente e permitir uma melhor compreensão de seu desenvolvimento, chegando até os dias atuais, optou-se por analisar o desempenho econômico do setor desde a última década. É importante destacar que todos os dados abaixo utilizam dados do IBGE, órgão responsável pela classificação CNAE, e dessa forma, não inclui o segmento de bens de capital de transporte, o qual também não foi considerado na amostragem deste trabalho.

A respeito da distribuição espacial das empresas de bens de capital no Brasil, segundo Mastrantonio (2009), a região Sudeste é onde se localiza a maior parcela das empresas do setor, com 73%, seguido pela região Sul com 25% das empresas. Especificamente em relação ao estado de São Paulo, este ganha destaque, haja vista sua representação no PIB industrial brasileiro, que representa 29,8% do nacional, segundo Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2014).

Com relação à diversidade do porte das empresas do setor, como já explorado por Avellar (2008) e Mastrantonio (2009), destaca-se a maior concentração de empresas de médio porte (de 101 a 500 colaboradores), depois de pequeno porte (até 100 colaboradores) e, por fim, empresas de grande porte (acima de 500 colaboradores) com menor representação.

Considerando-se o cenário econômico do setor no Brasil, dados da FIESP (2013) revelam que a taxa de investimento no setor de bens de capital, a qual representa a Formação Bruta de Capital Fixo sobre o Produto Interno Bruto, vem decrescendo desde a década de 1980, chegando ao patamar de 18,4% em 2013. A média de 24,9% nos anos 1980 passou para uma média de 17,5% nos últimos 10 anos, como pode ser observado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Taxa de Investimento (FBCF/PIB).

Ano	Taxa de Investimento (FBCF/PIB)
2003	15,3
2004	16,1
2005	15,9
2006	16,4
2007	17,4
2008	19,1
2009	18,1
2010	19,5
2011	19,3
2012	18,1
2013	18,4

Fonte: elaborado pelo autor baseado em IBGE – Contas Nacionais Trimestrais (<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=SCN36>).

Em relação ao faturamento e à produção física do setor de bens de capital, dados da Confederação Nacional dos Metalúrgicos da Central Única dos Trabalhadores (CNM/CUT, 2012), da Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física - IBGE (2014) e da

ABIMAQ (2015), permitem demonstrar sua evolução ano a ano, com as quedas e avanços, destacando-se os anos de 2008 e 2009, conforme tabela 3.2.

Tabela 3.2: Faturamento e produção física do setor de bens de capital.

Ano	Faturamento (em US\$ milhões)	Comparação Fatur. Ano/Ano (%)	Evolução da Produção Física
2003	27.804,00	-18,6	15,73%
2004	33.310,37	19,8	3,99%
2005	36.323,48	9,0	11,07%
2006	34.781,08	-4,2	7,32%
2007	37.990,21	9,2	25,09%
2008	43.371,31	14,2	-27,70%
2009	35.367,15	-18,5	22,88%
2010	37.669,53	6,5	-0,74%
2011	39.606,62	5,1	-8,17%
2012	38.259,98	-3,4%	-3,6%
2013	36.079,16	-5,7%	6,9%

Fonte: elaborado pelo autor baseado em CNM/CUT (2012), IBGE (2014) e ABIMAQ (2015).

Com base nos dados da tabela 3.2, observa-se que a queda de faturamento no ano de 2009 provocada pela crise mundial ainda não foi revertida, principalmente em virtude das quedas a partir de 2012. Dados da ABIMAQ (2015) ainda revelam que no ano de 2014 houve uma redução significativa de 13,7% no faturamento em relação a 2013.

Segundo relatório do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, ao se analisar a produção de bens de capital por atividade, o desempenho do segmento de máquinas e equipamentos mostra sinais de desaceleração desde 2009, tendo em vista que de 2003 a 2008 obteve um crescimento acumulado significativo e a partir de 2009 um crescimento acumulado bem menos expressivo (BNDES, 2012). Ainda segundo dados do BNDES, a produção física acumulada de bens de capital cresceu de 2003 a 2011 principalmente nos segmentos de máquinas para fins industriais, para fins agrícolas e para fins de construção.

Referente ao emprego no setor de bens de capital no Brasil, o número de trabalhadores é estimado em 530 mil, os quais são distribuídos em mais de 23 mil empresas. Ao se analisar a evolução dos postos de trabalho no setor, nota-se um crescimento acumulado

de 113% entre os anos de 2002 a 2012, com oscilação negativa somente no ano de 2009, como reflexo da crise internacional em 2008 (CNM/CUT, 2012).

Segundo a CNM/CUT (2012), quando se observa o crescimento do emprego pelo porte das empresas, notam-se diferenças. Entre os anos de 2002 a 2010, o crescimento acumulado nas microempresas foi de 91,0%, nas pequenas empresas de 82,0%, nas médias de 104,6% e nas grandes empresas de 155,3%. Verifica-se, portanto, uma evolução do emprego no setor, principalmente nas empresas de maior porte.

A concentração desses empregos no setor de bens de capital encontra-se nas regiões sudeste e sul do país, totalizando mais de 90% de todos os postos de trabalho, sendo a primeira responsável 62,1% e a segunda por 28,8%. Vale destacar a participação do estado de São Paulo, o qual possui 72,6% dos empregos na região sudeste e 45% do total do Brasil (CNM/CUT, 2012).

Quando se analisa a distribuição destes empregos por atividades dentro do setor de bens de capital, a maior proporção se dá nos segmentos de fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral (fins industriais), na fabricação de máquinas para metalurgia (caldeiraria pesada, tanques e reservatório) e máquinas para fins agropecuários, com a proporção somada em torno de 65% (CNM/CUT, 2012).

Outro fator importante a ser analisado é a situação da balança comercial, a qual, segundo BNDES (2012), permite acompanhar a evolução do saldo comercial ao longo do tempo e analisar as exportações e importações de forma agregada e desagregada por tipo de bens e países de origem (importação) e destino (exportação).

Segundo BNDES (2012), o fator mais significativo a partir dos anos 2000 e que deve ser considerado em uma análise do mercado é a crise de 2008, a qual representou um marco na análise dos últimos 10 anos. Em período anterior à crise, entre os anos de 2003 e 2007, as exportações mundiais cresceram cerca de 85%, registrando em 2007 o montante de US\$ 5,0 trilhões, já em 2009 foi registrada uma queda de 16%, ficando as exportações mundiais em US\$ 4,2 trilhões.

Conforme dados do BNDES (2012), a balança comercial brasileira de bens de capital apresentou um crescimento acumulado nas exportações de 189% entre os anos de 2003 (US\$ 10,7 bilhões) e 2011 (US\$ 30,9 bilhões), entretanto este crescimento concentrou-se no período pré-crise de 2008. Já quando se analisam as importações, o crescimento acumulado no mesmo período foi de 410%, passando de US\$ 14,4 bilhões em 2003 para US\$ 73,5 bilhões em 2011. Baseado nestas informações, a balança comercial brasileira do setor tornou-se mais deficitária, acumulando déficits crescentes entre os anos de 2003 e 2011.

Analisando-se os segmentos do setor de bens de capital e sua relação importação *versus* exportação no período, somente o segmento de máquinas e equipamentos agrícolas gerou superávit. Por outro lado, os segmentos de fabricação de equipamentos e maquinários para fins industriais e de construção e infraestrutura apresentaram um resultado deficitário (BNDES, 2012).

Com relação aos países de destino das exportações, destacam-se como principais compradores, nos últimos 10 anos, países como Argentina, Estados Unidos, México, Alemanha, Chile e China. A respeito dos países de origem das importações brasileiras, ganham destaque os Estados Unidos, Alemanha, Japão, Coréia do Sul, Itália e China. É importante ressaltar a relação comercial do Brasil com o Mercosul dentro do contexto do setor de bens de capital, visto que a participação de importação brasileira de máquinas e equipamentos oriundos dos países do bloco é muito tímida quando comparada às exportações nacionais aos mesmos (BNDES, 2012).

Os principais países de destino das exportações brasileiras de máquinas e equipamentos e os principais países dos quais o Brasil importa estes produtos, bem como sua representatividade, seguem descritos, respectivamente, nos gráficos 3.1 e 3.2.

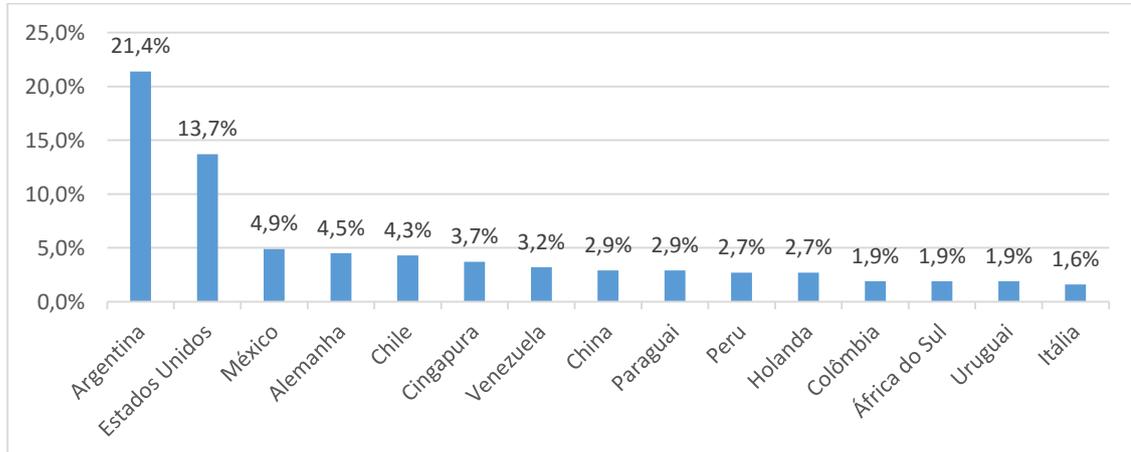


Gráfico 3.1: Principais países de destino das exportações brasileiras de máquinas e equipamentos.
Fonte: baseado em BNDES (2012).

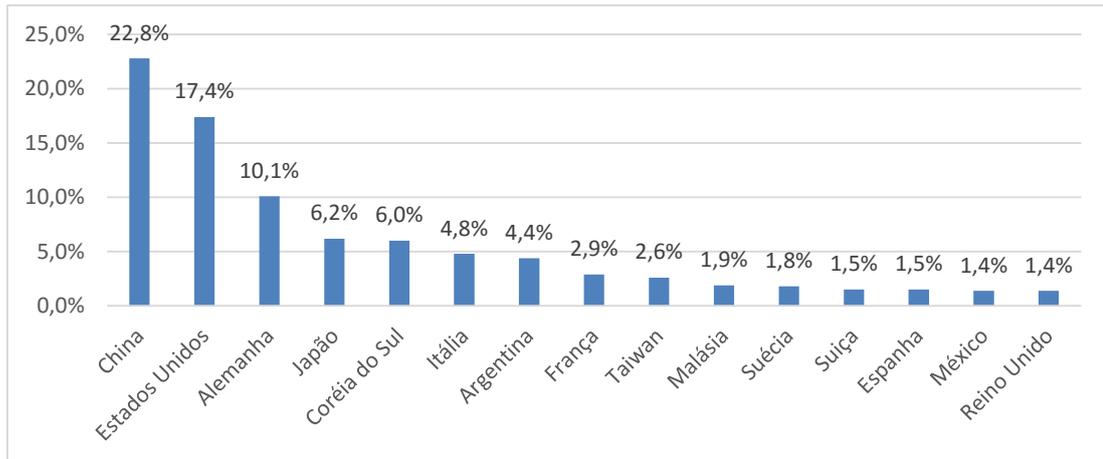


Gráfico 3.2: Principais países de origem das importações brasileiras de máquinas e equipamentos.
Fonte: baseado em BNDES (2012).

Segundo relatório do BNDES (2012), dentre os países destino das exportações brasileiras, destacam-se os países membros ou associados do Mercosul, representando um total de 40,3%. Já a participação dos países do Mercosul (membros ou associados) nas importações brasileiras de máquinas e equipamentos representa somente 4,4% do total importado.

Baseado no exposto, nota-se que alguns indicadores econômicos demonstram um cenário desafiador de recuperação para o setor de bens de capital, como a queda do faturamento nos últimos anos, a redução da taxa de investimento quando comparada com as décadas de 1980 e 90 e também pela balança comercial brasileira ser deficitária para o setor.

Dessa forma, é importante que as empresas do setor busquem alternativas para reduzir os impactos das incertezas macroeconômicas governamentais, buscando uma gestão mais eficiente da produção, com o aumento da sua eficiência e redução da ociosidade, a qual, segundo Vermulm (2003), é historicamente elevada, o que não concede escala de produção, tampouco custos competitivos.

4. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo estão descritos os passos metodológicos para realização deste trabalho, abordando a caracterização da pesquisa, a definição da população e amostra, o desenvolvimento do instrumento de coleta de dados, as técnicas de análise dos resultados empregadas e a avaliação de consistência do questionário elaborado.

4.1 Caracterização da pesquisa

Como o objetivo principal deste trabalho é obter informações sobre o grau de aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas em empresas do setor de bens de capital seriados situadas no estado de São Paulo, isto é, obter informações sobre um assunto específico em uma população específica, optou-se por realizar uma pesquisa de abordagem quantitativa, utilizando métodos como pesquisa bibliográfica e levantamento tipo *survey*.

Para isso, primeiramente, com o objetivo de esclarecer os conceitos de Pensamento Estatístico e seus desdobramentos, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, a qual, segundo Rowley e Slack (2004), é de grande importância em uma pesquisa quantitativa, contribuindo para determinação das variáveis que serão analisadas durante uma pesquisa de levantamento como *survey*.

Segundo Freitas et al. (2000), em uma abordagem quantitativa, um dos principais objetivos é identificar quais situações estão presentes em uma população e descrever os resultados dentro dos subgrupos. De acordo com Bryman (1989), uma abordagem quantitativa possui determinadas características, como: as variáveis de pesquisa serem bem definidas; capacidade de mensurar causa e efeito; o pesquisador não possui interação direta com o objeto de estudo. Tais características apresentadas pela literatura se enquadram nos objetivos e particularidades desta dissertação, caracterizando-a, assim, na abordagem citada.

Com relação ao método de pesquisa *survey* praticado, este apresenta coerência com as necessidades da pesquisa e com a abordagem utilizada, visto que, segundo Miguel e Lee Hoo (2012), o objetivo principal de uma *survey* é contribuir para uma área particular de conhecimento, o que se dá por meio da coleta de informações sobre indivíduos ou sobre o ambiente ao qual pertencem. Outro objetivo deste método de pesquisa é extrair conclusões

sobre o fenômeno estudado por meio dos dados coletados nas amostras. Esta *survey* possui também características que vão ao encontro do definido por Pinsonneault e Kraemer (1993):

- É um método que procura descrever alguns aspectos da população estudada;
- A principal maneira de se obter as informações é por meio de um instrumento pré-definido e com questões estruturadas;
- As informações são coletadas, geralmente, sobre uma fração (amostra) da população estudada, de forma que o número de unidades pesquisadas seja representativo do universo do objetivo de estudo em questão.

O caráter desta pesquisa *survey* é exploratório-descritivo, pois pretende adquirir mais conhecimento sobre o tema e também descrever a distribuição do fenômeno na população original, além de contribuir para o conhecimento em uma área particular de interesse, conforme orientações a respeito de Forza (2002) e Malhotra e Grover (1998). Optou-se, ainda, por realizar uma *web survey*, a qual caracteriza-se por publicar o instrumento de pesquisa na Internet, visto que, conforme Schmidt (1997), esta apresenta benefícios como alcançar um maior número de indivíduos para amostra e possibilitar economias de tempo e dinheiro para distribuição e aplicação do instrumento de pesquisa, apesar também de apresentar certas desvantagens como maior tempo de retorno, menor taxa de resposta e maior risco de respostas incompletas.

Como a coleta dos dados ocorreu em apenas um intervalo de tempo, a pesquisa caracteriza-se como corte transversal, o qual, segundo Sampieri et al. (2006), pretende descrever e analisar o estado de uma ou mais variáveis em um determinado recorte de tempo.

Com a definição do método de pesquisa sendo uma *survey*, foi necessária a definição da população, a elaboração do instrumento de pesquisa, a coleta dos dados da amostra por meio da aplicação de um questionário, para posterior análise estatística dos dados. Tais etapas estão descritas na figura 4.1 e são abordadas nos próximos tópicos deste capítulo.

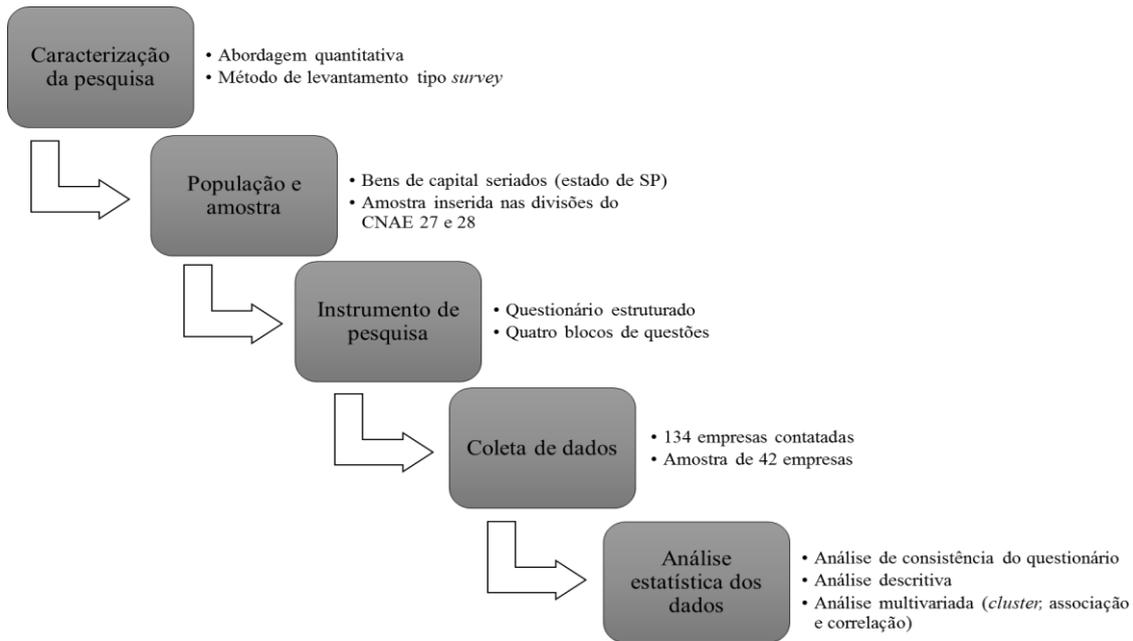


Figura 4.1: Etapas da pesquisa.
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 População e definição da amostra

Diante deste objetivo de pesquisa e, especialmente pelo setor de bens de capital, como afirma Avellar (2008), apresentar uma grande heterogeneidade na composição das empresas atuantes, incluindo desde organizações familiares, de pequeno e médio porte, até divisões especializadas de grandes grupos empresariais, optou-se por especificar a população de interesse em empresas de bens de capital com processo produtivo seriado, de médio e grande porte, situadas no estado de São Paulo.

A escolha por bens de produção com processo produtivo seriado se deu em virtude de, como afirma Megliorini (2003), existir uma tendência de maior padronização e homogeneização dos produtos neste tipo de produção. A opção por essas empresas estarem situadas no estado de São Paulo foi devido ao Estado abranger entre 60 e 70% das empresas do setor, segundo Mastrantonio e Toledo (2013), bem como pelo fato de que neste estado encontram-se localizadas as empresas de maior faturamento do setor no Brasil, segundo publicação Melhores e Maiores de 2013 (REVISTA EXAME, 2013). A seleção de empresas de médio e grande porte ocorreu por se esperar que essas tenham áreas mais bem estruturadas e desenvolvidas de gestão da qualidade em comparação às pequenas empresas, o que pode favorecer a aplicação do PE e TE.

Com isso, a população acessada foi obtida com base em informações da ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos) e da revista Exame (publicação Melhores e Maiores), contemplando um total de 134 empresas. A partir da definição desta população, entre os meses de março e outubro de 2014, houve a coleta de dados por meio do envio do instrumento de pesquisa, a partir da qual se obteve a amostra de empresas que responderam à pesquisa, conforme pode ser observado na figura 4.2.

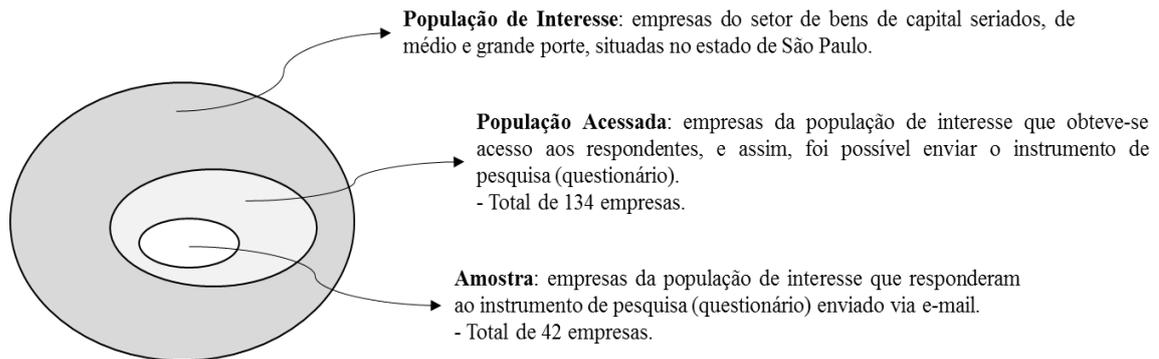


Figura 4.2: População de interesse, população acessada e amostra.
Fonte: elaborado pelo autor.

