

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO
SEGUNDO AS PERCEPÇÕES DOS USUÁRIOS DO SETOR DE AUTOPEÇAS

FABIANO RODRIGUES SORIANO

SÃO CARLOS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO
SEGUNDO AS PERCEPÇÕES DOS USUÁRIOS DO SETOR DE AUTOPEÇAS

FABIANO RODRIGUES SORIANO

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Pedro Carlos Oprime.

São Carlos
2015

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

S714a Soriano, Fabiano Rodrigues
Análise da aplicação do controle estatístico de processo segundo as percepções dos usuários do setor de autopeças / Fabiano Rodrigues Soriano. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
170 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Controle Estatístico de Processo (CEP). 2. Cartas de controle. 3. Fatores críticos de sucesso. 4. Qualidade. 5. Produtividade. 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 Tese de Doutorado do candidato Fabiano Rodrigues Soriano, realizada em 11/12/2015:

Prof. Dr. Pedro Carlos Oprime
UFSCar

Profa. Dra. Fabiane Leticia Lizarelli
UFSCar

Prof. Dr. Fernando Celso de Campos
UNIMEP

Prof. Dr. Jose Carlos de Toledo
UFSCar

Prof. Dr. Manoel Henrique Salgado
UNESP

RESUMO

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é reconhecido na literatura como uma das principais ferramentas para o controle e melhoria da qualidade e da produtividade. Constata-se que as cartas ou gráficos de controle é um elemento central do CEP; sendo essas, ferramentas estatísticas cujo uso eficiente depende de determinadas habilidades e comportamentos organizacional. No que se refere aos resultados para a organização, observa-se que o uso das cartas de controle pode ser dividido em dois grupos: aqueles que podem ser diretamente atribuídos à redução da variabilidade, denominado de hard; e aqueles associados aos aspectos motivacionais, ou orgânicos, denominados de Soft. Apesar dos argumentos favoráveis ao CEP, pesquisa realizada no setor automotivo aponta que cerca de 70% das empresas apresentam alguma dificuldade na condução das suas atividades relacionadas ao CEP. Sobre isso, a literatura indica que fatores relacionados aos aspectos metodológicos, estatísticos e gerenciais do processo de implantação das cartas de controle são condicionantes para o sucesso de um plano estruturado de implantação do CEP. Diante deste quadro, é objetivo desta tese contribuir para um efetivo uso das cartas de controle pelas empresas nacionais, e também para avanços no campo da pesquisa. Para tal, optou-se por uma pesquisa de campo para captar e descrever as percepções de especialistas que usam gráficos de controle estatístico e que atuam na indústria automotiva. A pesquisa de campo foi estruturada em três dimensões básicas - a estatística, a metodológica e a gerencial, e nos resultados alcançados pelo uso do CEP, subdivididos em Soft e Hard. O método utilizado baseou-se em uma pesquisa de campo por amostragem, cuja população de interesse foi os gestores dos programas CEP que utilizam as cartas de controle estatístico por mais de 01 ano na indústria de autopeças. Foi enviado um total de 98 questionários para indivíduos da população de interesse, identificados no Guia Oficial do Setor de Autopeças (2014), que resultaram em 37 questionários respondidos e válidos para análise. Os resultados desta pesquisa de campo validaram em parte as hipóteses do referencial teórico, porém mostrou, além da complexidade e a importância dos aspectos metodológicos e gerenciais na implantação do CEP, que há uma lacuna significativa entre a teoria e a prática. Isso em parte pode ser explicado pela dissonância entre os principais avanços científicos na área, sobre tudo nos aspectos estatísticos, e as controvérsias sobre os reais benefícios de um programa CEP. Recomenda-se, como resultado desta tese, que pesquisas de campo sejam realizadas para que se relatem casos reais de sucesso do CEP; cujos casos sejam analisados em profundidade, para que boas práticas sejam disseminadas no ambiente acadêmico.