Após definição das populações de interesse e acessada, esta foi distribuída com base nos grupos inseridos dentro da classificação de bens de capital adotada pelo IBGE (Classificação Nacional de Atividade Econômica - CNAE 28).

Neste trabalho contemplou-se também empresas que fabricam máquinas e equipamentos elétricos (CNAE 27, grupo 271 – Fabricação de Geradores, Transformadores e Motores Elétricos), como geradores e transmissores de energia, uma vez que tais equipamentos podem ser considerados como bens de capital, como afirma Vermulm (2003). Nota-se que a ABIMAQ também possui a Câmara setorial CSMGG (Câmara Setorial de Motores e Grupos Geradores), cujas empresas pertencentes possuem atuação no segmento elétrico.

Na população de interesse e na população acessada deste trabalho, foram contempladas empresas de bens de capital com produção seriada, de médio e grande porte, situadas no estado de São Paulo e inseridas dentro dos grupos do CNAE 28 e do CNAE 27, conforme a seguir:

- Fabricação de motores, compressores e equipamentos de transmissão (CNAE 28 – Grupo 281): são os produtos destinados à indústria de maneira global e que atuam na composição das máquinas, como motores, bombas e compressores.

- Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral (CNAE 28 – Grupo 282): equipamentos utilizados em instalações térmicas, em refrigeração e ventilação de uso industrial e comercial e em instalações de saneamento básico e ambiental.
- Fabricação de máquinas e equipamentos para fins agropecuários (CNAE 28 - grupo 283): equipamentos utilizados no setor primário, tanto na agricultura como pecuária, como tratores, semeadoras, pulverizadores, colhedoras e demais implementos agrícolas.
- Fabricação de máquinas-ferramentas (CNAE 28 – grupo 284): equipamentos utilizados para estampar, fresar, prensar e máquinas-ferramentas de comando numérico.
- Fabricação de máquinas e equipamentos para fins de construção civil e mineração (CNAE 28 - grupo 285): máquinas e equipamentos utilizados na indústria de construção civil (de pequenos a grandes projetos), como rolocompressor e motoniveladoras e também utilizados na extração mineral, como mineradores e escavadeiras.
- Fabricação de máquinas e equipamentos para fins de uso específico (CNAE 28 - grupo 286): máquinas e equipamentos utilizados na indústria celulose e papel, na indústria alimentar, na indústria têxtil e na indústria do plástico.
- Fabricação de máquinas e equipamentos para fins elétricos (CNAE 27 – grupo 271): equipamentos utilizados na geração de energia elétrica, como geradores, turbinas industriais, indutores e transformadores.

Considerando os critérios adotados para definição das populações de interesse e acessada, não houve aleatoriedade e, assim, a amostra não pode ser considerada probabilística, com base em Lakatos e Marconi (1995), pois cada membro da população de interesse não teve a mesma probabilidade de ser escolhido.

4.3 Instrumento de coleta de dados

Freitas et al. (2000) afirmam que o método de pesquisa *survey* é normalmente utilizado quando se deseja produzir descrições quantitativas de uma população, utilizando um instrumento de pesquisa, geralmente um questionário estruturado ou entrevistas, para obtenção dos dados. Os autores ainda descrevem que a escolha do instrumento de pesquisa deve considerar o custo e o tempo disponíveis para realização das entrevistas e consolidação das análises dos dados.

Como instrumento de coleta de dados, adotou-se um questionário estruturado com perguntas fechadas, elaborado pelo autor, que pode ser lido e respondido sem a

intervenção do pesquisador e, a partir disso, o *link* (endereço eletrônico) para acesso ao questionário foi enviado ao e-mail do entrevistado, após prévio contato telefônico ou contato via redes profissionais (*Linkedin*).

Para Synodinos (2003), o número de questões de um questionário estruturado não deve ser grande e os pesquisados ou respondentes deverão ser capazes de entender as alternativas sem a ajuda de um mediador. A linguagem utilizada deve ser simples e cada questão deve ser somente relativa a uma pergunta, evitando, dessa forma, ocorrência de ambiguidades. A esse respeito, Rea e Parker (2002), Forza (2002) e Gil (1991) também relatam suas orientações, as quais são:

- Para questões fechadas, as alternativas devem possuir todas as possíveis respostas;
- A implicação das perguntas para com a análise dos dados deve ser considerada;
- Somente devem ser elaboradas questões relacionadas ao problema de pesquisa;
- As perguntas devem ser redigidas de forma clara, evitando dupla interpretação por parte do entrevistado;
- Não devem ser elaboradas perguntas incômodas que possam constranger o entrevistado;
- O número de perguntas deve ser limitado;
- A sequência de perguntas deve ser considerada de forma a não induzir a resposta do entrevistado.

Segundo Forza (2002), as principais vantagens de utilizar esta técnica de pesquisa são os baixos custos envolvidos, a economia de tempo de deslocamento, a possibilidade de assegurar o sigilo entre respondente e pesquisa e também a expectativa da redução de um viés do entrevistador. Entretanto, por outro lado, pode resultar em um tempo maior para retorno e em uma menor taxa de resposta, além de estar sujeita às interpretações pessoais do entrevistado.

As vantagens do instrumento utilizado foram fundamentais para atingir a população almejada, visto que, pela maior abrangência geográfica propiciada, conseguiu-se enviar, concomitantemente, o questionário estruturado a várias empresas de bens de capital seriados, de médio e grande porte, situadas em diferentes regiões do estado de São Paulo.

Uma importante etapa do desenvolvimento do questionário foi a realização do pré-teste, o qual, segundo Rea e Parker (2002), contribui para a avaliação da clareza do questionário, da sua abrangência (conteúdo das perguntas) e da sua aceitabilidade. Synodinos (2003) também afirma que o teste é essencial, pois é possível identificar questões importantes que ainda não foram formuladas, questões a serem reformuladas e também identificar a necessidade de reestruturar o corpo do questionário, a fim de reduzir o número de questões.

A primeira versão do questionário foi aplicada e testada em três empresas, sendo duas de médio porte e uma de grande porte. Para realização deste pré-teste, entrou-se em contato com as empresas e respondentes para explicar a necessidade de que, qualquer dúvida ou sugestão a respeito do questionário, fosse mencionada após preenchimento ao pesquisador. Assim, as poucas sugestões foram registradas e posteriormente colocadas em prática, como a retirada de uma questão que estava presente no primeiro bloco do questionário.

Após esta etapa, chegou-se ao questionário definitivo (expresso no Apêndice A), composto por 49 perguntas categorizadas da seguinte maneira (4 blocos):

- Bloco A - Dados da empresa: 14 perguntas que levantam informações da empresa e o engajamento com programas da qualidade;
- Bloco B - Presença e aplicação do Pensamento Estatístico na unidade: 13 perguntas versando sobre como a unidade trata a variabilidade de seus processos e qual a importância dada ao tratamento de dados e aos sistemas de medição.
- Bloco C - Uso de Técnicas Estatísticas na empresa: sete questões (total de 22 itens) abordando a utilização de TE básicas/intermediárias e avançadas e também levantando a existência ou não de barreiras à utilização dessas técnicas. Neste bloco do questionário, para as empresas que relataram não utilizar as TE, indagou-se sobre os motivos, elaborando alternativas de respostas com base na literatura pesquisada, como Sinclair e Sadler (2004) e Makrymichalos et al. (2005).
- Bloco D - Resultados percebidos com a aplicação de PE e TE: 15 questões indagando sobre a percepção dos gestores a respeito de resultados com a aplicação do PE e TE e o impacto desta aplicação na gestão da qualidade e eficiência industrial.

O questionário definitivo foi elaborado com a preocupação de atender a algumas orientações de Forza (2002), de forma a aumentar a qualidade das respostas e a taxa de retorno, as quais são: informação a respeito do objetivo da pesquisa; clareza em relação à confidencialidade e segurança das informações fornecidas; e informação da duração aproximada de conclusão do preenchimento do questionário. A fim de atender essas regras, foi elaborada uma mensagem de apresentação para ser enviada ao entrevistado juntamente com o questionário. Essa mensagem encontra-se no Apêndice B.

O questionário foi desenvolvido em formulário eletrônico, com o auxílio da ferramenta *Google Drive* e que, após o contato com as empresas entrevistadas, o *link* para acesso foi enviado via e-mail, no qual continha texto introdutório sobre a pesquisa realizada.

Para elaboração do questionário, foram definidas variáveis de pesquisa, as quais foram organizadas em independentes (que afetam outras variáveis) e em dependentes (que sofrem influência das demais), de maneira que se identifique a percepção dos representantes das empresas participantes da pesquisa, em uma escala de intensidade. Como variáveis independentes foram consideradas a existência ou não de programas da qualidade implantados, a utilização do Pensamento Estatístico na organização e o grau de aplicação de Técnicas Estatísticas básicas/intermediárias e avançadas. Como variáveis dependentes, considerou-se a percepção dos entrevistados sobre os resultados obtidos com a utilização do PE e das TE. Para identificar a ocorrência ou não de relação entre as variáveis, foram utilizadas análises multivariadas, que estão descritas no tópico seguinte.

4.4 Coleta de dados, taxa de retorno e técnicas de análise

Para envio do questionário e coleta de dados, foram utilizadas duas abordagens, sendo a primeira o contato com profissionais via telefone, no qual se explicava o trabalho e, posteriormente, enviava-se um e-mail contendo o texto introdutório da pesquisa e o *link* de acesso ao questionário.

A segunda abordagem consistiu em realizar uma busca por profissionais atuantes nas empresas inseridas na população de interesse, por meio dos *websites* das empresas e também por meio de redes sociais, como o *LinkedIn* (rede com caráter e objetivo estritamente profissional). A partir da identificação desses contatos, enviou-se e-mail ou mesmo mensagem através das redes sociais, com a apresentação da pesquisa.

A partir destas abordagens, obteve-se retorno de 42 empresas de um total de 134 contatadas, obtendo-se assim uma taxa de retorno de 31,3%, a qual pode ser considerada satisfatória, tendo em vista que Malhotra e Grover (1998) consideram satisfatórias taxas de retorno acima de 20%. Outros trabalhos relacionados, como de Grigg e Walls (2007), ao analisar os métodos utilizados no controle estatístico da qualidade em empresas de alimentos no Reino Unido, e a pesquisa de Santos e Antonelli (2011), ao analisar a abordagem estatística na gestão da qualidade em indústrias de alimentos situadas no estado de São Paulo, obtiveram taxas de retorno, respectivamente, de 14% e 18,3%, o que evidencia a dificuldade em se obter taxas elevadas.

Após conclusão da coleta de dados e obtenção da taxa de retorno, as respostas foram analisadas, conforme orientam Rea e Parker (2002), por meio da utilização de

softwares para compilar os dados em tabelas, gráficos e medidas estatísticas sintetizadas para apresentação dos dados de maneira clara e objetiva. De acordo com Forza (2002), a confiabilidade dos dados é reflexo da qualidade dos instrumentos de coleta de dados, o qual pode ser avaliado pela sua consistência interna. Baseado nisso, para validação do instrumento de pesquisa, neste caso o questionário estruturado, foi utilizado o coeficiente alfa de Cronbach. Assim, com o auxílio de *softwares*, foram realizadas as seguintes análises:

- Análise de consistência interna: cálculo do alfa de Cronbach para avaliar a confiabilidade do questionário;
- Análise de estatística descritiva: uso de tabelas, gráficos e representações percentuais dos dados coletados;
- Análise estatística multivariada: análise de *cluster* que permite a identificação de grupos de empresas com características comuns, análises de associação e correlação que permitem identificar relação entre duas ou mais variáveis, bem como testes complementares de comparação de médias.

Os métodos estatísticos descritivos (como histogramas, médias e representações percentuais) investigam isoladamente a relação entre cada variável, sem levar em conta as demais. Já os métodos multivariados (como análise de *cluster*, análise de associação, correlação e comparação de médias) buscam identificar as inter-relações existentes entre as variáveis, com base na redução ou síntese dos dados, com o objetivo de identificar e explicar a relação entre elas. Para análise descritiva dos resultados, o *software* utilizado foi o Microsoft Excel e para a análise multivariada, o *software* estatístico utilizado foi o R.

Para o tratamento estatístico multivariado foram aplicadas a análise de *cluster* utilizando os métodos de *Ward* e *K-means*, a análise de associação que fez uso do teste exato de Fisher, a análise de comparação de médias que utilizou o teste *t-student*, tendo em vista a normalidade dos dados (comprovada pelos gráficos *normal-plot*) e a análise de correlação utilizando o coeficiente de Pearson por haver linearidade entre as variáveis.

Dessa maneira, as análises descritivas permitem identificar a difusão e aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas nas empresas amostradas, bem como ilustrar as principais dificuldades para aplicação sistemática do PE e TE. Já as análises multivariadas possibilitam identificar a presença ou não de relações entre as variáveis da pesquisa, como entre as certificações e os programas da qualidade com a presença do PE, com o uso das TE e com os resultados percebidos com PE e TE, e também entre os blocos B

(presença do PE), C (uso das TE) e D (resultados percebidos com PE e TE) do instrumento de pesquisa utilizado, conforme objetivos deste trabalho.

A respeito da análise multivariada, Hair et al. (2005) sugerem que suas técnicas sejam realizadas com amostras superiores a 50 observações. Nos casos em que não foi atingido o nível de 50 respostas, que é o deste trabalho, os autores recomendam maior cautela quanto à interpretação e discussão dos resultados.

4.5 Análise de consistência do questionário

Para validação do questionário foi utilizado o cálculo do coeficiente alfa de Cronbach, o qual, segundo Hair Jr et al. (2005), permite avaliar se as variáveis descritas nas perguntas do questionário servem como indicadoras de um mesmo constructo, ou seja, mede a confiabilidade do instrumento de pesquisa, assumindo valores entre 0 (zero) e 1 (um). Ainda segundo este autor, valores entre 0,70 e 0,80 indicam boa confiabilidade, valores entre 0,80 e 0,90 indicam muito boa confiabilidade e acima 0,90 representam uma excelente confiabilidade.

De acordo com Trochim (2003), a consistência interna do instrumento de pesquisa refere-se ao grau com que os itens do questionário estão correlacionados entre si e o resultado geral da pesquisa, consistindo na mensuração da confiabilidade do mesmo. Segundo Freitas e Rodrigues (2005), o coeficiente alfa de Cronbach é calculado a partir da variância dos itens individuais e da variância da soma dos itens do questionário que utilizam a mesma escala de medição.

Dessa forma, calculou-se o alfa de Cronbach para os blocos B, C (sem considerar a primeira e a segunda questões, pois essas se diferem das demais perguntas do bloco, por ter o objetivo de caracterizar os motivos da não utilização das Técnicas Estatísticas, utilizando uma escala de resposta divergente das demais questões) e D do questionário, e também para o conjunto dos blocos B/C/D. Para o bloco A não foi calculado o alfa, pois este bloco é para caracterização das empresas respondentes, contemplando perguntas com objetivos e escalas de resposta distintas. Os resultados obtidos com a análise de consistência seguem expressos na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Resultados da análise de consistência (alfa de Cronbach).

Bloco do Questionário	Alfa de Cronbach
Bloco B – Presença e aplicação do Pensamento Estatístico	0,936
Bloco C (sem considerar a 1ª e a 2ª questão) – Uso de Técnicas Estatísticas (TE)	0,947
Bloco D – Resultados percebidos com aplicação do PE e TE	0,958
Conjunto dos blocos B / C (sem 1ª e 2ª questões) / D	0,978

Fonte: elaborado pelo autor.

Assim, todos os resultados da análise de consistência do instrumento de pesquisa podem ser considerados satisfatórios, visto que, segundo Hair Jr et al. (2005), quanto mais próximo de 1 (um), mais confiável é considerado o instrumento de pesquisa.

5. ANÁLISE DESCRITIVA, APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os principais resultados descritivos obtidos na *survey*, a qual teve participação de 42 empresas de diversos segmentos dentro do setor de bens de capital seriados e abrangeu empresas de médio e grande porte localizadas no estado de São Paulo.

5.1 Perfil das empresas participantes

Caracterizaram-se as empresas respondentes no bloco A do instrumento de pesquisa, com questões sobre dados gerais da unidade (localização, número de funcionários, dentre outras), bem como questionamentos sobre as certificações que as empresas possuem e quais os programas da qualidade implantados. A localização geográfica das 42 empresas da amostra segue mapeada conforme figura 5.1.

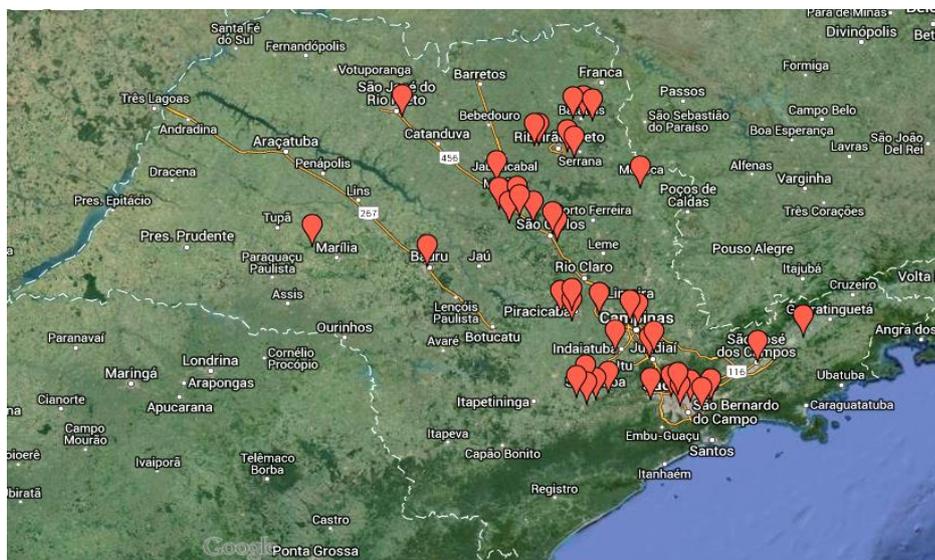


Figura 5.1: Localização das empresas respondentes da pesquisa.

Destas 42 empresas, sete estão localizadas na grande São Paulo, duas no Vale do Paraíba, cinco na região de Sorocaba, cinco na região de Campinas (contemplando cidades como Indaiatuba e Jundiaí), três na região de Piracicaba, oito na região de São Carlos/Araraquara, oito na região de Ribeirão Preto, uma na região de São José do Rio Preto, uma na região de Marília e uma na região de Bauru. Dessa forma, sete empresas estão localizadas na capital do estado e 35 distribuídas pelo interior.

Para a classificação do porte da organização, adotou-se o critério utilizado pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), o qual define como pequena empresa aquela com até 99 colaboradores, como média empresa de 100 a 499 colaboradores e como grande empresa aquela com 500 ou mais colaboradores. Dessa forma, as 42 empresas respondentes seguem categorizadas no gráfico 5.1.

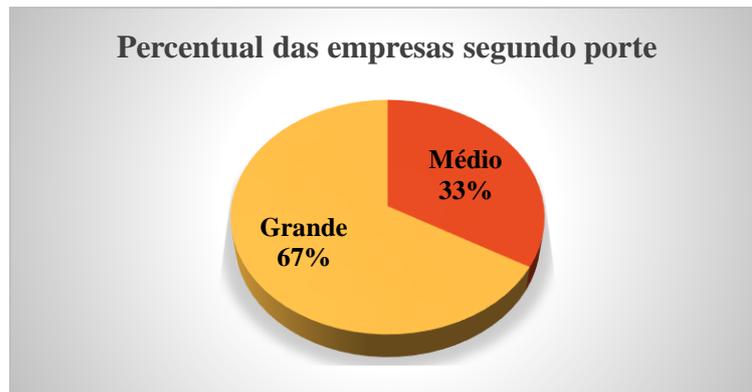


Gráfico 5.1: Percentual de empresas respondentes conforme porte.

Assim, nota-se que 67% das empresas amostradas são de grande porte, o que representa 28 empresas, e 33% são de médio porte, representando 14 empresas.

Dentre todas as empresas respondentes na capital paulista, seis são de grande porte e uma é de médio porte. Com isso, dessas 28 empresas, seis estão na capital e 22 distribuídas pelo interior do estado. Para as empresas de médio porte, uma empresa amostrada está localizada na capital e as demais 13 empresas localizam-se no interior.

Observa-se, pelas empresas amostradas, que grande parte delas se encontra localizada em regiões com malha viária bem desenvolvida, com fácil acesso às principais rodovias do estado. Especialmente para as empresas localizadas no interior, esta questão é fundamental, tendo em vista que o escoamento da produção se dá em sua maior parte por transporte rodoviário.

É importante destacar que a amostra coletada (67% empresas de grande porte e 33% de médio porte) não representa a mesma proporção do universo populacional das empresas de máquinas e equipamentos, o qual é contido, com base em Mastrantonio (2009), principalmente por empresas de médio e pequeno porte, sendo a menor parcela constituída de empresas de grande porte. Entretanto, como este trabalho tem o objetivo de avaliar a aplicação do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas nas empresas de bens de capital seriados, a amostra é adequada, pois permite evidenciar como está a aplicação do PE e TE nas maiores empresas do setor situadas no estado de São Paulo.

Sobre os programas da qualidade implantados nas empresas pesquisadas, questionou-se sobre os seguintes: Iniciativas de Melhoria no Dia a Dia, Programas Caixa de Sugestões, Eventos Kaizen, Seis Sigma, *Lean Manufacturing*, *Lean Sigma*, TPM (*Total Productive Maintenance*), TQM (*Total Quality Management*) e 5S.