Palavras chaves: Controle Estatístico de Processo (CEP); Cartas de Controle. Fatores Críticos de Sucesso. Qualidade. Produtividade. Implantação do CEP

ABSTRACT

The Statistical Process Control (SPC) is recognized in the literature as one of the main tools for controlling and improving the quality and productivity. The control chart is a central element of the SPC; and these, statistical tools whose efficiency depends on certain skills and organizational behavior. With regard to the results to the organization, it is observed that the use of control charts can be divided into two groups: those that can be directly attributed to reduced variability called hard; and those associated with the motivational aspects, or organic, called Soft. Despite the arguments in favor of SPC survey, a study conducted in the automotive sector shows that about 70% of companies have some difficulty in conducting their activities related to the SPC. On this, the literature indicates that factors related to methodological, statistical and managerial aspects of control charts of the implementation process are conditions for the success of a structured plan of implementation of the SPC. Given this situation, it is objective of this thesis contribute to an effective use of control charts by national companies, and to advances in research. To this end, we opted for a field survey to capture and describe the perceptions of experts who use control charts and working in the automotive industry. The field research was structured in three basic dimensions - statistics, methodology and management, and the results achieved by the use of the SPC, divided into Soft and Hard. The method used was based on a survey, which has a population of interest was the managers of SPC programs that use the control charts for more than 01 years in the auto parts industry. This survey was sent to 98 individuals in the population of interest, identified in the Official Guide Auto parts Industry (2014), which resulted in 37 questionnaires and valid for analysis. The results of this field research validated the hypotheses in part the theoretical framework, but showed, besides the complexity and importance of methodological and managerial aspects in the implementation of the SPC, there is a significant gap between theory and practice. This may partly be explained by the dissonance between the main scientific advances in the field, especially in the statistical aspects, and the controversies about the real benefits of SPC program. As a result of this thesis is recommended that field research has been done for that to report real success stories of the SPC; whose cases are examined in depth so that good practice is disseminated in the academic environment.

Key words: Statistical Process Control (SPC); Control Charts. Critical Success Factors (CSF). Quality. Productivity. SPC deployment

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. 1 Modelo Conceitual	15
Figura 3. 1 Cartas CEP de Shewart em 1924.....	39
Figura 3. 2 Gráfico de série temporal mostrando as regiões de probabilidade de causas comuns e especiais.....	40
Figura 3. 3 Matriz de Teste de Hipóteses	42
Figura 3. 4 Distribuição Normal padrão, mostrando número de desvios padrão do processo e a área de probabilidade para ± 3 sigma	43
Figura 3. 5 Gráfico de Controle de Média de Shewart, com histograma.	43
Figura 3. 6 Gráfico de Controle de Média de Shewart para valores individuais e de média e amplitude para subgrupo=3	47
Figura 3. 7 Guia para Controle e Monitoramento de processo univariado.....	48
Figura 3. 8 Zona de testes da Western Electric	53
Figura 5. 1 Modelo conceitual com hipóteses de pesquisa	85
Figura 5. 2 Sequencia das etapas de pesquisa utilizada nesta tese	95
Figura 6. 1 Certificações adotadas pelas empresas pesquisadas	97
Figura 6. 2 Programas e abordagens de melhoria utilizadas pelas empresas estudadas.....	97
Figura 6. 3 Modelo Conceitual: relação direta.....	123
Figura 6. 4 Modelo conceitual: relação indireta	125
Figura 6. 5 Modelo Conceitual: relação causal dimensão estatística	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. 1 Classificação do processo	13
Quadro 2. 1 Características das Informações	35
Quadro 3. 1 Seis Novas Regras das Zonas de Controle da Western Electric de 1984	54
Quadro 3. 2 Indicadores de processo	55
Quadro 4. 1 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível estratégico	58
Quadro 4. 2 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível tático	59
Quadro 4. 3 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível operacional	61
Quadro 4. 4: Dimensão Soft.....	77
Quadro 4. 5 Dimensão Hard.....	80
Quadro 5. 1 Constructos de pesquisa.....	87
Quadro 6. 1 Resumo dos fatores identificados	112
Quadro 6. 2 Validação das hipóteses	127
Quadro 7. 1 Síntese dos problemas identificados e recomendações	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 5. 1	Resumo dos questionários enviados	93
Tabela 5. 2	Alfa de Cronbach dos constructos investigados pelo instrumento de pesquisa	94
Tabela 6. 1	Experiência dos entrevistados com CEP	96
Tabela 6. 2	Ferramentas utilizadas pelas empresas segundo os entrevistados.....	98
Tabela 6. 3	Acesso a fonte de informações sobre CEP.	99
Tabela 6. 4	Análise descritiva da Dimensão Gerencial.....	100
Tabela 6. 5	Análise descritiva da Dimensão Metodológica	101
Tabela 6. 6	Análise descritiva da Dimensão Estatística.....	103
Tabela 6. 7	Análise descritiva dos Resultados <i>Soft</i>	104
Tabela 6. 8	Análise descritiva dos resultados <i>Hard</i>	105
Tabela 6. 9	Análise fatorial da Dimensão Gerencial.....	106
Tabela 6. 10	Análise fatorial da Dimensão Metodológica	107
Tabela 6. 11	Análise fatorial da Dimensão Estatística	109
Tabela 6. 12	Análise fatorial da Dimensão <i>Hard</i>	110
Tabela 6. 13	Análise fatorial da Dimensão <i>Soft</i>	111
Tabela 6. 14	Análise de regressão múltipla - Fator Gerencial.....	113
Tabela 6. 15	Análise de regressão múltipla - Fator Estatístico	117
Tabela 6. 16	Análise de regressão múltipla - Fator Metodológico.....	119
Tabela 6. 17	Resumo das relações identificadas com nível de significância >0,05	122

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização do uso de técnicas estatísticas no ambiente manufatureiro	11
1.2 Problema de Pesquisa.....	13
1.3 Estrutura conceitual da tese	14
1.4 Objetivo	15
1.4.1 Objetivos específicos.....	16
1.5 Hipóteses	17
1.6 Originalidade da tese.....	18
1.7 Justificativa	19
1.8 Objeto de estudo	20
1.9 Estrutura do trabalho	20
2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS E MELHORIA CONTÍNUA: CONCEITOS, ABORDAGENS E CONTRADIÇÕES	22
2.1 O Controle Estatístico de Processo e a melhoria contínua.....	22
2.2 O conceito da variabilidade	24
2.3 Variabilidade no processo produtivo	27
2.4 Tipos de melhorias frente à estrutura conceitual do CEP	28
2.5 Cartas de controle como ferramenta de melhoria da qualidade	30
2.6 A gestão da comunicação nas ações de melhoria	33
3. CARTAS DE CONTROLE DE PROCESSO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA CLÁSSICA	36
3.1 Conceitos fundamentais e tradicionais dos gráficos de controle	37
3.2 Impacto da estimação dos parâmetros nos erros alfa e beta	43
3.3 Subgrupos racionais e objetivos dos gráficos de controle	46
3.4 Etapas para a implantação do CEP	49
4 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO CEP	57
4.1 Dimensões dos fatores críticos de sucesso.....	57
4.2 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível estratégico	62
4.3 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível tático	66
4.4 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível operacional.....	71
4.5 Benefícios gerados a partir da aplicação adequada do programa CEP.....	75
4.5.1 Resultados <i>Soft</i>	76
4.5.2 Resultado <i>Hard</i>	80
5 PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CAMPO.....	84
5.1 Proposições de um modelo teórico-conceitual e constructos de pesquisa	85
5.2 Hipóteses de pesquisas	87
5.3 Operacionalização dos constructos de pesquisa e elaboração do questionário.....	87
5.4 Caracterização da população de interesse e construção do instrumento de pesquisa	90
5.5 Validação conceitual do questionário	91
5.6 População e propriedades da amostra	92
5.7 Validação estatística do questionário.....	94
6 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO POR AMOSTRAGEM.....	96
6.1 Caracterização da amostra de pesquisa	96
6.2 Análise descritiva das dimensões.....	100
6.3 Testes de significância estatística	105
6.3.1 Análise Fatorial - Dimensão Gerencial.....	106
6.3.2 Análise Fatorial - Dimensão Metodológica.....	107
6.3.3 Análise Fatorial - Dimensão Estatística	109
6.3.4 Análise Fatorial – Benefícios <i>Hard</i>	110
6.3.5 Análise Fatorial – Benefícios <i>Soft</i>	111
6.4 Resultados da análise de regressão múltipla entre os fatores	113
6.5 Validação das hipóteses de pesquisa	123
6.6 Limitações.	127
7 IMPLICAÇÕES DOS RESULTADOS ENCONTRADOS NA TESE.....	129
7.1 Conjecturas estatísticas, metodológicas e gerenciais.	129
7.1.1 Dimensão estatística	129
7.1.2 Dimensão gerencial.....	131
7.1.3 Dimensão metodológica.....	132
7.2 Controvérsias da abordagem clássica e proposições de melhoria	133
7.3 Proposições de melhoria para a aplicação das cartas de controle.....	140