Ao analisar a quantidade dos programas da qualidade implantados nas empresas amostradas, observa-se que existem 25 empresas (59,5% da amostra) com seis ou mais programas implantados. As demais 17 empresas (40,5% da amostra) possuem menos de seis programas da qualidade, como pode ser observado no gráfico 5.2.



Gráfico 5.2: Quantidade de programas da qualidade implantados nas empresas pesquisadas.

A tabela 5.1 ilustra um panorama sobre como as empresas estão a respeito, avaliando o período em que já os possuem implantados em suas unidades ou se não os possuem. Neste levantamento, observa-se que houve empresas que não responderam a determinados programas da qualidade e, dessa forma, o total de respostas varia para cada um dos programas pesquisados.

Tabela 5.1: Programas da qualidade nas empresas respondentes.

Programas da Qualidade	Não Possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
A1 - Iniciativas de Melhoria no Dia a Dia	4	10,0%	14	35,0%	12	30,0%	10	25,0%	40
A2 - Programa Caixa de Sugestões	12	30,0%	12	30,0%	8	20,0%	8	20,0%	40
A3 - Eventos Kaizen	11	27,5%	14	35,0%	10	25,0%	5	12,5%	40
A4 - Seis Sigma	21	53,9%	7	18,0%	6	15,4%	5	12,8%	39

Continua

Programas da Qualidade	Não Possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
A5 - <i>Lean Manufacturing</i>	9	23,1%	12	30,8%	13	33,3%	5	12,8%	39
A6 - <i>Lean Sigma</i>	26	68,4%	4	10,5%	6	15,8%	2	5,3%	38
A7 - TPM	16	43,2%	8	21,6%	6	16,2%	7	18,9%	37
A8 - TQM	21	58,3%	4	11,1%	3	8,3%	8	22,2%	36
A9 - 5S	3	7,3%	18	43,9%	8	19,5%	12	29,3%	41

A respeito dos programas da qualidade, todos eles foram citados nas empresas de grande porte. Entretanto, houve duas empresas de médio porte que não possuem nenhum dos programas da qualidade pesquisados implantados.

Nota-se elevada porcentagem de empresas que não possuem os programas Seis Sigma (53,9%), *Lean Sigma* (68,4%) e o TQM – *Total Quality Management* (58,3%), apesar da importância que programas da qualidade exercem na gestão estratégica das empresas e no ganho de competitividade, como afirma Alsaleh (2007). Ao se analisar a presença, especificamente, desses programas da qualidade, que consistem nos principais incentivadores do Pensamento Estatístico nas empresas, nota-se que existe espaço para que tais programas sejam mais difundidos nas empresas amostradas, o que pode propiciar a evolução do uso do PE e das TE nas mesmas, pois, com base em estudo conduzido por Ahmed e Hassan (2003), nas empresas em que houve a implantação do TQM, constatou-se uma aplicação mais extensa das Técnicas Estatísticas.

As empresas foram consultadas a respeito de certificações da qualidade presentes em suas unidades e, nesse caso, observou-se a presença da ISO 9001 e da ISO 14001 em, respectivamente, 97,3% e 59,5% das empresas respondentes (das 42 empresas amostradas, 37 responderam a estas questões).

Esta diferença entre o nível de presença de certificações como ISO 9001 e de Programas da Qualidade como Seis Sigma e TQM pode ser devido ao fato de que, no caso das certificações, estas podem ser exigência de clientes e de blocos econômicos para que haja relações comerciais entre as organizações, ou seja, fatores externos à empresa que forçam sua implantação. Já em relação aos Programas da Qualidade, as iniciativas de implantação devem partir da conscientização interna dos gestores a respeito da importância que as melhorias podem trazer à competitividade da empresa.

Com base no nível de presença da certificação ISO 9001, nota-se um comportamento de busca da qualidade dos processos pelas empresas amostradas, visto que tal certificação, segundo Slack et al. (2006), tem como propósito assegurar que os produtos e serviços sejam oferecidos conforme requisitos da qualidade dos clientes e consumidores. Entretanto, a certificação ISO 9001 não possui potencial em promover o Pensamento Estatístico, pois, segundo Mello et al. (2012), embora a certificação possua um requisito específico para medição, análise e melhoria, no qual é sugerida a utilização de técnicas estatísticas, este é pouco explorado.

5.2 Presença e aplicação do Pensamento Estatístico (PE)

Para identificação da presença dos princípios do Pensamento Estatístico na organização, foram levantadas 13 questões no bloco B do questionário sobre a variabilidade de seus processos e qual a importância dada ao tratamento dos dados e aos sistemas de medição. Tais questões utilizaram as seguintes alternativas de resposta: 1 – Nunca; 2 – Raramente; 3 – Algumas vezes; 4 – Frequentemente; 5 – Sempre.

Fazendo-se a análise das respostas, observa-se que na maioria das empresas não há treinamentos sobre Pensamento Estatístico (64,3% das empresas responderam “Nunca” ou “Raramente” – item B1 da tabela 5.2) e também não há uma disseminação dos princípios estatísticos na manufatura, que seja notada pelos colaboradores, em grande parte das empresas (59,5% das empresas apontaram que os princípios são “Nunca” ou “Raramente” disseminados – item B3). Por outro lado, em praticamente metade das empresas pesquisadas há a difusão do conceito de que a redução da variação é fundamental para o desempenho da manufatura (47,6% responderam como “Frequentemente” ou “Sempre” – item B13) e também há o conceito de variabilidade difundido pela organização (40,5% responderam “Frequentemente” ou “Sempre” – item B7). Tais resultados, bem como os resultados dos outros questionamentos, estão expostos na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Resultados sobre a aplicação e difusão de conceitos do Pensamento Estatístico.

Itens Abordados sobre PE	Nunca / Raramente		Algumas vezes		Frequentemente / Sempre		Total de Respostas
B1 - Colaboradores da manufatura recebem treinamento continuado sobre PE.	27	64,3%	11	26,2%	4	9,5%	42
B2 - Alta administração apoia a implantação do PE.	17	40,5%	12	28,5%	13	31,0%	42
B3 - O uso dos princípios estatísticos é disseminado e estimulado.	25	59,5%	10	23,8%	7	16,7%	42
B4 - O processo de manufatura principal da unidade está sob controle estatístico, incorrendo somente causas comuns.	20	47,6%	16	38,1%	6	14,3%	42
B5 - Visão de processo consolidada no nível de supervisão e gerência.	11	26,2%	14	33,3%	17	40,5%	42
B6 - Visão de processo consolidada no nível de operadores da manufatura.	19	45,2%	16	38,1%	7	16,7%	42
B7 - Conceito de variabilidade do processo difundido na organização (entendimento das causas comuns e causas especiais).	14	33,3%	11	26,2%	17	40,5%	42
B8 - Difusão da importância de se entender e analisar um processo pela análise quantitativa da variação.	17	40,5%	9	21,4%	16	38,1%	42
B9 - Supervisão e gerência estimulam e se envolvem na coleta e análise de dados.	14	33,3%	17	40,5%	11	26,2%	42
B10 - Difusão da importância da confiabilidade nos sistemas de medição.	24	57,2%	10	23,8%	8	19,0%	42
B11 - Utilização de análise de dados para suportar a tomada de decisão.	17	40,5%	10	23,8%	15	35,7%	42
B12 - Utilização de análise causa e efeito baseado em dados dos processos.	16	38,1%	8	19,0%	18	42,9%	42
B13 - Difusão do conceito e importância da redução da variação para manufatura.	14	33,3%	8	19,0%	20	47,6%	42

De maneira geral, nota-se que as empresas da amostra ainda não estão totalmente inseridas na filosofia de Pensamento Estatístico, demonstrando que há um grande espaço para melhoria dos processos por meio da utilização dos princípios estatísticos.

Nota-se que as tomadas de decisão em mais de 40% das empresas pesquisadas não são suportadas, ou raramente são, por análises estatísticas (40,5% das empresas responderam as opções 1 - “Nunca” ou 2 - “Raramente” – item B11). Tal situação é considerada uma barreira à difusão do PE por autores como Bjerke e Hersleth (2001).

Acerca da pequena aplicação dos treinamentos sobre PE aos colaboradores (somente 9,5% das empresas respondentes afirmaram ter elevada frequência de treinamentos – respostas 4 e 5 do questionário – item B1), este fato revela o pouco incentivo ao ensino dos conceitos estatísticos nas empresas, o que representa um obstáculo à difusão do PE, como já foi observado por autores como Montgomery (2010). A visão por processo, na amostra coletada, possui uma maior difusão em nível gerencial do que operacional, o que pode ser resultado do baixo nível de treinamento aos colaboradores sobre PE identificado.

Outro resultado percebido que vai ao encontro do verificado em teoria, principalmente em autores como Ahmed e Hassan (2003) e Grigg e Walls (2007), diz respeito à ausência de suporte da alta administração das empresas para o uso do Pensamento Estatístico (item B2), que, neste trabalho, representa 40,5% das respostas como “Nunca” ou “Raramente” apoiam iniciativas relacionadas ao PE e somente 4,5% como “Sempre” apoiam. Considerando-se o engajamento da alta administração como um fator crítico de sucesso à difusão do PE, como afirma Abrahan (2005), a sua significativa ausência notada na amostra deste trabalho revela uma grande oportunidade para conscientização da alta gerência sobre a importância e potencial dos conceitos estatísticos para as empresas.

5.3 Uso de Técnicas Estatísticas (TE)

Para avaliar a frequência de aplicação das Técnicas Estatísticas básicas/intermediárias e avançadas, foram analisadas respostas para sete questões com múltiplos itens abordados no bloco C do questionário. As questões utilizaram a seguinte legenda para resposta: 1 – Nunca; 2 – Raramente; 3 – Algumas vezes; 4 – Frequentemente; 5 – Sempre.

- *Técnicas Estatísticas Básicas/Intermediárias*

O gráfico 5.3 contempla as proporções de utilização das técnicas básicas e intermediárias (conforme frequência de utilização), consideradas de baixo grau de complexidade e sem a necessidade de elevada compreensão estatística para aplicação.

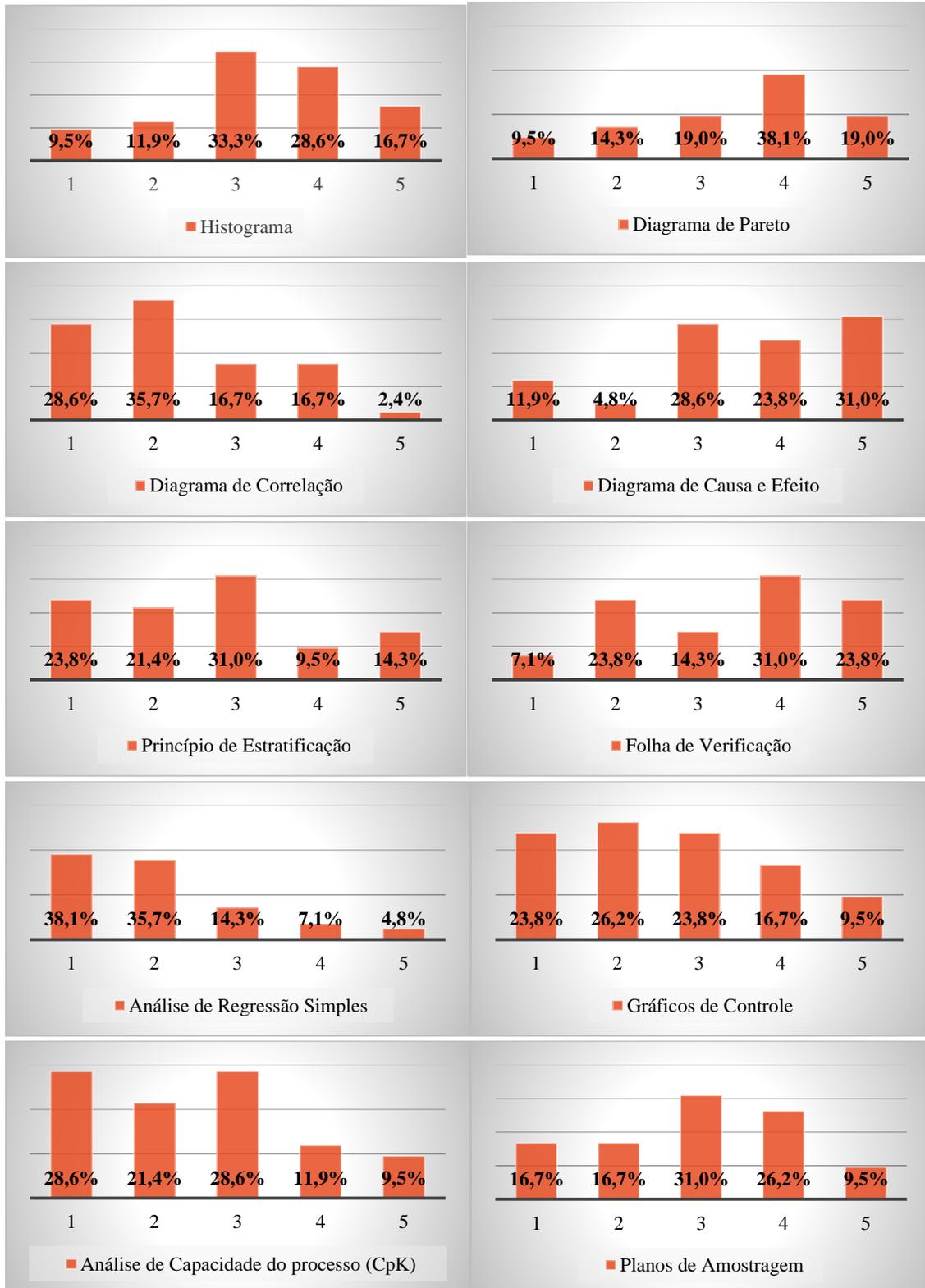


Gráfico 5.3: Frequência de uso de Técnicas Estatísticas básicas/intermediárias.

- *Técnicas Estatísticas Avançadas*

O gráfico 5.4 contempla as proporções de utilização das técnicas avançadas (conforme frequência de utilização), consideradas de alto grau de complexidade e com a necessidade de uma maior compreensão estatística para aplicação.



Gráfico 5.4: Frequência de uso de Técnicas Estatísticas avançadas.

Ao analisar de forma global os resultados obtidos para técnicas básicas/intermediárias e avançadas, nota-se uma clara diferença nas distribuições de frequência entre o primeiro e o segundo grupo. Enquanto as técnicas básicas/intermediárias são mais amplamente utilizadas pelas empresas, as avançadas possuem grande concentração

nas menores frequências (1 – “Nunca” e 2 – “Raramente”), demonstrando um uso significativamente mais esporádico. Esta diferença entre a frequência de utilização de técnicas conforme sua complexidade também foi notada em outros trabalhos relacionados sobre a abordagem estatística, como em Santos e Antonelli (2011) e em Grigg e Walls (2007), cujas pesquisas abordaram indústrias de alimentos localizadas, respectivamente, no estado de São Paulo e no Reino Unido.

A tabela 5.3 resume de forma mais objetiva as diferenças entre a utilização das técnicas básicas/intermediárias e as técnicas avançadas, com a exposição do percentual das empresas respondentes nas opções 4 (“Frequentemente”) e 5 (“Sempre”) para as técnicas estatísticas pesquisadas neste trabalho, organizadas da maior utilização para a menor.

Tabela 5.3: Proporção de respostas 4 ("Frequentemente") e 5 ("Sempre") para as TE pesquisadas.

	Técnicas Estatísticas	Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Básicas / Intermediárias	Diagrama de Pareto	24	57,1%	42
	Diagrama Causa e Efeito	23	54,8%	42
	Folha de Verificação	23	54,8%	42
	Histograma	19	45,2%	42
	Planos de Amostragem	15	35,7%	42
	Gráfico de Controle	11	26,2%	42
	Princípio de Estratificação	10	23,8%	42
	Análise de capacidade processo (CpK)	9	21,4%	42
	Diagrama de Correlação	8	19,0%	42
	Análise de Regressão Simples	5	11,9%	42
Avançadas	Simulação de Fluxos e Processos	6	14,3%	42
	Measurement System Analysis	6	14,3%	42
	Design of Experiments (DOE)	4	9,5%	42
	Analysis of Variance – ANOVA	3	7,1%	42

Continua

	Técnicas Estatísticas	Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Avançadas	Teste de Hipótese	3	7,1%	42
	Análise de Regressão Múltipla	1	2,4%	42
	Análise Multivariada	1	2,4%	42

As técnicas básicas/intermediárias apresentaram maiores percentuais do que as técnicas avançadas, as quais não ultrapassaram o percentual de 15%. A exceção verificada corresponde à técnica “Análise de Regressão Simples”, a qual foi considerada básica/intermediária na elaboração do instrumento de pesquisa, entretanto retornou um padrão de utilização (11,9%) semelhante ao das técnicas avançadas. Tal fato indica que as empresas amostradas neste trabalho consideram esta técnica como de maior complexidade.

A respeito da aplicação sistemática das TE, independentemente do nível de complexidade, metade das empresas pesquisadas afirmaram fazer uso sistemático das técnicas. Para as que responderam negativamente a esta questão, total de 21 empresas (50% da amostra), indagou-se sobre os motivos que levavam à não utilização, obtendo as justificativas expressas na tabela 5.4.

Tabela 5.4: Frequência de justificativas para não aplicação sistemática das Técnicas Estatísticas.

Justificativas para não aplicação sistemática das TE.	Frequência de resposta
Falta de conhecimento interno que suporte a aplicação sistemática	14
Aplica-se muito esporadicamente, em função de demandas externas e outras prioridades da empresa	11
Falta de uma cultura adequada para aplicação de PE/TE	10
De modo geral o nível de formação e de conhecimento do pessoal não permite essa aplicação	5
Não sentimos a necessidade de aplicação sistemática/rotineira	3
Os gestores vêem as TE somente como algo para se ‘combater incêndios’	3
Tem-se uma visão predominante de que a aplicação de PE/TE é complexa	2
Os gestores acreditam que as TE só são utilizadas no chão de fábrica e não são importantes para questões gerenciais e estratégicas.	2
Não se acredita no potencial da aplicação de PE/TE	1

Nota-se que os principais fatores para a não utilização sistemática das TE são: a falta de conhecimento interno que suporte sua aplicação (14 de 21 empresas relataram este fator – 66,7%), a não priorização do uso das TE em função de outras atividades consideradas mais importantes (11 de 21 empresas destacaram este fator - 52,4%) e a ausência de uma cultura adequada que estimule a aplicação do PE e TE (10 de 21 empresas - 47,6%). O fator menos relatado pelos entrevistados é a falta de crença no potencial do PE e TE (1 de 21 empresas relataram esta justificativa – 4,7%), o que indica que as empresas da amostra que ainda não utilizam as Técnicas Estatísticas acreditam na sua importância.

Com relação à principal justificativa relatada, que é a falta de conhecimento interno que suporte a aplicação do PE e TE, esta vai ao encontro de obstáculos à difusão do PE e TE citados por Ahmed e Hassan (2003), Makrymichalos et al. (2005), Montgomery (2010) e Coleman (2013), como a ausência de conhecimento estatístico pelos gerentes e engenheiros de manufatura, e também relatados por Abrahan (2005), como o desencontro do ensino estatístico e as necessidades práticas das empresas. A justificativa relatada de não priorização do uso das TE em função de outras atividades consideradas mais importantes pode ser resultado da falta de suporte e envolvimento da alta direção para promover a aplicação do PE e TE, que é um obstáculo à sua difusão citado por autores como Ahmed e Hassan (2003), Grigg e Walls (2007) e Firka (2011).

5.4 Resultados percebidos com aplicação de PE e TE

Para avaliação dos resultados percebidos com aplicação do Pensamento Estatístico e de Técnicas Estatísticas, foram formuladas 15 questões no bloco D do questionário, cujas alternativas de repostas foram definidas como: 1 – Nenhum; 2 – Pequeno; 3 – Moderado; 4 – Grande (fortemente); 5 – Muito grande.

Ao avaliar as respostas obtidas, concluiu-se que os principais resultados percebidos com a utilização do PE e TE fazem referência à redução de não conformidades (item D1), ao aumento na satisfação dos clientes (item D3), ao aumento da produtividade (item D7), à satisfação dos tomadores de decisão (item D9), à contribuição para consolidação dos programas de melhoria (item D12) e também à contribuição para a mudança cultural em prol da qualidade (item D15). Tal fato pode ser constatado pela representatividade das respostas obtidas, conforme tabela 5.5.

Tabela 5.5: Resultados percebidos com a aplicação do PE e TE.

Resultado com aplicação do PE e TE	Nenhum / Pequeno		Moderado		Grande / Muito Grande	
	Contagem	Porcentagem	Contagem	Porcentagem	Contagem	Porcentagem
D1 - Redução de não conformidades internas na planta industrial.	8	19,0%	22	52,4%	12	28,6%
D2 - Redução de não conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução ou reclamações).	12	28,6%	13	31,0%	17	40,5%
D3 - Aumento no nível de satisfação dos clientes.	10	23,8%	15	35,7%	17	40,5%
D4 - Redução nos custos da não qualidade.	17	40,5%	14	33,3%	11	26,2%
D5 - Redução no tempo de ciclo de produção.	11	26,2%	16	38,1%	15	35,7%
D6 - Redução nos custos de produção decorrente do PE e TE.	11	26,2%	21	50,0%	10	23,8%
D7 - Aumento na produtividade.	9	21,4%	16	38,1%	17	40,5%
D8 - Melhoria nos índices de capacidade do processo (Cpk).	18	42,9%	13	31,0%	11	26,2%
D9 - Nível de satisfação dos tomadores de decisão com o uso do PE.	9	21,4%	18	42,9%	15	35,7%
D10 - Colaboradores do nível operacional se sentem motivados para aplicação do PE e TE.	19	45,3%	15	35,7%	8	19,0%
D11 - O nível de compreensão dos processos e da capacidade de resolução de problemas com o uso do PE e das TE.	13	31,0%	19	45,2%	10	23,8%
D12 - Contribuição do PE e TE para consolidação dos programas de melhoria (Seis Sigma, Lean, TPM).	11	26,2%	17	40,5%	14	33,3%
D13 - Redução da variabilidade e da melhoria da estabilidade dos processos com o PE e TE.	13	31,0%	17	40,4%	12	28,6%
D14 - Aumento do comprometimento com a medição quantitativa da variabilidade dos processos com o uso do PE e TE.	12	28,6%	14	33,3%	16	38,1%
D15 - Contribuição à mudança cultural da organização em prol da qualidade.	10	23,8%	17	40,5%	15	35,7%

Por outro lado, com relação à redução dos custos da não qualidade (item D4) e à melhoria dos índices de capacidade do processo (item D8), mais de 40% da amostra não

acreditam que estes fatores tenham relação com o uso sistemático do PE e TE, apesar de, como afirma Deming (1986), estes fatores serem resultado da redução da variação proporcionado pela aplicação do PE e TE.

Outro resultado identificado foi que os colaboradores de nível operacional não se sentem motivados e confortáveis com a aplicação do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas (item D10), visto que 45,3% das empresas se enquadraram nas classificações “Nenhum” e “Pequeno”. Tal fato pode ser reflexo do pouco treinamento sobre PE aplicado nas empresas, resultado observado no bloco B do questionário.

Com relação aos principais resultados (benefícios) obtidos com a aplicação do PE e das TE, nota-se a percepção quanto a contribuição para aumento da produtividade (40,5% das empresas indicaram percepção como “Grande” e “Muito Grande” – item D7), o aumento da satisfação do cliente (40,5% das empresas indicaram percepção como “Grande” e “Muito Grande” – item D3) e a contribuição do PE e TE para uma mudança de cultura em prol da qualidade (35,7% das empresas responderam como “Grande” e “Muito Grande” – item D15). Tais percepções indicam o potencial do PE e TE em proporcionar ganhos significativos às empresas, o que também foi observado nos trabalhos de Grigg e Walls (2007) e de Santos e Antonelli (2011) em indústria de alimentos.

Tais resultados percebidos demonstram que o uso do PE e aplicação das TE apresentam potencial em contribuir para um melhor desempenho do setor de bens capital, podendo, por exemplo, aumentar a produtividade do setor, a qual, segundo Avellar (2008), é uma das deficiências do setor de bens de capital brasileiro e também contribuir para melhorar a qualidade de seus produtos, que, segundo Mastrantonio (2009), é um dos principais fatores de competitividade do setor.

6. ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS

Neste capítulo estão apresentados os principais resultados das análises multivariadas efetuadas por meio do software R, como a análise de *cluster*, análises de associação, de correlação e testes complementares para comparação de médias. Essas análises foram conduzidas com a intenção de identificar se há ou não algum grau diferenciado de maturidade no uso de PE e TE entre as empresas da amostra. Também buscou-se identificar, por exemplo, se a presença de programas e certificações da qualidade nas empresas pode influenciar no uso de PE e TE.

6.1 Análise de *cluster*

Segundo Hair Jr et al. (2005), a análise de agrupamento (*cluster*) pertence à área da estatística multivariada e consiste em um conjunto de técnicas com a finalidade de integrar objetos com base nas características semelhantes que possuem, em relação a um critério pré-estabelecido. Dessa forma, os agrupamentos formados devem exibir elevada homogeneidade interna (dentro do grupo) e elevada heterogeneidade externa (entre os grupos).

A análise de *cluster* foi realizada utilizando como variáveis, para definição dos grupos, os níveis de presença do PE, de uso das TE e dos resultados percebidos com a aplicação do PE e TE, tendo como objetivo, a partir da formação dos grupos, permitir a análise de associação entre as certificações e programas da qualidade com os agrupamentos gerados.

6.1.1 Procedimento para formação dos *clusters*

Primeiramente, para proceder com a análise de *cluster*, calculou-se o escore de 0 a 100 para os blocos B (Presença e Aplicação do Pensamento Estatístico) e C (Uso de Técnicas Estatísticas) do instrumento de pesquisa, de forma que fosse possível uma melhor interpretação e comparação dos resultados do que se fosse utilizada a escala de 1 a 5, como adotada no questionário. Para o bloco B consideram-se todas as perguntas do bloco e para o

bloco C consideraram-se todas as questões, com exceção da primeira e da segunda, que possuem escalas distintas das demais.

O escore é calculado para cada empresa, considerando todas as suas respostas para o bloco B e para o bloco C. Assim, cada empresa tem um escore para cada bloco do instrumento de pesquisa, conforme suas respostas para cada questão. O cálculo do escore para uma empresa para um bloco é feito da seguinte maneira:

1º - Cálculo da média das respostas do bloco para cada empresa baseado na escala adotada para as alternativas.

$$Média = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi$$

Onde:

n = nº de perguntas

x = resposta conforme escala adotada (1 a 5)

2º - Cálculo do escore com a transformação da escala de 1 a 5 em uma escala de 0 a 100:

$$Escore = \frac{\{[(Média * 4) - 4] * 100\}}{16}$$

Com isso, tem-se o escore de cada empresa por bloco, variando-se de 0 (zero) a 100 e mantendo-se a interpretação da escala de 1 a 5, ou seja, zero representa o pior resultado e 100 o melhor. A tabela com o cálculo de todos os escores para cada bloco do questionário segue expressa no Apêndice C.

Buscando a padronização com os demais blocos do questionário, o bloco D (Resultados Percebidos com a Aplicação do PE e TE) teve sua escala alterada de 0 (zero) a 100, conforme expresso em tabela 6.1.

Tabela 6.1: Alteração de escala do Bloco D para análise de *cluster*.

Escala original do questionário	Escala adotada para análise de <i>cluster</i>
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100

Para o bloco D, a transformação de escala envolveu todas as questões e os resultados seguem descritos em Apêndice C. A partir destes cálculos de escore para os blocos B, C e transformação da escala para o bloco D, prosseguiu-se com a análise de *cluster* no *software R*, buscando identificar grupos com características homogêneas internamente.

Para formação dos grupos na análise de *cluster* foi utilizada a medida de dissimilaridade Euclidiana e, conforme sugestão de Malhotra (2006), na análise dos dados, inicialmente, utilizou-se procedimento hierárquico para formação dos grupos e após a aglomeração não-hierárquica.

A técnica de agrupamento hierárquico utilizada foi o método de *Ward*, o qual não permite que uma empresa altere seu grupo conforme a formação dos agrupamentos. Após a definição do número de *clusters* foi realizado um ajuste pelo método não hierárquico *K-means*, o qual permite que o indivíduo, no caso a empresa de bens de capital, mude de *cluster* de acordo com a formação dos grupos (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Os grupos formados, inicialmente, por meio do método de *Ward* estão apresentados no gráfico 6.1, a partir da qual se pode identificar que o melhor agrupamento ocorre ao se considerar dois (linha pontilhada superior do dendograma) ou três *clusters* (linha pontilhada intermediária), haja vista a distância vertical entre os grupos formados. Para este trabalho, adotou-se a formação de três grupos, visto que houve uma discriminação suficiente das características distintas entre si.

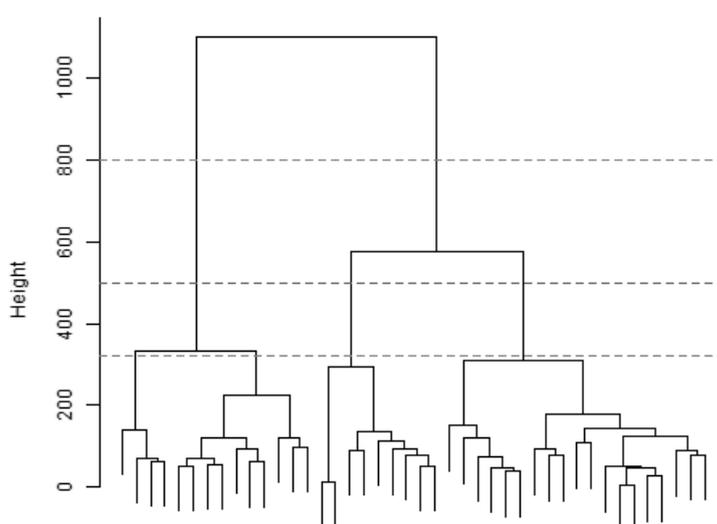


Gráfico 6.1: Dendograma formado pelo método hierárquico *Ward*.

Ao analisar os grupos formados pelo gráfico 6.2, observa-se que é necessário um ajuste na distribuição das empresas entre os três grupos (*clusters*) definidos pelo método hierárquico, pois uma das questões do bloco D (questão 14) do instrumento de pesquisa não está bem discriminada entre o *cluster 1* e o *cluster 3*.

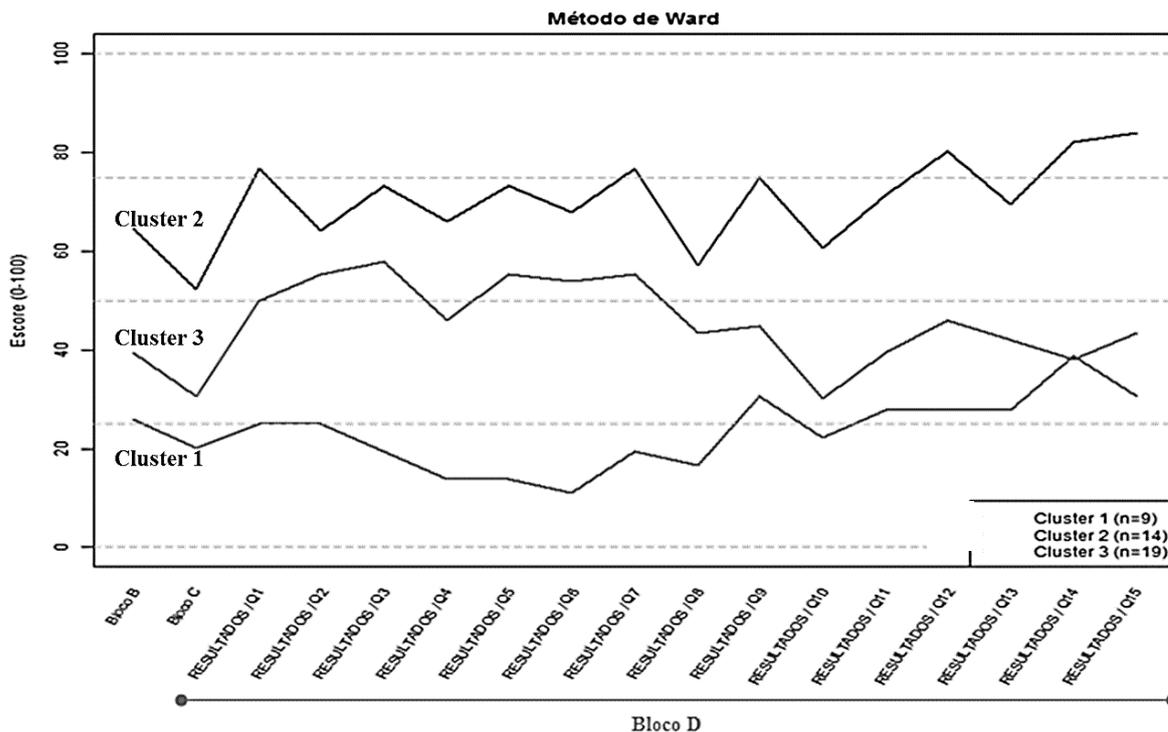


Gráfico 6.2: Distribuição do escore pelos grupos formados pelo método hierárquico *Ward*.

Este ajuste foi realizado com a utilização do método não hierárquico *K-means*, obtendo uma melhor distribuição das 42 empresas amostradas dentre os três agrupamentos formados previamente, conforme expressa no gráfico 6.3.

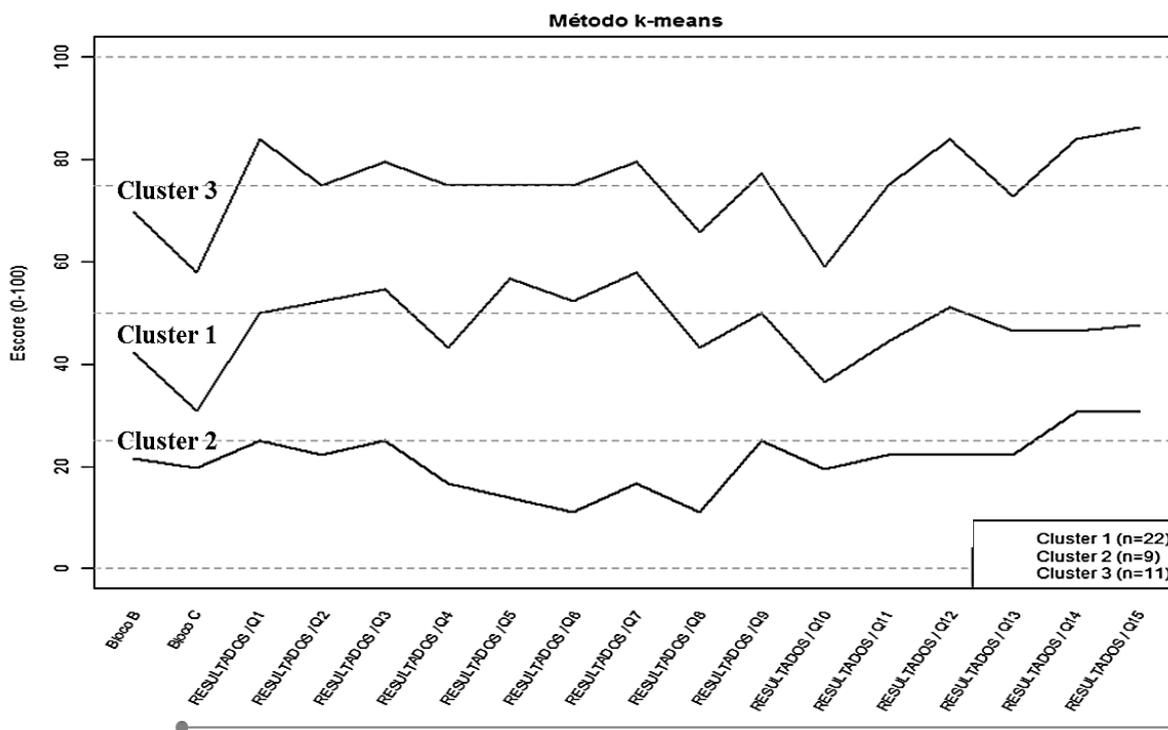


Gráfico 6.3: Distribuição do escore pelos grupos formados pelo método não hierárquico *K-means*.

Com a utilização do método não hierárquico *K-means*, observa-se uma melhor distribuição das empresas entre os três *clusters* (sem a sobreposição de escores, como havia ocorrido pelo método de *Ward*, para a questão 14 – Q14 do bloco D), apresentando características similares internamente, as quais estão descritas nos tópicos seguintes deste capítulo. Os resultados de todos os cálculos dos escores por *cluster* formado, com a média, desvio-padrão e mediana, para o bloco B, o bloco C e as questões individuais do bloco D, podem ser observados no Apêndice D.

6.1.2 Descrição das características do *cluster* 1

Composto por 22 empresas, as quais demonstram um escore intermediário para as variáveis consideradas, ou seja, escore bloco B, escore bloco C (sem questões 1 e 2) e as respostas de cada questão individualmente do bloco D. Das 22 empresas deste *cluster*, oito são de médio porte (36,3%) e 14 (63,6%) de grande porte.

Ao avaliar a presença das certificações questionadas no bloco A do Questionário, a ISO 9001 e a ISO 14001 ganham destaque. Das 22 empresas deste *cluster*, duas se abstiveram da resposta e, sendo assim, as respostas apresentadas (20 no total para este *cluster*) seguem na tabela 6.2, com os resultados para a pesquisa destas certificações.

Tabela 6.2: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do *cluster* 1.

	Presença no <i>Cluster</i> 1	Ausência no <i>Cluster</i> 1
Certificação ISO 9001	19 (95%)	1 (5%)
Certificação ISO 14001	9 (45%)	11 (55%)

A respeito dos programas da qualidade pesquisados no bloco A do instrumento de pesquisa, seguem descritos na tabela 6.3 os resultados obtidos para as empresas respondentes agrupadas no *cluster* 1.

Tabela 6.3: Presença dos programas da qualidade nas empresas do *cluster* 1.

Programas da Qualidade	Não possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
	1	4,8%	9	42,9%	7	33,3%	4	19,0%	
Iniciativas de Melhoria no Dia a Dia	1	4,8%	9	42,9%	7	33,3%	4	19,0%	21
Programa Caixa de Sugestões	6	28,6%	6	28,6%	4	19,0%	5	23,8%	21

Continua

Programas da Qualidade	Não possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
Eventos Kaizen	4	19,0%	9	42,9%	5	23,8%	3	14,3%	21
Seis Sigma	12	57,1%	3	14,3%	3	14,3%	3	14,3%	21
<i>Lean Manufacturing</i>	5	23,8%	8	38,1%	6	28,6%	2	9,5%	21
<i>Lean Sigma</i>	13	65,0%	3	15,0%	2	10,0%	2	10,0%	20
TPM	11	57,9%	3	15,8%	1	5,3%	4	21,0%	19
TQM	12	66,7%	2	11,1%	0	0,0%	4	22,2%	18
5S	1	4,6%	11	50,0%	3	13,6%	7	31,8%	22

Mesmo este *cluster* representando resultados intermediários, nota-se elevada proporção de empresas do *cluster* 1 que não possui programas da qualidade como Seis Sigma, *Lean Sigma*, TPM e TQM. Entretanto, ao se observar a presença da certificação ISO 9001, 95% das empresas deste *cluster* relataram serem certificadas.

Sobre as técnicas estatísticas mais utilizadas nas empresas deste *cluster*, nota-se uma significativa diferença entre o grau de aplicação das técnicas básicas/intermediárias e avançadas, como pode ser observado em tabela 6.4.

Tabela 6.4: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no *cluster* 1.

	Técnicas Estatísticas	Nunca / Raramente		Algumas Vezes		Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Básicas/Intermediárias	Histograma	6	27,3%	9	40,9%	7	31,8%	22
	Diagrama de Pareto	6	27,3%	5	22,7%	11	50,0%	22
	Diagrama de Correlação	16	72,7%	4	18,2%	2	9,1%	22
	Diagrama Causa e Efeito	4	18,2%	7	31,8%	11	50,0%	22
	Princípio de Estratificação	10	45,5%	8	36,4%	4	18,2%	22
	Folha de Verificação	7	31,8%	3	13,6%	12	54,6%	22
	Análise de Regressão Simples	18	81,8%	3	13,6%	1	4,5%	22

Continua

	Técnicas Estatísticas	Nunca / Raramente		Algumas Vezes		Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Básicas/Intermediárias	Gráfico de Controle	12	54,6%	5	22,7%	5	22,7%	22
	Análise de capacidade processo (CpK)	13	59,2%	7	31,8%	2	9,0%	22
	Planos de Amostragem	7	31,8%	9	40,9%	6	27,3%	22
Avançadas	Design of Experiments (DOE)	18	81,8%	3	13,6%	1	4,5%	22
	Measurement System Analysis	17	77,3%	4	18,2%	1	4,5%	22
	Analysis of Variance – ANOVA	19	86,6%	2	9,0%	1	4,5%	22
	Teste de Hipótese	21	95,5%	1	4,5%	0	0,0%	22
	Simulação de Fluxos e Processo	15	68,2%	7	31,8%	0	0,0%	22
	Análise de Regressão Múltipla	21	95,5%	1	4,5%	0	0,0%	22
	Análise Multivariada	22	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	22

Nenhuma das empresas deste *cluster* relatou que sempre utiliza as técnicas avançadas, o que pode expressar a dificuldade de uso de técnicas estatísticas com maior grau de complexidade.

6.1.3 Descrição das características do *cluster 2*

É composto por nove empresas que apresentam os piores resultados obtidos nos escores dos blocos B e C e nas respostas de cada questão do bloco D. Destas nove empresas, quatro são de médio porte (44,5%) e cinco são de grande porte (55,5%).

Ao avaliar a presença das certificações questionadas no bloco A do Questionário, a ISO 9001 e a ISO 14001 ganham destaque. Das nove empresas deste *cluster*, três optaram por não apresentar resposta, sendo assim, as respostas (seis no total para este *cluster*) seguem na tabela 6.5, com os resultados para a pesquisa destas certificações nas empresas agrupadas no *cluster 2*.

Tabela 6.5: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do *cluster 2*.

	Presença no <i>Cluster 2</i>	Ausência no <i>Cluster 2</i>
Certificação ISO 9001	6 (100%)	0 (0%)
Certificação ISO 14001	5 (83,3%)	1 (16,7%)

Com relação aos programas da qualidade pesquisados no bloco A do instrumento de pesquisa, seguem descritos na tabela 6.6 os resultados obtidos para as empresas respondentes agrupadas no *cluster 2*.

Tabela 6.6: Presença dos programas da qualidade nas empresas do *cluster 2*.