8 CONCLUSÃO	144
REFERÊNCIAS	148
APÊNDICE A – Questionário –Pesquisa sobre fatores críticos de sucesso para o Controle Estatístico de Processo (CEP).....	156
APÊNDICE B – Questionários válidos respondidos utilizados para análise dos dados	161
APÊNDICE C-Revisão sobre os métodos de Análise de dados utilizados nesta tese	166

1 INTRODUÇÃO

Amplamente difundida no meio industrial na metade do século XX, e posteriormente difundida para todos os setores da economia de diferentes tipos de organizações, a gestão da qualidade, conforme definida por Juran e Godfrey (1999), constitui-se de um conjunto de atividades de planejamento, controle e melhoria dos produtos, processos e serviços. No escopo dessas atividades, se desenvolve e se aplicam métodos, sistemas, técnicas e ferramentas estatísticas de análise e solução de problemas, que, apoiado por uma cultura voltada ao aprimoramento incremental e trabalhos em grupos, revolucionaram a gestão das empresas no mundo todo. O elemento central do movimento da qualidade está, de acordo com as mais atualizadas abordagens de gestão, no uso de métodos científicos de solução de problemas, que deve, essencialmente, basear-se em dados e fatos.

Enquanto que nas primeiras décadas do movimento da qualidade o centro das atenções estava no uso de métodos estatísticos para o controle de produtos e processos, a partir da década de setenta do século passado, o foco passou para a gestão e prevenção de problemas (GARVIN, 1991). A partir dessa época ocorreu uma ampla difusão do uso das técnicas e métodos de prevenção de problemas, em especial o *design* de experimentos (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977, IMAI, 1989; KUME, 1991; JURAN; GODFREY, 1999; MONTGOMERY, 2004), o FMEA – *Failure Mode Effects and Analysis* (ASQ/AIAG, 2002) e métodos de confiabilidade para validação de produtos e processos (JURAN; GODFREY, 1999). Além do mais, até os dias atuais continuam sendo amplamente utilizados, praticamente em todas as indústrias, os planos de amostragem de aceitação lote a lote (JURAN; GODFREY, 1999; MONTGOMERY, 2004), e menos comum às inspeções contínuas.

Apesar de consagradas pelo aparente sucesso do seu uso, percebeu-se ao longo das décadas que o sucesso do uso dos métodos e técnicas estatísticas está condicionado à capacidade da alta administração e dos gerentes em organizar e mobilizar toda organização na adoção do pensamento estatístico, bem como capacitar e incentivar as pessoas no uso da abordagem científica na solução de problemas (DEMING, 1996; JURAN; GODFREY, 1999; MONTGOMERY, 2013). A aplicação do ferramental estatístico de forma isolada, aleatória e espontânea dissipa recursos e não apresenta resultados significativos e sustentáveis no longo prazo para as organizações (JORGENSEN; BOER e GERTSEN, 2003). A literatura indica que as abordagens de

melhoria propiciam um ambiente favorável para a aplicação sistemática de ferramentas, técnicas e métodos (MONTGOMERY, 2010).

Para um efetivo uso, essas técnicas e ferramentas devem ser aplicadas de forma sistemática, integradas em um amplo sistema de gestão da qualidade, focados no controle e melhoria de produtos e processos (JURAN; GODFREY, 1999). O que nem sempre ocorre, por diversas razões, que serão exploradas neste trabalho de pesquisa.