Programas da Qualidade	Não Possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
Iniciativas de Melhoria no Dia a Dia	2	25,0%	3	37,5%	2	25,0%	1	12,5%	8
Programa Caixa de Sugestões	3	37,5%	4	50,0%	1	12,5%	0	0,0%	8
Eventos Kaizen	4	50,0%	3	37,5%	1	12,5%	0	0,0%	8
Seis Sigma	5	71,4%	2	28,6%	0	0,0%	0	0,0%	7
<i>Lean Manufacturing</i>	3	42,8%	2	28,6%	2	28,6%	0	0,0%	7
<i>Lean Sigma</i>	7	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	7
TPM	4	57,1%	2	28,6%	1	14,3%	0	0,0%	7
TQM	7	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	7
5S	2	25,0%	4	50,0%	1	12,5%	1	12,5%	8

Observa-se que os programas da qualidade *Lean Sigma* e TQM não são utilizados por nenhuma das empresas deste *cluster*.

Nota-se também que mais da metade das empresas respondentes deste *cluster* possui o *Lean Manufacturing* implantado, o que indica uma preocupação com a qualidade, melhoria contínua e redução de desperdícios. Por outro lado, o programa Seis Sigma apresentou elevada ausência neste *cluster*, o que pode refletir no baixo uso do Pensamento Estatístico, resultado obtido a partir do cálculo do escore do bloco B.

Com relação às técnicas estatísticas utilizadas nas empresas deste *cluster*, nota-se que a presença é muito baixa, independentemente de as técnicas serem básicas/intermediárias ou avançadas, como pode ser visto em tabela 6.7.

Tabela 6.7: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no *cluster 2*.

	Técnicas Estatísticas	Nunca / Raramente		Algumas Vezes		Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Básicas / Intermediárias	Histograma	3	33,3%	4	44,4%	2	22,2%	9
	Diagrama de Pareto	4	44,4%	3	33,3%	2	22,2%	9
	Diagrama de Correlação	7	77,8%	2	22,2%	0	0,0%	9
	Diagrama Causa e Efeito	3	33,3%	4	44,4%	2	22,2%	9
	Princípio de Estratificação	8	88,9%	1	11,1%	0	0,0%	9
	Folha de Verificação	5	55,6%	2	22,2%	2	22,2%	9
	Análise de Regressão Simples	9	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	9
	Gráfico de Controle	6	66,7%	3	33,3%	0	0,0%	9
	Análise de capacidade processo (CpK)	6	66,7%	3	33,3%	0	0,0%	9
	Planos de Amostragem	5	55,6%	2	22,2%	2	22,2%	9
Avançadas	Design of Experiments (DOE)	8	88,9%	1	11,1%	0	0,0%	9
	Measurement System Analysis	8	88,9%	1	11,1%	0	0,0%	9
	Analysis of Variance – ANOVA	8	88,9%	1	11,1%	0	0,0%	9
	Teste de Hipótese	8	88,9%	0	0,0%	1	11,1%	9
	Simulação de Fluxos e Processos	9	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	9
	Análise de Regressão Múltipla	9	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	9
	Análise Multivariada	9	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	9

Dentre as técnicas básicas/intermediárias, nota-se grande ausência de gráficos de controle, do diagrama de pareto, do diagrama de correlação e da análise de capacidade do processo.

6.1.4 Descrição das características do *cluster 3*

É composto por 11 empresas que demonstram os melhores resultados dos escores para os blocos B e C e nas respostas de cada questão do bloco D. Destas 11 empresas, duas são de médio porte (18,2%) e nove são de grande porte (81,8%).

Ao avaliar a presença das certificações questionadas no bloco A do Questionário, a ISO 9001 e a ISO 14001 também ganham destaque para as empresas do *cluster 3*. Todas as 11 empresas deste *cluster* optaram por apresentar resposta e, assim, das respostas apresentadas, seguem na tabela 6.8 os resultados para a pesquisa destas certificações nas empresas agrupadas no *cluster 3*.

Tabela 6.8: Presença das certificações ISO 9001 e ISO 14001 nas empresas do *cluster 3*.

	Presença no <i>Cluster3</i>	Ausência no <i>Cluster3</i>
Certificação ISO 9001	11 (100%)	0 (0%)
Certificação ISO 14001	8 (72,7%)	3 (27,3%)

A respeito dos programas da qualidade pesquisados no bloco A do instrumento de pesquisa, nota-se que, para todos eles, exceto para o *Lean Sigma*, uma presença acima de 50,0% nas empresas deste *cluster*, como pode ser notado na tabela 6.9.

Tabela 6.9: Presença dos programas da qualidade nas empresas do *cluster 3*.

Programas da Qualidade	Não possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
	1	9,1%	2	18,1%	3	27,3%	5	45,5%	
Iniciativas de Melhoria no Dia a Dia	1	9,1%	2	18,1%	3	27,3%	5	45,5%	11
Programa Caixa de Sugestões	3	27,3%	2	18,1%	3	27,3%	3	27,3%	11
Eventos kaizen	3	27,3%	2	18,15%	4	36,4%	2	18,15%	11
Seis Sigma	4	36,4%	2	18,15%	3	27,3%	2	18,15%	11
<i>Lean Manufacturing</i>	1	9,1%	2	18,1%	5	45,5%	3	27,3%	11
<i>Lean Sigma</i>	6	54,5%	1	9,1%	4	36,4%	0	0,0%	11
TPM	1	9,1%	3	27,3%	4	36,4%	3	27,3%	11
TQM	2	18,15%	2	18,15%	3	27,3%	4	36,4%	11
5S	0	0,0%	3	27,3%	4	36,4%	4	36,4%	11

Observa-se que programas da qualidade que demandam maior grau de envolvimento da organização e dos colaboradores, como o TQM (*Total Quality Management*) e o TPM (*Total Productive Maintenance*), apresentaram maior nível de presença comparado aos demais *clusters*, a qual corresponde, respectivamente, a 81,85% e a 91,00%.

No que se refere às técnicas estatísticas aplicadas nas empresas do *cluster 3*, observa-se uma melhor distribuição na aplicação das técnicas, sejam elas básicas/intermediárias ou avançadas, embora, de maneira geral, as primeiras tenham uma maior proporção nas categorias “Frequentemente” e “Sempre” do que as segundas, como consta na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Frequência de utilização das Técnicas Estatísticas no *cluster 3*.

	Técnicas Estatísticas	Nunca / Raramente		Algumas Vezes		Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Básicas / Intermediárias	Histograma	0	0,0%	1	9,1%	10	90,9%	11
	Diagrama de Pareto	0	0,0%	0	0,0%	11	100,0%	11
	Diagrama de Correlação	4	36,4%	1	9,1%	6	54,5%	11
	Diagrama Causa e Efeito	0	0,0%	1	9,1%	10	90,09%	11
	Princípio de Estratificação	1	9,1%	4	36,4%	6	54,5%	11
	Folha de Verificação	1	9,1%	1	9,1%	9	81,8%	11
	Análise de Regressão Simples	4	36,4%	3	27,3%	4	36,4%	11
	Gráfico de Controle	3	27,3%	2	18,2%	6	54,5%	11
	Análise de capacidade processo (CpK)	2	18,2%	2	18,2%	7	63,6%	11
	Planos de Amostragem	2	18,2%	2	18,2%	7	63,6%	11
Avançadas	Design of Experiments (DOE)	6	54,5%	2	18,2%	3	27,3%	11
	Measurement System Analysis	3	27,3%	3	27,3%	5	45,5%	11
	Analysis of Variance – ANOVA	6	54,5%	3	27,3%	2	18,2%	11

Continua

	Técnicas Estatísticas	Nunca / Raramente		Algumas Vezes		Frequentemente / Sempre		Total de respostas
Avançadas	Teste de Hipótese	6	54,5%	3	27,3%	2	18,2%	11
	Simulação de Fluxos e Processos	3	27,3%	2	18,2%	6	54,5%	11
	Análise de Regressão Múltipla	7	63,6%	3	27,3%	1	9,1%	11
	Análise Multivariada	7	63,6%	3	27,3%	1	9,1%	11

Para as técnicas avançadas, mesmo sendo o *cluster* com os melhores escores, ainda houve respostas nas categorias “Nunca” e “Raramente”, sendo a maior ocorrência para as técnicas análise de regressão múltipla e análise multivariada, cada uma com sete respostas.

6.2 Análises de associação e correlação

Coefficientes de associação ou correlação são medidas que descrevem, por meio de um único número, a associação ou dependência entre duas variáveis (MORETTIN; BUSSAB, 2004).

Após realização da análise de *cluster*, procedeu-se com as análises de associação entre as variáveis do bloco A do questionário (programas e certificações da qualidade) e os agrupamentos formados (*clusters* 1, 2 e 3), com o objetivo de identificar associações entre os mesmos. Como testes complementares, utilizou-se o teste de comparação de médias para avaliar a presença ou não de relação entre o uso das TE básicas/intermediárias e avançadas com a presença do Seis Sigma e com o porte das empresas amostradas. Também se realizou uma análise de correlação entre os blocos B (Presença e aplicação do Pensamento Estatístico), C (Uso de Técnicas Estatísticas) e D (Resultados percebidos com a aplicação de PE e TE) do instrumento de pesquisa, buscando a identificação de relações entre eles.

6.2.1 Análise de associação

Buscando identificar a ocorrência ou não de associação entre as variáveis do bloco A e os agrupamentos formados pela análise de *cluster*, realizou-se um teste de hipótese para avaliar se a maior intensidade na aplicação do Pensamento Estatístico (Bloco B), das

Técnicas Estatísticas (Bloco C) e dos resultados percebidos com a aplicação destes (Bloco D) possui relação com a presença de diversas certificações e programas da qualidade. O teste de hipótese, com nível de significância de 5%, segue expresso a seguir:

- H_0 (hipótese nula): Não há associação entre as variáveis do bloco A do questionário (Certificações e Programas da Qualidade) com os resultados dos *clusters* formados.
- H_1 (hipótese alternativa): Existe associação entre as variáveis do bloco A do questionário (Certificações e Programas da Qualidade) com os resultados dos *clusters* formados.

Para afirmar ou refutar a H_0 , adotou-se o teste exato de Fisher entre variáveis qualitativas, visto que este é particularmente usado para situações em que se encontram baixas frequências esperadas, menores do que cinco (BOWER, 2003). Tal teste foi utilizado no lugar do teste de qui-quadrado, pois, para amostras pequenas ($n < 20$) ou para frequências esperadas menores do que cinco, o erro retornado pelo teste exato de Fisher é menor. Como as tabelas de contingência utilizadas no teste de Fisher são 2x3, ou seja, maiores do que 2x2, utilizou-se a extensão do teste descrita em Agresti (2002) e em Mehta e Patel (1986).

Com as análises relacionando os *clusters* formados com a presença ou ausência das certificações e programas da qualidade descritos no bloco A do instrumento de pesquisa, foram obtidos os *p-values*, adotando nível de significância de 5%. Assim, para que seja rejeitada H_0 , ou seja, para que exista associação entre as variáveis, é necessário que o *p-value* seja menor do que 0,05. As tabelas de contingência utilizadas para análise de associação estão expostas no Apêndice E e os resultados seguem descritos em tabela 6.11.

Tabela 6.11: Resultados do teste exato de Fisher (*p-value*) para checar associação.

		<i>p-value</i>	Rejeita H_0? (Significância de 5%)
Certificações da Qualidade consideradas	ISO 9001	0,99	Não
	ISO 14001	0,18	Não
Programas da Qualidade considerados	Iniciativas de Melhoria no dia a dia	0,29	Não
	Programa Caixa de Sugestões	0,90	Não
	Eventos kaizen	0,23	Não
	Seis Sigma	0,43	Não
	<i>Lean Manufacturing</i>	0,28	Não

Continua

		<i>p-value</i>	Rejeita H₀? (Significância de 5%)
Programas da Qualidade considerados	<i>Lean Sigma</i>	0,10	Não
	TPM	0,02	Sim
	TQM	< 0,01	Sim
	5S	0,15	Não

Com base nos resultados expressos, observa-se que existe associação entre os programas da qualidade TQM (*Total Quality Management*) e TPM (*Total Productive Maintenance*) com os grupos formados pela análise de *cluster*, pois os *p-values* obtidos foram menores do que 0,05, rejeitando-se H₀.

No caso do TQM, esta associação pode ser explicada pela grande presença deste programa em empresas do *cluster* 3, especialmente há um período maior de cinco anos (63,7% das empresas deste *cluster*), e pela sua elevada ausência nas empresas dos demais *clusters*, conforme pode ser observado na tabela 6.12.

Tabela 6.12: Presença do programa da qualidade TQM por *cluster*.

TQM	Não possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
<i>Cluster</i> 1 (escore intermediário)	12	66,7%	2	11,1%	0	0,0%	4	22,2%	18
<i>Cluster</i> 2 (menor escore)	7	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	7
<i>Cluster</i> 3 (maior escore)	2	18,15%	2	18,15%	3	27,3%	4	36,4%	11

Tal relação pode ser consequência do TQM consistir, como descreve Slack et al. (2006), em uma filosofia que busca deslocar o foco da qualidade de uma atribuição operacional para uma responsabilidade de toda a organização, apoiando a melhoria contínua e enfatizando a necessidade de se fazer os produtos da maneira correta, evitando custo de falhas e retrabalhos.

A implantação da abordagem TQM nas empresas exerce influência no fomento às técnicas da qualidade, como afirma Ahmed e Hassan (2003), dentre elas as estatísticas, contribuindo para a difusão e aplicação do Pensamento Estatístico. Estes autores destacam ainda que os colaboradores das áreas fabris e de controle da qualidade reconhecem o controle

estatístico do processo como parte do programa TQM, pois este designa que a responsabilidade de melhorar os processos pertence aos próprios colaboradores.

Assim, a relação encontrada neste trabalho, entre o programa TQM e o Pensamento Estatístico e as Técnicas Estatísticas, pode ser decorrência de o TQM incentivar a qualidade em toda a organização e em todos os níveis hierárquicos, havendo estímulo à abordagem estatística.

A respeito da relação identificada para o TPM, esta associação pode ser explicada também pela grande presença deste programa nas empresas do *cluster* 3 (90,91% de presença), as quais possuem os melhores escores calculados para o PE e TE.

Esta associação pode ocorrer em virtude de, como afirma Nakajima (1988), o TPM destacar a importância da manutenção preventiva e incorporar conceitos do TQM, como a autonomia e responsabilidade dos colaboradores para promover a qualidade dos processos e produtos. Cua, McKone e Schroeder (2001) ressaltam ainda que o TPM e o TQM devem caminhar juntos para promover o desenvolvimento de produtos, processos e equipamentos industriais. Dessa forma, diversas técnicas da qualidade são empregadas também para atingir os objetivos do TPM, como, por exemplo, melhorar a eficácia e disponibilidade de equipamentos, o que pode contribuir para a maior presença do PE e das TE.

Por outro lado, não se pode afirmar estatisticamente que existe relação na amostra deste trabalho entre o Seis Sigma e a presença do Pensamento Estatístico, a utilização das Técnicas Estatísticas e os resultados percebidos com aplicação do PE e TE, visto que o *p-value* encontrado foi de 0,63, não se rejeitando, portanto, a H_0 .

Embora diversos autores descrevam uma relação entre o PE e TE com o Seis Sigma, como Makrymichalos et al. (2005) e Goh (2011), ao afirmarem que o sucesso da implantação do Seis Sigma depende da difusão do PE, e os autores Mehrjerdi (2011) e Tennant (2002), ao relatarem que esta implantação depende de um relevante uso das TE, tal relação não pode ser corroborada estatisticamente para a amostra deste trabalho.

Todavia, ao se analisar o Programa Seis Sigma e sua distribuição pelos *clusters* formados, observa-se um comportamento que demonstra que, no *cluster* 3, que é o agrupamento com melhores escores, há uma maior presença do Seis Sigma, conforme expresso na tabela 6.13.

Tabela 6.13: Presença do programa da qualidade Seis Sigma por *cluster*.

Seis Sigma	Não possui		De 0 a 5 anos		De 5 a 10 Anos		Mais de 10 anos		Total de respostas
<i>Cluster 1</i> (escore intermediário)	12	57,1%	3	14,3%	3	14,3%	3	14,3%	21
<i>Cluster 2</i> (menor escore)	5	71,4%	2	28,6%	0	0,0%	0	0,0%	7
<i>Cluster 3</i> (maior escore)	4	36,4%	2	18,15%	3	27,3%	2	18,15%	11

Contudo, ao se analisar individualmente as respostas, observa-se que existem empresas que declararam não possuir o Seis Sigma implantado, mas que apresentaram bom uso das Técnicas Estatísticas, inclusive um uso maior que determinadas empresas que afirmaram possuir o Seis Sigma há mais de dez anos. Tal fato colabora para que a associação analisada e calculada por meio do *p-value* não permita refutar H_0 .

a) Teste Complementar 1 – Análise da relação entre TE e presença do Seis Sigma nas empresas amostradas

Como forma de analisar a evidência estatística da relação do Seis Sigma com o uso das Técnicas Estatísticas, procedeu-se a uma avaliação, comparando a presença e ausência do Seis Sigma, com a frequência de uso das TE, tanto básicas/intermediárias, como avançadas. Para isso, calculou-se um escore para cada empresa, considerando todas suas respostas para as técnicas básicas/intermediárias e também para as técnicas avançadas (os escores calculados estão descritos no Apêndice F). O escore é calculado para que a escala de 1 a 5 utilizada nas questões passe a ser de 0 a 100, conforme fórmula a seguir:

$$Escore = \frac{\{[(Média * 4) - 4] * 100\}}{16}$$

Onde:

Média = média das respostas de uma determinada empresa para questões das TE básicas/intermediárias e avançadas.

Após o cálculo dos escores das empresas, estas foram segregadas conforme a presença e ausência do programa Seis Sigma, tendo então dois subgrupos, para os quais houve o cálculo da média dos escores. A partir disso, as médias foram comparadas pelo teste *t-student*, realizado no *software* estatístico R, com um nível de significância de 5%. Este teste foi utilizado pois, segundo Morettin e Bussab (2004), permite a comparação de médias entre

dois grupos independentes, tendo como pressuposto a normalidade dos dados, a qual foi testada por métodos gráficos com a elaboração de gráficos *normal-plot*, cuja configuração dos pontos se aproximou de uma reta, comprovando a normalidade.

Foram realizados dois testes de hipótese. O primeiro considerando as TE básica/intermediárias e a presença ou não do programa da qualidade Seis Sigma e o segundo contemplando as TE avançadas e a presença do Seis Sigma. Ambos os teste têm como hipótese nula (H_0) a não diferença de utilização das TE conforme presença ou ausência do Seis Sigma e, como hipótese alternativa (H_1), a diferença de utilização das TE conforme a presença deste programa da qualidade. Os resultados (*p-values*) estão descritos na tabela 6.14.

Tabela 6.14: Relação entre a presença/ausência do Seis Sigma e o uso das TE.

Variáveis	Presença do Programa Seis Sigma	Número de observações	Média dos Escores	Desvio padrão	<i>p-value</i>
Escore TE básicas / intermediárias	Não possui	21	42,74	20,70	0,10
	Possui	18	55,28	25,15	
Escore TE Avançadas	Não possui	21	13,10	13,98	0,01
	Possui	18	30,95	24,13	

Observa-se que, para as técnicas estatísticas básicas/intermediárias, não há evidências que permitam afirmar que há seu maior uso devido à presença do programa Seis Sigma, visto que o *p-value* obtido foi de 0,10, maior que 0,05, não se rejeitando, portanto, a H_0 . Por outro lado, para as técnicas estatísticas avançadas, pode-se afirmar que a presença do Seis Sigma promove seu maior uso, pois o *p-value* foi de 0,01, menor que 0,05, rejeitando-se H_0 .

b) Teste Complementar 2 – Análise da relação entre TE e porte das empresas amostradas

Procurou-se analisar também a frequência de utilização das técnicas estatísticas, básicas/intermediárias e avançadas, conforme porte das empresas. Para isso, calculou-se um escore para cada empresa, considerando todas suas respostas para as técnicas básicas/intermediárias e também para as técnicas avançadas, conforme já realizado para teste complementar 1 (os escores calculados estão descritos no Apêndice F).

Após cálculo dos escores de cada empresa, calculou-se sua média, considerando o subgrupo de empresas de médio porte e grande porte, para que estas pudessem ser comparadas pelo teste *t-student*, realizado no *software* estatístico R, com um nível de significância de 5%. Este teste foi utilizado tendo em vista a normalidade dos dados, a qual foi testada pelo mesmo método gráfico utilizado no teste complementar 1.

Foram realizados dois testes de hipótese. O primeiro considerando as TE básica/intermediárias e o porte das empresas e o segundo contemplando as TE avançadas e o porte. Ambos os teste têm como hipótese nula (H_0) a não diferença de utilização das TE conforme porte das empresas e, como hipótese alternativa (H_1), a diferença de utilização das TE conforme o porte. Os resultados (*p-values*) estão descritos na tabela 6.15.

Tabela 6.15: Análise da frequência de uso das TE conforme porte das empresas

Variáveis	Porte da Empresa	Número de observações	Média dos Escores	Desvio padrão	<i>p-value</i>
Escore TE básicas / intermediárias	Grande	28	50,27	24,04	0,22
	Médio	14	40,71	21,47	
Escore TE Avançadas	Grande	28	23,60	22,62	0,18
	Médio	14	14,29	15,72	

Mesmo que a média dos escores das empresas de grande porte sejam maiores do que para as empresas de médio porte, tanto para TE básicas/intermediárias, como para as avançadas, não se pode afirmar que existe uma diferença de média dos escores, ou de uso das TE, conforme porte das empresas pesquisadas.

Tal fato se justifica, pois os *p-values* calculados foram maiores que 0,05 (0,22 para as TE básicas/intermediárias e 0,18 para as TE avançadas), não se rejeitando a H_0 e, portanto, corroborando estatisticamente a ausência de diferença de utilização das TE conforme porte das empresas.

6.2.2 Análise de correlação

Segundo Hair Jr et al. (2005), os coeficientes de correlação assumem valores de -1 a +1. Adotou-se o coeficiente de Pearson (escala no quadro 6.1), visto que há uma relação de linearidade entre as variáveis, ou seja, entre os escores calculados para os blocos do questionário.

Quadro 6.1: Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r)

Valores do coeficiente de Pearson (r + ou -)	Categoria
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Hair Jr et al. (2005).

Utilizou-se a análise de correlação para verificar a ocorrência de relação entre os blocos B (Presença e aplicação do Pensamento Estatístico), C (Uso de Técnicas Estatísticas) e D (Resultados percebidos com a aplicação de PE e TE) do questionário, como forma de atender a um dos objetivos deste trabalho, que é analisar a relação do PE com as TE e com os resultados percebidos com sua aplicação.

Primeiramente, foi necessário calcular o escore de cada empresa para o bloco D como um todo, assim como foi feito para os blocos B e C na análise de *cluster*. Com isso, cada empresa teve seu escore calculado de 0 a 100, para os blocos B, C e D, os quais foram utilizados no cálculo do coeficiente de correlação. Os resultados do cálculo dos escores do bloco D estão apresentados no Apêndice F. Os gráficos de dispersão, para as relações investigadas (blocos B-C e blocos C-D), seguem expressos, respectivamente, nos gráficos 6.4 e 6.5.

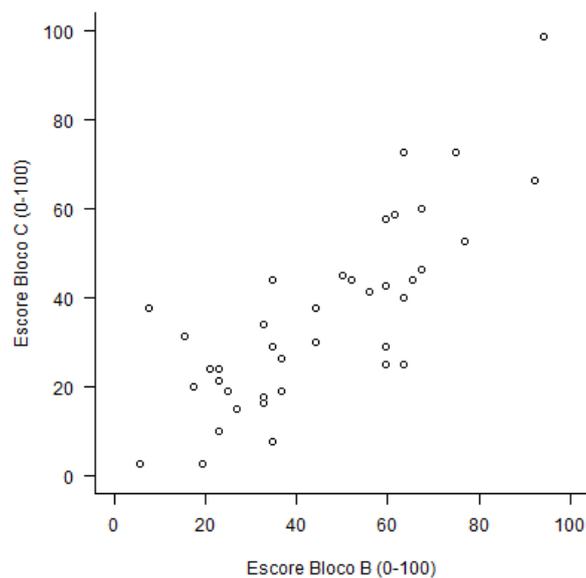


Gráfico 6.4: Gráfico de dispersão dos escores dos blocos B-C por empresa.

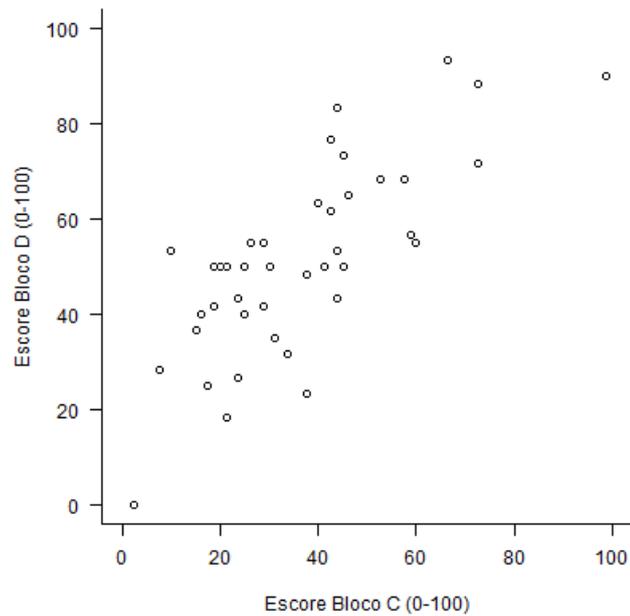


Gráfico 6.5: Gráfico de dispersão dos escores dos blocos C-D por empresa.

Calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), buscando avaliar a ocorrência de relação entre os blocos B e C, bem como entre os blocos C e D, utilizando intervalo de confiança de 95%, com seus resultados demonstrados em tabela 6.16.

Tabela 6.16: Resultados da análise de correlação.

Coeficiente de Correlação de Pearson			
Escore - Bloco C vs	r	Intervalo de confiança = 95%	
Escore - Bloco B	0,80	0,65	0,89
Escore - Bloco D	0,78	0,62	0,88

Nota-se, tendo em vista os valores dos coeficientes de correlação (0,80 e 0,78), que existe uma relação positiva forte entre os blocos B-C e blocos C-D. Pode-se afirmar, portanto, que, para as empresas com maior presença e aplicação do PE, há um maior uso das TE, bem como para as empresas com maior uso de TE, há também melhores resultados percebidos com sua aplicação.

Assim, investir no PE e TE tem potencial de promover melhores resultados na empresa, podendo refletir no aumento da produtividade e no aumento da satisfação dos clientes, que são fatores que garantem, respectivamente, a redução de custos unitários e a obtenção de vantagens competitivas.

6.3 Considerações do capítulo

Com a análise de *cluster*, identificaram-se grupos de empresas com características semelhantes no que diz respeito à presença do PE, aplicação das TE e resultados percebidos com a utilização do PE e TE.

As empresas foram agrupadas em três *clusters* (*cluster* 1 – 22 empresas com escore intermediário; *cluster* 2 – nove empresas com os piores escores; *cluster* 3 – 11 empresas com os melhores escores), entre os quais são observadas diferenças entre a presença do PE, a aplicação das TE e resultados percebidos com a utilização do PE e TE.

Os grupos formados foram utilizados para a realização da análise de associação, a qual buscou identificar a existência de relação entre as certificações e programas da qualidade com os agrupamentos gerados pela análise de *cluster*, ou seja, com a presença do PE, uso das TE e resultados percebidos com a aplicação do PE e das TE.

Com esta análise e o teste utilizado, identificou-se relação entre os programas da qualidade TQM e TPM com a presença do PE, aplicação das TE e os resultados percebidos com a aplicação do PE e TE, o que permite afirmar que, nesta amostra, as presenças do TQM e do TPM influenciam positivamente estes fatores.

Tal relação pode ocorrer em decorrência do TQM, como afirma Slack et al. (2006), ser uma extensão das abordagens anteriores para a administração da qualidade (inspeção – controle – garantia da qualidade), englobando atividades da qualidade já difundidas, como a medição de desempenho dos processos e dos custos da não qualidade, a importância da solução de problemas e das técnicas estatísticas, acrescentando também o conceito de que cada colaborador é fundamental para se garantir a qualidade, pois seu trabalho está totalmente atrelado a fornecedores e consumidores internos, impactando a qualidade final do serviço ou produto oferecido no mercado.

A respeito do TPM, a relação constatada pode ser em virtude deste programa da qualidade, como afirma Slack et al. (2006), adotar determinados princípios comuns ao TQM, como trabalho em equipe e autonomia dos colaboradores, porém voltados à gestão preventiva da manutenção, com o objetivo de aumentar a disponibilidade dos equipamentos, melhorando o desempenho da manutenção. A relação encontrada também pode ser reflexo de que, com o programa TPM, a gestão e melhoria da manutenção contemple, em maior grau, a análise de dados sobre desempenho e falhas dos equipamentos com base em técnicas estatísticas.

Para todas as demais certificações e programas da qualidade não foram identificadas relações estatisticamente válidas. Mesmo para o programa Seis Sigma, não se pode afirmar, para a amostra deste trabalho, que há associação com a presença do PE, aplicação das TE e resultados percebidos com o PE e TE, embora autores como Makrymichalos et al. (2005) e Mehrjerdi (2011) relacionem o Seis Sigma, respectivamente, com a difusão do PE e com a aplicação das TE.

A relação do programa Seis Sigma foi avaliada, especificamente, com a aplicação das TE básicas/intermediárias e avançadas e foi constatado que não se pode afirmar que haja relação do Seis Sigma com as primeiras. Por outro lado, observou-se que a presença do programa Seis Sigma promove o maior uso das TE avançadas.

Esta relação pode estar associada, conforme descrevem Grigg e Walls (2007), ao fato de que as técnicas básicas/intermediárias são simples e usadas em alguns casos que não requerem, necessariamente, uma ampla compreensão estatística, enquanto as técnicas avançadas exigem algum nível de treinamento antes que possam ser rotineiramente aplicadas. Montgomery (2010) destaca, ainda, a importância de treinamentos sobre conceitos estatísticos em um processo de implantação do programa Seis Sigma, o que pode influenciar na maior utilização das técnicas estatísticas, especialmente as mais sofisticadas, que foi o resultado evidenciado nesta pesquisa.

Buscou-se, também, como forma de atender aos objetivos do trabalho, analisar a relação entre a presença e uso do PE (bloco B do instrumento de pesquisa) e a aplicação das TE (bloco C), bem como entre a aplicação das TE (bloco C) e os resultados percebidos com o PE e TE (bloco D).

Com a análise de correlação de Pearson, pode-se afirmar que, tanto para a relação blocos B-C ($r = 0,80$) e blocos C-D ($r = 0,78$), há uma correlação positiva considerada forte, e, assim, a maior presença e aplicação do PE incorre em um maior uso das TE, e este maior uso das TE gera melhores resultados percebidos com a aplicação do PE e TE.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo descrevem-se os principais resultados deste trabalho, as limitações encontradas e que merecem atenção para outros trabalhos similares, bem como sugestões de pesquisas futuras.

7.1 Conclusões

Este trabalho possibilitou compreender e descrever os conceitos do Pensamento Estatístico, bem como sua importância para a melhoria de processos e solução de problemas, utilizando, para isso, as Técnicas Estatísticas. Também se pôde compreender o papel da Engenharia Estatística, o qual ganha destaque, visto seu potencial em promover que as diretrizes estratégicas sejam adequadamente implantadas nas operações, impulsionando a difusão do PE nos diversos segmentos produtivos.

Esta pesquisa permitiu obter uma visão mais clara do grau de aplicação do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas em empresas do setor de bens de capital seriados, de médio e grande porte, localizadas no estado de São Paulo. Dentro deste setor, empresas de diferentes segmentos foram contempladas, tendo em vista que existe uma amplitude enorme de maquinários e equipamentos, com o objetivo de proporcionar uma visão mais abrangente, o que demonstrou que o setor, composto no Brasil principalmente por empresas de pequeno e médio porte, como afirma Mastrantonio (2009), carece de um nível maior de profissionalização em sua gestão da qualidade.

Para isso, realizou-se uma *survey* que propiciou, por meio da utilização do instrumento de pesquisa (questionário estruturado dividido em quatro blocos de questões), a identificação do uso do PE, de quais Técnicas Estatísticas básicas/intermediárias e avançadas são mais amplamente aplicadas na amostra, quais os principais programas da qualidade já implantados nessas empresas, quais as dificuldades para implantar sistematicamente o PE e TE e quais os resultados percebidos com a aplicação do PE e TE.

Dentro desses resultados, a análise descritiva demonstrou que existe uma grande lacuna na implantação dos programas de melhoria da qualidade, considerando-se a baixa implantação de programas como Seis Sigma, *Lean Sigma*, TPM e TQM.

Com relação à aplicação do PE, verificou-se que este é difundido somente por meio de conceitos como variabilidade e pela importância dada à redução dessa variação nos

processos. Todavia, não foi constatada a ocorrência de treinamentos sobre o PE e também não foram notados o comprometimento e apoio da alta administração a respeito, sendo este considerado um fator crítico de sucesso para difusão do PE, o que demonstra que existem oportunidades dentro dessas empresas para aprimorar a difusão da abordagem estatística entre os colaboradores.

Sobre o uso das Técnicas Estatísticas, observou-se uma deficiência em sua aplicação, principalmente as avançadas, as quais nem mesmo grandes multinacionais as utilizam com uma frequência relevante, o que pode ser resultado da baixa presença de treinamentos sobre PE, o que é considerado uma barreira à difusão do PE e TE. Ainda a respeito da utilização das TE, pode-se afirmar que, para a amostra deste trabalho, o tamanho das empresas não se caracteriza como um fator de influência sobre sua aplicação, apesar de haver um comportamento que demonstra um maior uso das TE nas empresas de grande porte.

Para as empresas que afirmaram não utilizar sistematicamente o PE e as TE, as justificativas apresentadas relatam, principalmente, a falta de conhecimento interno, a não priorização do uso das TE em função de outras atividades consideradas mais importantes, a ausência de uma cultura que favoreça a aplicação do PE e TE e o baixo nível de formação estatística dos profissionais. Apesar destes motivos relatados, nota-se que a justificativa que menciona a ausência de crença no potencial da aplicação de PE/TE foi a menos frequente, o que demonstra que as empresas acreditam nas melhorias que podem ser oferecidas pela abordagem estatística.

Por outro lado, nas empresas que afirmaram utilizar, ao menos de forma esporádica o PE e TE, alguns resultados vêm sendo percebidos, como a redução das não-conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução ou reclamações), o aumento da satisfação dos clientes, o aumento da produtividade e a contribuição do PE e TE para a mudança cultural em prol da qualidade.

A análise multivariada permitiu verificar uma elevada consistência do questionário, respaldando o instrumento de pesquisa desenvolvido neste trabalho. Também permitiu a identificação de três *clusters*, considerando a presença do PE, o uso das TE e os resultados percebidos com a utilização da abordagem estatística, os quais foram utilizados na análise de associação.

A análise multivariada, ainda, permitiu refutar, por meio da análise de associação, a possível relação entre o Seis Sigma e a presença do PE e TE nas empresas da amostra. Por outro lado, houve evidências estatísticas para confirmar associação entre os programas TQM e TPM com o uso do PE e das TE, o que pode ser resultado, como descreve

Slack et al. (2006), de os programas TQM e TPM enfatizarem a responsabilidade de cada colaborador em aprimorar, respectivamente, a qualidade dos processos e produtos e a manutenção produtiva, o que permite a incorporação de métodos e técnicas, dentre elas estatísticas, para garantir o máximo desempenho dos processos.

Investigou-se a relação do programa Seis Sigma, especificamente, para as TE básicas/intermediárias e avançadas, por meio de análise de comparação de médias de uso, o que permitiu identificar que não há relação entre tal programa e as TE básicas/intermediárias. Por outro lado, há evidências estatísticas de que a presença do Seis Sigma exerce influência no maior uso das TE avançadas. A partir do teste de comparação de médias também se constatou que o uso das TE básicas/intermediárias e avançadas não são influenciadas pelo porte das empresas amostradas.

A análise de correlação de Pearson ainda evidenciou que a presença e aplicação do PE influencia positivamente no uso das TE (correlação blocos B-C: $r = 0,80$) e que este uso também impacta positivamente nos resultados percebidos com a aplicação do PE e TE (correlação blocos C-D: $r = 0,78$). Dessa forma, difundir os princípios do PE nas organizações pode ser considerada uma boa iniciativa para que as TE sejam mais frequentemente utilizadas.

Com as análises estatísticas descritivas e multivariadas, foi possível atender aos objetivos do trabalho, visto que se pôde avaliar a difusão e aplicação do PE e TE no setor de bens de capital seriados do estado de São Paulo, bem como levantar os principais obstáculos para a sua aplicação sistemática e os principais resultados percebidos. Ainda se pôde, por meio das análises de *cluster*, associação, correlação e comparação de médias, identificar a presença e/ou ausência de relações entre as variáveis da pesquisa.

A partir das evidências e resultados obtidos com as análises, pode-se afirmar que as empresas amostradas do setor de bens de capital seriados carecem de um maior nível de profissionalização em sua gestão da qualidade e também de uma melhor capacitação de sua mão-de-obra, o que foi constatado em estudo conduzido por Avellar (2008), que ressaltou o déficit de competitividade do setor em escala internacional.

Relatório divulgado pela Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos destaca os entraves enfrentados pelo setor de bens de capital no Brasil, como deficiência em tecnologia e inovação, bem como a falta de esforços públicos para maior integração entre universidades e empresas, o que prejudica a profissionalização e a competitividade do setor de bens de capital (ABIMAQ, 2014).

Tal profissionalização da gestão da qualidade e ganho de competitividade pode ser obtida, conforme afirma Deming (1986) e Grigg e Walls (2007), com esforços na redução e no controle da variabilidade, que são pilares do Pensamento Estatístico.

Considerando a importância do setor de bens de capital para a economia de uma nação e para a competitividade de diversas cadeias produtivas atendidas pelo setor, bem como os resultados constatados neste trabalho, notam-se oportunidades para o aprimoramento dos processos por meio da utilização dos conceitos estatísticos, os quais devem ser considerados pelas empresas e instituições públicas de apoio à indústria brasileira, com o objetivo de contribuir para a profissionalização e o progresso industrial do setor.

7.2 Limitações da pesquisa

Uma limitação desta pesquisa se refere à dispersão de temas aos quais o termo “Pensamento Estatístico” está associado na literatura, o que exigiu maior esforço no procedimento de revisão bibliográfica para obter artigos que realmente fundamentassem o PE em ambientes industriais e em gestão da qualidade. A esse respeito, uma limitação se refere aos poucos artigos encontrados nas bases pesquisadas, quando se buscam os termos “Pensamento Estatístico” e “Técnicas Estatísticas” de forma conjunta.

Outro obstáculo deste trabalho se refere à dificuldade na quantificação precisa do número de empresas do setor de bens de capital seriados, devido a sua elevada heterogeneidade, como afirma Vermulm (2003), e também pelas instituições governamentais pesquisadas não realizarem seus levantamentos segregando empresas com produção seriada ou por encomenda, ou seja, estas empresas estão distribuídas dentro das classificações utilizadas, independentemente de seu arranjo produtivo.

A respeito da heterogeneidade apresentada pelo setor, mesmo entre as classificações adotadas, existem divergências, visto que o IBGE utiliza uma categorização (CNAE) e a ABIMAQ utiliza a categorização por câmaras setoriais e, assim, os estudos elaborados por cada instituição podem não seguir a mesma base de empresas, elevando o cuidado necessário para se analisar as informações.

Apesar da satisfatória taxa de retorno, a qual corresponde a 31,3% das empresas contatadas, houve dificuldades em obter as respostas, tendo em vista que, sendo a coleta e o contato com os representantes das empresas realizados virtualmente, a participação dependeu do comprometimento e disponibilidade do respondente. Uma vez que as empresas

estão dispersas por todo o estado de São Paulo, o que exigiria maior tempo de coleta e recursos financeiros para deslocamento, o contato presencial ficou impossibilitado, o que poderia facilitar a obtenção de maior volume de dados.

7.3 Sugestão de trabalhos futuros

Como proposta de continuidade desta pesquisa, sugere-se explorar como o Pensamento Estatístico pode ser fortalecido nas empresas por meio do conceito de Engenharia Estatística, e em que medida este favorece a aplicação das Técnicas Estatísticas, principalmente para incrementar seus resultados financeiros.

Ao se tratar especificamente de bens de capital, sugere-se que novas pesquisas avaliem a abordagem estatística em segmentos específicos do setor, podendo utilizar para esta segregação as câmaras setoriais da ABIMAQ ou os grupos dentro do CNAE 28 do IBGE. Esta especificação permitiria avaliar individualmente cada segmento industrial do setor de bens de capital, comparando com os resultados desta pesquisa, além de reduzir a arbitrariedade de informações oriunda da elevada heterogeneidade inerente ao setor.

Em pesquisas nos segmentos específicos do setor de bens capital, sugere-se que, além de uma *survey*, sejam realizados estudos de caso em empresas que sejam referência (*benchmarking*) do segmento industrial, pois permitiria avaliar *in loco* e mais profundamente a aplicação do Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas nas operações das empresas.

Ainda como proposta, sugere-se a realização de uma pesquisa em empresas reconhecidas pela qualidade de suas operações, por exemplo em empresas vencedoras do Prêmio Nacional da Qualidade (PNQ) ou de outros prêmios semelhantes, com o objetivo de avaliar temas como Pensamento Estatístico e Técnicas Estatísticas, como forma de descrever as melhores práticas a serem adotadas por outras empresas que buscam a excelência na gestão da qualidade.

REFERÊNCIAS

AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. 3.ed. New York: Wiley, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (ABIMAQ). **Proposta de Políticas e Competitividade para a Indústria Brasileira de Bens de Capital Mecânicos**. São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (ABIMAQ). Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/> Acesso em jan. 2015.

ABRAHAN, B. Statistics in Business and Industry: Implementation. **International Statistical Review**. v.73, n.2, p.173-176, 2005.

ACHA, V.; DAVIES, A.; HOBDAV, M.; SALTER, A. Exploring the capital goods economy: complex product systems in the UK. **Industrial and Corporate Change**, v.13, n.3, p.505-529, 2004.

AGÊNCIA GAÚCHA DE DESENVOLVIMENTO E PROMOÇÃO DO INVESTIMENTO (AGDI). **Arranjo Produtivo Local Metalmeccânico de Máquinas e Equipamentos**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2012.

AHMED, S.; HASSAN, M. Survey and case investigations on application of quality management tools and techniques in SMIs. **International Journal of Quality & Reliability Management**. v.20, n.7, p.795-826, 2003.

ALEM, A. C.; PESSOA, R. M. O setor de bens de capital e o desenvolvimento econômico: quais são os desafios? **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.22, pp.71-88, set.2005.

ALSALEH, N. A. Application of quality tools by the Saudi food industry. **The TQM Magazine**, v.19, n.02, p.150-161, 2007.

ALVES, C. C. **Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos**. Florianópolis, 2003.

ANDERSON-COOK, C. M. et al. Statistical engineering – forming the foundations. **Quality Engineering**. v.24, n.2, p.110-132, 2012.

AVELLAR, A. P. **Relatório setorial final: bens de capital**. Pesquisa DPP – Diretório de Pesquisa Privada. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/PortalDPP>>. 2008.

BJERKE, F.; HERSLETH, M. Introducing statistical thinking to the food industry: facilitating and inhibiting factors. **Quality Management Journal**. v.8, n.3, p.49-60, 2001.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; CONTE, T. U.; TRAVESSOS, G. H. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v.21, p.133–151, 2007.

BISGAARD, S. The future of quality technology: from a manufacturing to a knowledge economy & from defects to innovations. **Youden Address - ASQ Statistics Division Newsletter**. v.24, n.2, p.4-8, 2006.

BISGAARD, S.; DE MAST, J. After Six Sigma – What’s next? **Quality Progress**. v.39, n.01, p.30-36, jan.2006.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Perspectivas Setoriais**. Org: Filipe Lage de Sousa. 1ed. 384 p. Rio de Janeiro: BNDES, 2012.

BOX, G. E. P.; WOODALL, W. H. Innovation, quality engineering, and statistics. **Quality Engineering**. v.24, n.1, p.20-29, 2012.

BOWER, K. M. When to use Fisher’s Exact Test. **Six Sigma Forum Magazine**.v.2, n.4, ago.2003.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of System and Software**, v.80, p.571-583, 2007.

BRITZ, G. C.; EMERLING, D. W.; HARE, L. B.; HOERL, R. W.; JANIS, S. J.; SHADE, J. E. **Improving performance through statistical thinking**. Milwaukee: ASQ Quality Press. 2000.

BROWN, E. N.; KASS, R. E. What is Statistics? **Journal of the American Statistical Association**, v.63, n.2, p.105-123, 2009.

BRYMAN, A. **Research Methods and organization studies**. London: Routledge, 1989. 283p.

CHAPLIN, L.; O'ROURKE, S. T. J. Lean Six Sigma and marketing: a missed opportunity. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.63, n.5, p.665-674, 2014.

COLEMAN, S. Y. Six Sigma – an opportunity for statistics and for statisticians. **Significance**. v.05, n.02, p.94-96, 2008.

COLEMAN, S.Y. Statistical Thinking in the quality movement \pm 25 years. **The TQM Journal**. v.25, n.6, p.597-605, 2013.

COLEMAN, S. Y.; STEWARDSON, D. J. Use of measurement and charts to inform management decisions. **Managerial Auditing Journal**, v.17, n.1-2, p.16-19, 2002.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Perfil da indústria nos estados 2014**. Brasília: CNI, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS METALÚRGICOS DA CENTRAL ÚNICA DOS TRABALHADORES (CNM/CUT). **A indústria de bens de capital no Brasil**. São Paulo: DIEESE, 2012. Disponível em: <http://www.cnmcut.org.br/>. Acesso em set/2014.

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.

DEMING, W. E. **Out of the crisis**. Massachusetts Institute of Technology Centre for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA. 1986.

DRANSFIELD, S. B.; FISHER, N. I.; VOGEL, N. J. Using statistics and statistical thinking to improve organizational performance. **International Statistical Review**. v.67, n.2, p.99-150, 1999.

DUARTE, A. O. **O desempenho do setor de bens de capital no Brasil nos anos 90: os impactos da política econômica e as implicações para o desenvolvimento**. 2001. Dissertação de Mestrado. Instituto de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

EVANS, J. R.; LINDSAY, W. M. **The Management and Control of Quality**. Mason: Thomson South-Western, 6^a ed., 2005, 760 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Por que reindustrializar o Brasil?** Departamento de Competitividade e Tecnologia. São Paulo, 2013, Acesso em set. 2014.

FIRKA, D. Statistical, technical and sociological dimensions of design of experiments. **The TQM Journal**. v.23; n.4; p.435-445.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**. v.22, n.2, p.152-194, feb.2002.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A.Z.; MOSCARELA, J. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração**, São Paulo. v. 35, n.3, p. 105-112, jul./set. 2000.

FREITAS, A. L.; RODRIGUES, S. G. A avaliação de confiabilidade de questionários: uma análise utilizando o alfa de Cronbach. In: **XII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**, 2005, Bauru.

FRIENDLY, M. The golden age of statistical graphics. **Statistical Science**. v.23, n.4, p.502-535, 2008.

GEBAUER, H.; PAIOLA, M.; EDVARDSSON, B. Service business development in small and medium capital goods manufacturing companies. **Managing Service Quality**. v.20, n.2, p.123-139, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOH, T. N. The role of statistical design of experiments in six sigma: perspectives of a practitioner. **Quality Engineering**. v. 14, n. 4, p. 659-671, 2002.

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.

GRIGG, N.; 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.

GROOVER, M. P.; ZIMMERS, E. W. **CAD/CAM: Computer-aided design and manufacturing**. Englewood Cliffs: Prentice-hall, 1984.

HAIR JR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HARE, L.B. Linking statistical thinking to Six Sigma. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v.1, n.4, p.389-402, 2005.

HARE, L. B. Statistical engineering- principles and examples. **Quality Engineering**. v.24, n.2, p.153-161, 2012

HILL, A. Competitiveness and processes: integrating engineering in the capital goods industry. **Worlds Class Design to Manufacture**. v.02. n.5, p.21-31, 1995.

HOERL, R. W.; SNEE, R. D. Post-financial meltdown: What do the services industries need from us now? **Applied Stochastic Models in Business and Industry**.v.25, n.5, p.509-521, 2009.

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, 2010a.

HOERL, R.W.; SNEE, R. D. Closing the gap - Statistical engineering links statistical thinking, methods and tools. **Quality Progress**, p.52-53, may.2010b.

HOERL, R. W.; SNEE, R. D. **Statistical Thinking**: improving business performance. 2.ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012, 514 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica**. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física (PIM)**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr/> Acesso em nov.2014.

JOHN, J.; WHITAKER, D.; JOHNSON, D. **Statistical Thinking for Managers**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2001. 352 p.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6.ed. New Jersey: Prentice Hall. 2007.

KENETT, R.; COLEMAN, S.; STEWARDSON, D. Statistical efficiency – the practical perspective. **Quality and Reliability Engineering International**, v.19, n.4, p.265-272, 2003.

KITCHENHAM, B.A., CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Tech. Rep. EBSE-2007-01, Keele University, 2007.

KON, A. A. Formação Bruta de Capital Fixo do Estado de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, v.5, n.4, p.105-112, 1991.

KRISHNAMOORTHY, K. S. Statistical Thinking for engineers – what, why and how? **IEEE 17th Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM)**. Xiamen. China. Out.2010.

KUMAR, M.; ANTONY, J.; MADU, C.N; MONTGOMERY, D.C.; PARK, S.H. Common myths of Six Sigma demystified. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.25, n.08, p.878-895, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1995.

LEE, K. **The sources of capital goods innovation: the role of user firms in Japan and Korea**. Routledge, 1998. 215 p.

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.

MALHOTRA, M. K.; GROVER, V. An assessment of survey research in POM: from constructs to theory. **Journal of Operations Management**, v.16, n.17, p.407-425, 1998.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MARCONI, N; REIS, C.F.B.; ARAUJO, E. C. O papel da indústria de transformação e das exportações de manufaturas no processo de desenvolvimento dos países de renda média. Brasília: IPEA, 2014.

MAST, J.; DOES, R. Discussion of “Statistical thinking and Methods in Quality Improvement: a look to the future”. **Quality Engineering**. v.22, n.3, p.130-132, 2010.

MASTRANTONIO, S. S.; **Análise das práticas da gestão da qualidade em fabricantes de equipamentos para a indústria de alimentos do estado de São Paulo**. 2009. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MASTRANTONIO, S. S.; TOLEDO, J.C. A gestão da qualidade em fabricantes de equipamentos para a indústria de alimentos. **Engevista**, v.15, n.3, p.313-330, dez/2013.

MEGLIORINI, E. **Análise crítica dos conceitos de mensuração utilizados por empresas produtoras de bens de capital por encomenda**. 2003. 213 f. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MEHRJERDI, Y. Z. Six-Sigma: methodology, tools and its future. **Assembly Automation**, v.31, n.1, p.79-88, 2011.

MEHTA, C. R.; PATEL, N. R. Algorithm 643. FEXACT: A Fortran subroutine for Fisher's exact test on unordered $r \times c$ contingency tables. **ACM Transactions on Mathematical Software**. v.12, n.2, p.154-162, 1986.

MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; TURRIONI, J. B.; SOUZA, L. G. M. **ISO 9001:2000: Sistema de Gestão da Qualidade para operações de produção e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002. 224p.

MIGUEL, P. A. C.; LEE HO, L. Levantamento tipo Survey. *In*: MIGUEL, P. A. C. (Coord.) **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. cap.5, p.75-130.

MILANOVIC, M.; STAMENKOVIC, M. The power of statistical thinking in quality improvement. **5th International Quality Conference. Faculty of Mechanical Engineering. University of Kragujevac**. p.215-222, May.2011.

MONTGOMERY, D. C. The future of industrial statistics. **ORiON**. v.16, n.01, p.1-21, 2000.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4^aed. Editora LTC: John Wiley & Sons, 2004.

MONTGOMERY, D. C. Does Seis Sigma stifle innovation? **Quality and Reliability Engineering International**. v.24, n.3, p.249, 2008.

MONTGOMERY, D. C. A modern framework for achieving enterprise excellence. **International Journal of Lean Six Sigma**, v.1, n.1, p.56-65, 2010.

MONTGOMERY, D. C. Innovation and quality Technology. **Quality and Reliability Engineering International**. v.27, n.6, p.733-734, 2011.

MONTGOMERY, D. C. Lean Six Sigma and promoting innovation. **Quality and Reliability Engineering International**. v.30, n.1, p.1, 2014.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística básica**. 5.ed. São Paulo: Saraiva. 2004. 526p.

NAKAJIMA, S. Total productive maintenance. Productivity Press: Cambridge. 1988

NASSIF, A. Estrutura e Competitividade da Indústria de bens de capital brasileira. **Texto para discussão n°109**, BNDES, Rio de Janeiro, ago.2007.

NOLAN, D.; LANG, D. T. Dynamic, interactive documents for teaching statistical practice. **International Statistical Review**. v.75, n.3, p.295-321, 2007.

PINSONNEAULT, A; KRAEMER, K. L. Survey research methodology in management information systems: an assessment. **Journal of Management Information Systems**, v.10, n.2, p.75-105, 1993.

REA, L. M.; PARKER, R. A. **Metodologia de pesquisa**: do planejamento à execução. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002. 262p.

RESENDE, A. V. **A indústria de bens de capital de Minas Gerais**: oportunidades e entraves ao seu desenvolvimento. 1994. 183p. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 1994.

REVISTA EXAME. **Melhores e maiores de 2013**. São Paulo: Editora Abril. jul.2013.

RIBEIRO, L. M. M.; CABRAL, J. A. S. The use and misuse of statistical tools. **Journal of Materials Processing Technology**. v.92-93, p.288-292, 1999.

ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. **Management Research News**, v. 27, n.6, p.31-39, 2004.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 3.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 583 p.

SANTOS, A. B. **Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade Seis Sigma**: proposta e avaliação. São Carlos, 2006. 312 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

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.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. Contribuições do Seis Sigma: estudo de caso em multinacionais. **Produção**, v.20, n.1, p.42-53, 2010.

SANTOS, A. B.; ANTONELLI, S. C. Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um *survey* com indústrias de alimentos de São Paulo. **Gestão & Produção**, v.18, n.3, p.509-524, 2011.

SCHMIDT, W. C. World-wide web survey research: benefits, potential problems, and solutions. **Behavior Research Methods, Instruments & Computers**, v.29, n.2, p.274-279, 1997.

SENGE, P. M. **A dança das mudanças**: os desafios de manter o crescimento e o sucesso em organizações que aprendem. 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000. 676 p.

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**. Wiley-TMS, v.4, 2013. p.365-370, 2004.

SHEWART, W. A. **Statistical method from the viewpoint of quality control**. Dover Publications. 1986.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção** – Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 2006.

SNEE, R. D. Statistical thinking and its contribution to total quality. **Journal of the American Statistical Association**, v.44, n.2, p.116-121, May 1990.

SNEE, R. D. Getting Better Business Results. Using statistical thinking and methods to shape the bottom line. **Quality Progress**, p.102-106, Jun.1998.

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.

STEINBERG, D. M. The future of industrial statistics: a panel discussion. **Technometrics**. v.50, n.2, p.103-127, 2008.

SYNODINOS, N. E. The “art” of questionnaire construction: some important considerations for manufacturing studies. **Integrated Manufacturing Systems**, v.14, n.3, p.221-237, 2003.

TÖLLNER, A.; BLUT, M.; HOLZMÜLLER, H. H. Customer solutions in the capital goods industry: examining the impact of the buying center. **Industrial Marketing Management**. v.40, n.05, p.712-722, 2011.

TROCHIM, W. M. **The research methods knowledge base**. 2.ed. 2003. Disponível em <<http://trochim.human.cornell.edu/kb/index.htm>>

VERMULM, R. O setor de bens de capital. *In*: SCHWARTZMAN, S (coord). **Ciência e tecnologia no Brasil: política industrial, mercado de trabalho e instituições de apoio**. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1995, parte II, p.149-178.1993.

VERMULM, R.; ERBER, F. **Estudo de competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio**. Cadeia: Bens de Capital. Campinas: NEIT/Unicamp, 2002, 80p. (nota técnica final).

VERMULM, R. **A indústria de Bens de Capital Seriadados**. Cepal – Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. 2003.

VINING, G. Technical advice: essential elements for quality improvement programs. **Quality Engineering**. v.23, n.4, p.395-397, 2011.

WILD, C. J.; PFANNKUCH, M. Statistical Thinking in Empirical Enquiry. **International Statistical Review**. v.67, n.3, p.223-265, 1999.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

A - Dados gerais da unidade		
1 - Nome da empresa/unidade (opcional):		
2 - Nome, cargo e e-mail do entrevistado (opcional):		
3 - Há quanto tempo o entrevistado trabalha na empresa/unidade: () Menos de um ano () De um a três anos () De três a cinco anos () De cinco a dez anos () Mais de dez anos		
4 - Nacionalidade da empresa (capital majoritário):		
5 - Setor de atuação da unidade produtiva:	Tipo de produto ou posição na cadeia	
	Final	Intermediário
() alimentos	()	()
() automobilístico(montadoras e autopeças)	()	()
() bebidas e sucos	()	()
() eletrodomésticos	()	()
() eletrônico	()	()
() insumos básicos(matéria prima básica)	()	()
() máquinas e equipamentos	()	()
() petroquímica e química	()	()
() produtos de higiene pessoal	()	()
() outro: _____	()	()
6 - Número de funcionários da unidade: () Menos de 100() Entre 100 e 500() Acima de 500		
7. Quais certificações a unidade <u>já possui</u> : () ISO 9001 () ISO 22000 () ISO/TS 16949 () TL 9000 () BPF/APPCC () ISO 14001 () ISO 17025 () AS 9000 () Outras. Especifique:		
8 - Qual é o grau de importância da qualidade para a estratégia competitiva da unidade/empresa? () Baixo () Médio () Alto		

9 - Quais Programas de Melhoria A unidade possui:	Há quanto tempo:			
	Não Possui	De 0 a 5 anos	De 5 a 10 anos	Mais de 10 anos
Eventos Kaizen (Semanas Kaizen)	()	()	()	()
Iniciativas de Melhoria no dia a dia	()	()	()	()
Programa (“Caixa”) de Sugestões estruturado (com direcionamento, análise e feedback)	()	()	()	()
Programa Seis Sigma	()	()	()	()
Lean Manufacturing	()	()	()	()
Lean Sigma	()	()	()	()
TPM	()	()	()	()
TQM	()	()	()	()
5S	()	()	()	()
Outro. Especifique:	()	()	()	()
<p>10. Qual o grau de atualização (ou da geração) da Tecnologia de Processamento e do Controle do Processo utilizado na unidade (ou seja, qual o grau de automação e de integração do processo principal)?</p> <p>() Baixo () Médio () Alto</p>				
<p>11. A unidade utiliza softwares para gestão integrada dos negócios? Quais?</p> <p>() ERP – Enterprise Resource Planning</p> <p>() CRM – Customer Relationship Management</p> <p>() PLM – Product Life-cycle Management</p> <p>() Outros:</p>				
<p>12. A unidade usa software específico de Estatística? Qual?</p> <p>() Estatística</p> <p>() SAS</p> <p>() SPSS</p> <p>() Minitab</p> <p>() Nenhum</p> <p>() Outro: _____</p>				
<p>13. A unidade possui um Programa ou um conjunto estruturado de ações com foco na <u>difusão, treinamento e aplicação</u> do Pensamento Estatístico (PE) e/ou de Técnicas Estatísticas(TE)?</p> <p>() Sim, há menos de 5 anos</p> <p>() Sim, há 5 ou mais anos</p> <p>() Não</p>				

14- Considerando os últimos 5 anos, tem aumentado o investimento (orçamento) destinado a capacitação e aplicação de PE e TE?

não tem aumentado (somente o investimento inicial e manutenção)

aumentado pouco

aumentado significativamente

B – Presença e aplicação do Pensamento Estatístico na unidade

Para as próximas questões/afirmações, utilize a escala abaixo.

Se for conveniente/adequado utilize como referência o processo de manufatura principal na unidade.

(1) Nunca (ou: não) (2) Raramente (ou: pouco) (3) Algumas vezes (ou: medianamente) (4) Frequentemente (ou: fortemente) (5) Sempre (muito fortemente)

	1	2	3	4	5
1 - Os funcionários da manufatura, na unidade, recebem treinamento continuado sobre Princípios e PE					
2 - A alta administração apoia/lidera a implantação de <u>Princípios e PE</u>					
3 - O uso de Princípios e PE pode ser considerado suficientemente disseminado na manufatura da unidade					
4 - O processo de manufatura principal pode ser considerado em estado de controle estatístico, ou seja: estável, com predominância de causas comuns ou aleatórias de variação; com capacidade e variabilidade adequadas e em frequente redução					
5 - De modo geral a “visão de processo” está consolidada <u>no pessoal de nível de supervisão e gestão</u>					
6 - De modo geral a “visão de processo” está consolidada <u>nos operadores</u> que atuam no processo principal da unidade					
7 - De modo geral está consolidado na unidade a <u>compreensão sobre variabilidade</u> dos processos (ou seja, que os processos variam, devido a causas comuns e a causas especiais)					
8 - É comum na unidade a compreensão de que para se entender e analisar um processo é preciso <u>quantificar e explicar</u> a sua variação					
9 - É comum os supervisores e gestores <u>questionarem os dados</u> coletados (sua representatividade e confiabilidade), ou acessados em bases de dados da empresa, para representar um processo ou produto					
10 - Quando aplicável, mede-se e analisa-se a confiabilidade de dados e de seus respectivos sistemas de medição por meio de técnicas como Análise do Sistema de Medição ou MSA					
11 - É comum a cultura/comportamento/atitude de raciocinar e <u>tomar decisões com base em fatos e dados (é comum o uso de dados estatísticos para entender e analisar os processos)</u>					
12 - É comum a consideração de <u>relações de causa e efeito</u> nas análises de dados sobre produtos e processos					

13 - Na unidade há um entendimento de que a redução da variação de processos é crítica/importante para o desempenho da manufatura						
---	--	--	--	--	--	--

C –Uso de Técnicas Estatísticas na unidade

1 –De modo geral a unidade aplica sistematicamente Técnicas Estatísticas (TE) para controle do processo, gestão e melhoria da qualidade? () Sim () Não

OBS:

Se a resposta da questão anterior foi SIM, não responda a questão 2 e vá para a questão 3.

Se a resposta à questão 1 for NÃO, além da questão 2 você também poderá responder as questões 3 e 4 e as seguintes

2 - Por que não aplica? (você pode assinalar mais de uma alternativa)

() aplica-se muito esporadicamente, em função de demandas externas e outras prioridades da empresa

() não sentimos a necessidade de aplicação sistemática/rotineira

() falta de conhecimento interno que suporte a aplicação sistemática

() falta de uma cultura adequada para aplicação de PE/TE

() não se acredita no potencial da aplicação de PE/TE

() tem-se uma visão predominante de que a aplicação de PE/TE é complexa

() de modo geral o nível de formação e de conhecimento do pessoal não permite essa aplicação

() os gestores veem as TE somente como algo para se ‘combater incêndios’

() os gestores acreditam que as TE só podem ser utilizadas no chão de fábrica e não são importantes para questões gerenciais e estratégicas.

Para as próximas questões, utilize a seguinte escala:

(1) Nunca (2) Raramente (3) Algumas vezes (4) Frequentemente (5) Sempre

3. Qual a intensidade (numa escala de nunca a sempre) de uso das **Técnicas Estatísticas Básicas e Intermediárias:**

	1	2	3	4	5
Histograma					
Diagrama de Pareto					
Diagrama de Correlação					
Diagrama de Causa e Efeito					
Conceito/Princípio de Estratificação					
Folha de Verificação (formulário planejado para organizar a coleta e registro de dados)					
Análise de Regressão Simples					
Gráficos de Controle (cartas de controle ou de Shewhart)					
Medição e análise da capacidade do processo (CPk)					
Amostragem para Aceitação (Planos de Amostragem)					
4. Qual a intensidade (numa escala de nunca a sempre) de uso das	1	2	3	4	5

Técnicas Estatísticas Avançadas:					
Planejamento de Experimentos (DOE – Design of Experiments)					
Análise do Sistema de Medição (MSA – Measurement System Analysis)					
Análise de Variância (ANOVA)					
Teste de Hipóteses					
Técnicas de Simulação de Processos e Fluxos					
Análise de Regressão Múltipla					
Técnicas de Análise Multivariada					
5 - A planta mantém (indica formalmente) um líder (gestor, facilitador, etc) para orientar, acompanhar e treinar as pessoas na aplicação rotineira de TE.					
6–A orientação e exemplos sobre como aplicar as TE são disponibilizadas de maneira clara e visual (quando isso é possível para a técnica específica) para as pessoas e áreas envolvidas nessas aplicações					
7 - As pessoas que adquirem conhecimento técnico específico ao desenvolverem um projeto de melhoria aplicando TE são alocadas (prioritariamente) em novos projetos para aplicação desse conhecimento					

D – Resultados percebidos com a aplicação de PE e TE (na unidade)					
Para as próximas questões, utilize a seguinte escala:					
(1) Nenhum (ou: nada) (2) Pequeno (ou: pouco)					
(3) Moderado(ou: medianamente) (4) Grande (ou: fortemente)					
(5) Muito grande (ou: muito fortemente)					
Considere como referência um <u>desempenho médio nos últimos 3 anos no processo de manufatura principal da unidade.</u>					
RESULTADOS/INDICADORES MAIS OBJETIVOS	1	2	3	4	5
1 - Houve redução do <u>índice de não conformidades identificadas internamente</u> à unidade/planta					
2 - Houve redução do <u>índice de não conformidades identificadas no mercado</u> (taxa de devolução de produto e ou de reclamações de clientes)					
3 – Houve aumento no <u>nível de satisfação dos clientes</u>					
4 - Houve redução nos <u>custos da não qualidade</u>					
5 - Houve redução de <u>ciclo (tempo) de produção</u>					
6 - Houve redução de <u>custos de produção</u>					
7 - Houve <u>aumento da produtividade</u>					
8 – Houve melhoria nos índices de <u>capacidade do processo (CPk)</u>					
RESULTADOS/INDICADORES DE PERCEPÇÃO DA SATISFAÇÃO COM O USO DE PE-TE	1	2	3	4	5
1 –O nível de satisfação dos <u>tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como</u>					

2–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE					
3– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como					
4- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como					
5- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capacidade dos processos pode ser considerado como					
6– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como					
7– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada					

APÊNDICE B – E-MAIL DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Prezado Sr.

Meu nome é Nelio Carvalho e sou aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e gostaria de pedir seu apoio em uma pesquisa que estamos desenvolvendo.

O trabalho se enquadra na linha de pesquisa Gestão da Qualidade e tem como objetivo identificar e avaliar a difusão do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas em empresas de bens de capital seriados localizadas no estado de São Paulo.

Como objetivos específicos, destacam-se os seguintes:

- Avaliar o impacto da utilização do Pensamento Estatístico e das Técnicas Estatísticas no nível de controle e melhoria dos processos.
- Identificar a intensidade de uso de Técnicas Estatísticas conforme seu grau de complexidade (básicas, intermediárias e avançadas) nas empresas amostradas.
- Identificar as principais barreiras e dificuldades enfrentadas na difusão e aplicação do PE e TE nas organizações.

Este trabalho utiliza o método *survey* e neste caso o instrumento de pesquisa consiste em um questionário elaborado em plataforma virtual, o qual está disponível no *link* abaixo:
https://docs.google.com/forms/d/1ED7vDlJaJkvIGM9KuDi_gJmxxsRJ1STN4X7whMG4gaU/viewform

O questionário contém 49 perguntas de múltipla escolha, leva em torno de 15 minutos para preenchimento e está dividido nos seguintes blocos:

- Dados da empresa;
- Presença e aplicação do Pensamento Estatístico (PE) na unidade;
- Uso de Técnicas Estatísticas (TE) na empresa;
- Resultados percebidos com a aplicação de PE e TE.

Todas as informações obtidas por meio do questionário são sigilosas e qualquer trabalho publicado como resultado desta pesquisa resguardará as empresas respondentes, mantendo o anonimato. A identificação da empresa e do respondente não são questões obrigatórias deste questionário.

Agradeço a atenção e ênfase que a sua contribuição é de extrema importância para o sucesso deste trabalho.

Qualquer dúvida, estou à disposição.
Muito obrigado;

Nelio Garbellini de Carvalho
Mestrando em Engenharia de Produção / UFSCar

APÊNDICE C–TABELA COM ESCORES CALCULADOS PARA ANÁLISE DE *CLUSTER* POR EMPRESA PARTICIPANTE

Escores calculados para bloco B, bloco C e alteração de escala do bloco D (resultados e percepções com o PE e TE) por empresa respondente (ID).

ID	ESCOR E - Bloco B	ESCOR E - Bloco C	Bloco D RESULTADOS [1 - Houve redução do índice de não conformidades internamente à unidade/planta]	Bloco D RESULTADOS [2 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução de produto e ou de reclamações de clientes)]	Bloco D RESULTADOS [3 – Houve aumento no nível de satisfação dos clientes]	Bloco D RESULTADOS [4 - Houve redução nos custos da não qualidade]	Bloco D RESULTADOS [5 - Houve redução de ciclo (tempo) de produção]	Bloco D RESULTADOS [6 - Houve redução de custos de produção]	Bloco D RESULTADOS [7 - Houve aumento da produtividade]	Bloco D RESULTADOS [8 – Houve melhoria nos índices de capacidade do processo (CPk)]
1	34,62	7,50	0	0	0	0	25	25	50	0
2	59,62	57,50	75	75	50	50	50	75	75	75
3	63,46	40,00	100	75	75	75	50	50	75	50
4	65,38	43,75	100	100	100	100	100	100	100	0
5	59,62	28,75	50	75	75	25	100	100	25	25
6	23,08	21,25	50	50	50	50	50	50	50	50
7	34,62	28,75	50	75	75	25	50	50	75	25
8	61,54	58,75	50	75	75	75	75	50	50	75

ID	ESCOR E - Bloco B	ESCOR E - Bloco C	Bloco D RESULTADOS [1 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas internamente à unidade/planta]	Bloco D RESULTADOS [2 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução de produto e ou de reclamações de clientes)]	Bloco D RESULTADOS [3 – Houve aumento no nível de satisfação dos clientes]	Bloco D RESULTADOS [4 - Houve redução nos custos da não qualidade]	Bloco D RESULTADOS [5 - Houve redução de ciclo (tempo) de produção]	Bloco D RESULTADOS [6 - Houve redução de custos de produção]	Bloco D RESULTADOS [7 - Houve aumento da produtividade]	Bloco D RESULTADOS [8 – Houve melhoria nos índices de capacidade do processo (CPk)]
19	59,62	42,50	75	50	75	50	75	50	75	50
20	17,31	20,00	50	50	50	50	50	50	50	50
21	34,62	43,75	50	75	50	50	50	50	75	75
22	32,69	16,25	50	50	75	25	50	50	75	25
23	44,23	37,50	50	50	50	25	50	50	50	50
24	94,23	98,75	100	75	100	100	100	100	75	75
25	36,54	26,25	50	75	50	75	75	75	50	50
26	59,62	42,50	75	75	75	75	75	50	100	75
27	67,31	46,25	50	75	75	50	75	50	75	50
28	23,08	23,75	25	50	25	25	0	0	0	0

ID	ESCOR E - Bloco B	ESCOR E - Bloco C	Bloco D RESULTADOS [1 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas internamente à unidade/planta]	Bloco D RESULTADOS [2 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução de produto e ou de reclamações de clientes)]	Bloco D RESULTADOS [3 – Houve aumento no nível de satisfação dos clientes]	Bloco D RESULTADOS [4 - Houve redução nos custos da não qualidade]	Bloco D RESULTADOS [5 - Houve redução de ciclo (tempo) de produção]	Bloco D RESULTADOS [6 - Houve redução de custos de produção]	Bloco D RESULTADOS [7 - Houve aumento da produtividade]	Bloco D RESULTADOS [8 – Houve melhoria nos índices de capacidade do processo (CPk)]
29	55,77	41,25	50	0	50	25	75	50	50	0
30	50,00	45,00	50	0	50	75	50	75	50	75
31	15,38	31,25	25	50	50	25	0	0	25	50
32	36,54	18,75	50	75	50	50	50	50	50	25
33	59,62	25,00	75	50	50	50	75	50	100	50
34	32,69	33,75	50	25	25	25	25	25	25	25
35	7,69	37,50	50	25	25	0	25	0	0	0
36	26,92	15,00	25	75	50	50	25	50	50	25
37	75,00	72,50	75	50	75	75	75	75	75	75
38	21,15	23,75	50	75	75	25	75	50	75	25

ID	ESCOR E - Bloco B	ESCOR E - Bloco C	Bloco D RESULTADOS [1 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas internamente à unidade/planta]	Bloco D RESULTADOS [2 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas no mercado (taxa de devolução de produto e ou de reclamações de clientes)]	Bloco D RESULTADOS [3 – Houve aumento no nível de satisfação dos clientes]	Bloco D RESULTADOS [4 - Houve redução nos custos da não qualidade]	Bloco D RESULTADOS [5 - Houve redução de ciclo (tempo) de produção]	Bloco D RESULTADOS [6 - Houve redução de custos de produção]	Bloco D RESULTADOS [7 - Houve aumento da produtividade]	Bloco D RESULTADOS [8 – Houve melhoria nos índices de capacidade do processo (CPk)]
39	51,92	43,75	50	25	25	25	50	50	50	25
40	50,00	45,00	75	75	75	75	75	75	75	75
41	67,31	60,00	50	50	50	50	50	50	50	75
42	25,00	18,75	50	50	75	50	50	50	50	50

Alteração de escala para o bloco D (continuação a partir a questão 9 do bloco D)

ID	Bloco D RESULTADOS [9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [10–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE]	Bloco D RESULTADOS [11– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capabilidade dos processos pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada]
1	50	25	50	50	50	50	50
2	75	50	75	75	75	75	75
3	75	25	50	25	75	75	75
4	75	50	75	100	50	100	100
5	50	50	50	50	50	50	50
6	50	50	50	50	50	50	50
7	25	25	25	50	25	25	25
8	50	75	50	50	25	25	50
9	0	0	0	0	0	0	0

ID	Bloco D RESULTADOS [9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [10–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE]	Bloco D RESULTADOS [11– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capabilidade dos processos pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada]
10	75	50	100	100	100	100	100
11	25	25	25	25	25	25	25
12	100	75	75	100	75	100	100
13	75	75	75	100	75	75	100
14	75	75	75	75	75	75	75
15	0	0	0	0	0	0	0
16	50	25	50	50	50	75	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	50	50	50	50	50	50	50
19	75	75	50	50	50	50	75

ID	Bloco D RESULTADOS [9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [10–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE]	Bloco D RESULTADOS [11– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capabilidade dos processos pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada]
20	50	50	50	50	50	50	50
21	75	0	50	50	50	25	75
22	50	25	25	25	25	25	25
23	50	50	50	50	50	50	50
24	75	75	100	100	75	100	100
25	50	0	50	75	50	50	50
26	75	75	75	100	75	75	75
27	75	50	50	75	50	75	100
28	25	25	25	25	25	75	75
29	50	50	50	75	50	100	75

ID	Bloco D RESULTADOS [9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [10–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE]	Bloco D RESULTADOS [11– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capabilidade dos processos pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como]	Bloco D RESULTADOS [15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada]
30	25	50	50	50	50	50	50
31	50	50	50	25	50	50	25
32	50	50	50	50	50	50	50
33	75	0	25	50	50	0	50
34	25	25	25	50	25	50	50
35	50	25	25	25	25	25	50
36	0	0	25	75	25	25	50
37	75	50	75	75	75	75	75
38	50	25	25	25	25	25	25
39	50	25	50	50	75	50	50

ID	Bloco D	Bloco D	Bloco D	Bloco D	Bloco D	Bloco D	Bloco D
	RESULTADOS [9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão (gestores) com o uso de PE e TE pode ser considerado como]	RESULTADOS [10–Os funcionários de nível operacional se sentem à vontade e motivados para aplicação de PE e TE]	RESULTADOS [11– O aumento do nível de compreensão dos processos e da capacidade para resolução de problemas, com a difusão e uso de PE e TE, pode ser considerado como]	RESULTADOS [12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação (maturidade, robustez) de Programas de Melhoria (Eventos Kaizen, Seis Sigma, Lean, TPM, etc) pode ser considerado como]	RESULTADOS [13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e da capabilidade dos processos pode ser considerado como]	RESULTADOS [14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidade dos processos e investigar suas causas pode ser considerado como]	RESULTADOS [15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade pode ser considerada]
40	75	75	75	75	75	75	50
41	50	50	50	50	75	75	50
42	50	0	25	25	25	50	25

APÊNDICE D – TABELA COM OS RESULTADOS DOS ESCORES POR *CLUSTER* FORMADO

Variável	<i>Cluster 1 (n = 22)</i>					<i>Cluster 2 (n = 9)</i>					<i>Cluster 3 (n = 11)</i>				
	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
ESCORE - Bloco B	42,22	15,9	17,31	40,38	67,31	21,58	10,65	5,77	23,08	34,62	69,76	13,74	50	65,38	94,23
ESCORE - Bloco C	30,91	13,8	10	27,5	60	19,72	13,28	2,5	21,25	37,5	57,95	18,04	40	52,5	98,75
RESULTADOS (1 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas)	50	10,91	25	50	75	25	21,65	0	25	50	84,09	16,85	50	75	100
RESULTADOS (2 - Houve redução do índice de não conformidades identificadas)	52,27	23,03	0	50	75	22,22	19,54	0	25	50	75	22,36	25	75	100
RESULTADOS (3 – Houve aumento no nível de satisfação dos clientes)	54,55	16,61	25	50	75	25	25	0	25	75	79,55	18,77	50	75	100
RESULTADOS (4 - Houve redução nos custos da não qualidade)	43,18	17,56	25	50	75	16,67	17,68	0	25	50	75	19,36	50	75	100
RESULTADOS (5 - Houve redução de ciclo (tempo) de produção)	56,82	17,56	25	50	100	13,89	13,18	0	25	25	75	19,36	50	75	100
RESULTADOS (6 - Houve redução de custos de produção)	52,27	15,25	25	50	100	11,11	13,18	0	0	25	75	22,36	50	75	100

Variável	Cluster 1 (n = 22)					Cluster 2 (n = 9)					Cluster 3 (n = 11)				
	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
RESULTADOS (7 - Houve aumento da produtividade)	57,95	16,16	25	50	100	16,67	17,68	0	25	50	79,55	15,08	50	75	100
RESULTADOS (8 – Houve melhoria nos índices de capacidade do processo)	43,18	20,68	0	50	75	11,11	18,16	0	0	50	65,91	28	0	75	100
RESULTADOS (9 –O nível de satisfação dos tomadores de decisão com PE e TE)	50	17,25	0	50	75	25	21,65	0	25	50	77,27	7,54	75	75	100
RESULTADOS (10–Os funcionários nível operacional se sentem à vontade p/ aplicação do PE e TE)	36,36	25,27	0	50	75	19,44	16,67	0	25	50	59,09	16,85	25	50	75
RESULTADOS (11– O aumento do nível de compreensão dos processos e problemas com PE e TE)	44,32	13,21	25	50	75	22,22	19,54	0	25	50	75	15,81	50	75	100
RESULTADOS (12- A contribuição do uso de PE e TE para a consolidação de Programas de Melhoria)	51,14	14,39	25	50	75	22,22	19,54	0	25	50	84,09	23,11	25	100	100
RESULTADOS (13- O nível de redução da variabilidade e de melhoria da estabilidade e capacidade)	46,59	15,99	25	50	75	22,22	19,54	0	25	50	72,73	13,48	50	75	100

Variável	<i>Cluster 1 (n = 22)</i>					<i>Cluster 2 (n = 9)</i>					<i>Cluster 3 (n = 11)</i>				
	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
RESULTADOS (14– O aumento da preocupação com medir e compreender a variabilidades dos processos	46,59	22,22	0	50	100	30,56	27,32	0	25	75	84,09	12,61	75	75	100
RESULTADOS (15– Com o uso de PE e TE a mudança da cultura organizacional em prol da qualidade	47,73	18,75	0	50	75	30,56	27,32	0	25	75	86,36	17,19	50	100	100

APÊNDICE E – TABELAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DE ASSOCIAÇÃO

Análise ISO 9001 e clusters formados

ISO 9001	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não	1	0	0	1
	5%	0%	0%	
Sim	19	6	11	36
	95%	100%	100%	
Total de empresas por cluster	20	6	11	37
<i>p-value</i>	0,99			

Análise ISO 14001 e clusters formados

ISO 14001	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não	11	1	3	15
	55%	16,67%	27,27%	
Sim	9	5	8	22
	45%	83,33%	72,73%	
Total de empresas por cluster	20	6	11	37
<i>p-value</i>	0,18			

Análise “Iniciativas de melhoria no dia a dia” e clusters formados

Iniciativas de melhoria no dia a dia	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	1 4,76%	2 25%	1 9,09%	4
Possui	20 95,24%	6 75%	10 90,91%	36
Total de empresas por cluster	21	8	11	40
<i>p-value</i>	0,29			

Análise “Programa Caixa de Sugestões” e clusters formados

Programa Caixa de Sugestões	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	6 28,57%	3 37,50%	3 27,27%	12
Possui	15 71,43%	5 62,50%	8 72,73%	28
Total de empresas por cluster	21	8	11	40
<i>p-value</i>	0,90			

Análise “Eventos Kaizen” e clusters formados

Eventos Kaizen	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	4 19,05%	4 50%	3 27,27%	11
Possui	17 80,95%	4 50%	8 72,73%	29
Total de empresas por cluster	21	8	11	40
<i>p-value</i>	0,23			

Análise “Seis Sigma” e clusters formados

Seis Sigma	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	12 57,14%	5 71,43%	4 36,36%	21
Possui	9 42,86%	2 28,57%	7 63,64%	18
Total de empresas por cluster	21	7	11	39
<i>p-value</i>	0,43			

Análise “Lean Manufacturing” e clusters formados

<i>Lean Manufacturing</i>	<i>Cluster</i>			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	5 23,81%	3 42,86%	1 9,09%	9
Possui	16 76,19%	4 57,14%	10 90,91%	30
Total de empresas por cluster	21	7	11	39
<i>p-value</i>	0,28			

Análise “Lean Sigma” e clusters formados

<i>Lean Sigma</i>	<i>Cluster</i>			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	13 65%	7 100%	6 54,55%	26
Possui	7 35%	0 0%	5 45,45%	12
Total de empresas por cluster	20	7	11	38
<i>p-value</i>	0,10			

Análise “TPM” e clusters formados

TPM	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	11 57,89%	4 57,14%	1 9,09%	16
Possui	8 42,11%	3 42,86%	10 90,91%	21
Total de empresas por cluster	19	7	11	37
<i>p-value</i>	0,02			

Análise “TQM” e clusters formados

TQM	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	12 66,67%	7 100%	2 18,18%	21
Possui	6 33,33%	0 0%	9 81,82%	15
Total de empresas por cluster	18	7	11	36
<i>p-value</i>	<0,01			

Análise “5S” e *clusters* formados

5S	Cluster			
	1 (escores intermediários)	2 (escores menores)	3 (escores melhores)	Total
Não possui	1 4,55%	2 25%	0 0%	3
Possui	21 95,45%	6 75%	11 100%	38
Total de empresas por cluster	22	8	11	41
<i>p-value</i>	0,15			

APÊNDICE F – TABELA COM ESCORES CALCULADOS DO BLOCO C (SEGREGADOS EM TE BÁSICAS/INTERMEDIÁRIAS E AVANÇADAS) E ESCORES DO BLOCO D (PARA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO), POR EMPRESA PARTICIPANTE

ID	ESCORE - Bloco C (TE básicas / intermediárias)	ESCORE - Bloco C (TE avançadas)	ESCORE - Bloco D
1	15,00	0,00	28,33
2	62,50	50,00	68,33
3	60,00	21,43	63,33
4	55,00	25,00	83,33
5	55,00	0,00	55,00
6	40,00	3,57	50,00
7	50,00	3,57	41,67
8	70,00	39,29	56,67
9	37,50	0,00	18,33
10	75,00	25,00	68,33
11	25,00	0,00	25,00
12	82,50	35,71	93,33

ID	ESCORE - Bloco C (TE básicas / intermediárias)	ESCORE - Bloco C (TE avançadas)	ESCORE - Bloco D
13	92,50	53,57	88,33
14	5,00	10,71	53,33
15	5,00	0,00	0,00
16	47,50	3,57	40,00
17	5,00	0,00	0,00
18	27,50	25,00	50,00
19	50,00	28,57	61,67
20	30,00	14,29	50,00
21	42,50	39,29	53,33
22	22,50	3,57	40,00
23	45,00	28,57	48,33
24	100,00	96,43	90,00
25	42,50	0,00	55,00
26	45,00	35,71	76,67
27	57,50	42,86	65,00
28	32,50	10,71	26,67

ID	ESCORE - Bloco C (TE básicas / intermediárias)	ESCORE - Bloco C (TE avançadas)	ESCORE - Bloco D
29	67,50	7,14	50,00
30	60,00	21,43	50,00
31	32,50	28,57	35,00
32	20,00	14,29	50,00
33	32,50	0,00	50,00
34	40,00	32,14	31,67
35	62,50	7,14	23,33
36	27,50	0,00	36,67
37	77,50	64,29	71,67
38	27,50	17,86	43,33
39	67,50	17,86	43,33
40	72,50	14,29	73,33
41	77,50	35,71	55,00
42	35,00	3,57	41,67