1.1 Contextualização do uso de técnicas estatísticas no ambiente manufatureiro

Há, entretanto, algumas características observáveis sobre o uso de técnicas e ferramentas de suporte a solução de problemas. O *Lean Manufacturing* e *Kaizen* focam as relações entre os processos produtivos e usam predominantemente ferramentas gerenciais para a redução de desperdício. Já o TQM (Gerenciamento da Qualidade Total) e o Seis Sigma, focam na melhoria da qualidade por meio da redução da variabilidade nos processo produtivos, utilizando ferramentas predominantemente estatísticas para monitorar, analisar e controlar o desempenho dos processos produtivos (SHIBA; GRAHAM; WALDEN, 1997; ROTONDARO, 2002; MONTGOMERY, 2010; SHINGO; FARIA, 2010, VASSILAKIS; BESSERIS, 2010; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

O que se constata é que não existe uma única abordagem ou conjunto de ferramentas e técnicas capazes de atender a todas as necessidades das organizações, no que diz respeito à gestão da qualidade. Neste sentido, dependendo das necessidades específicas de cada processo produtivo, recomenda-se às organizações que adotem diferentes abordagens na busca pela excelência operacional (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997; ECKES, 2001; JORGENSEN; BOER e GERTSEN, 2003; MONTGOMERY, 2004, 2010), não se restringindo a padrões ou convenções pré-estabelecidas. A justificativa para isso está em parte em razão das inovações tecnológicas e às exigências crescentes de clientes e consumidores por melhores padrões de qualidade (PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; PUTRI; YUSOF, 2009; TRENTIN, 2010; VASSILAKIS; BESSERIS, 2010; KORZENOWSKI, 2012; HACK, 2012;).

Para a engenharia da qualidade, inovações e as exigências dos clientes oferecem um terreno fértil para que pesquisadores aprimorem o desenvolvimento das técnicas e ferramentas estatísticas voltadas para o monitoramento e controle dos

processos produtivos (BURR, 1976; PUTRI; YUSOF, 2009, TRENTIN, 2010; KORZENOWSKI, 2012).

Como exemplo, pode-se citar o *design* de experimentos que tem tido avanços significativos em termos de eficiência, custos e robustez, que ainda não estão às mãos da grande maioria dos praticantes (FIRKA, 2011). Outro caso é o Controle Estatístico de Processo, CEP, que tem limitações desconhecidas da grande maioria dos praticantes, e cujas inovações desenvolvidas na última década não foram ainda tratadas em livros textos de ampla circulação (SHAININ, 1996; WOODALL, 2000; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

O CEP, objeto de estudo desta pesquisa, corresponde a um conjunto de técnicas estatísticas voltadas para monitorar e analisar as causas de variação nos parâmetros de processo, cuja responsabilidade de implantação e uso, em geral, pertence à engenharia da qualidade. (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977, WHEELER, 1995; SMITH, 1998; STOUMBOS, *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008). Já o programa CEP é maneira pela qual as organizações implantam essas ferramentas e as praticam, pois cada organização o faz de acordo com suas necessidades específicas.

É conhecido há décadas que a utilização eficiente do CEP, como um conjunto de ferramentas diretamente relacionado às abordagens de melhoria no contexto da gestão da qualidade, tem propiciado melhoria da qualidade de conformação e redução de defeitos dos produtos no campo, bem como produzido efeitos positivos na produtividade das empresas pela redução de falhas durante a fabricação e paradas das linhas de produção (STOUMBOS, *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010), o que favorece a implantação do *Lean Manufacture*.

Embora haja relatos na literatura de casos de insucessos na implantação do CEP, há um aumento significativo da quantidade de trabalhos científicos publicados sobre o assunto nos últimos dez anos. Esses trabalhos têm focado, em geral, o desempenho dos gráficos de controle (JENSEN *et. al.*, 2006; PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; RUPA; EVANS, 2012), porém poucos trabalhos tem analisado os aspectos gerenciais da implantação do CEP. Entretanto, cabe destacar que os procedimentos de implantação desses gráficos estão, em tese, bem delineados por autores consagrados e de reconhecido prestígio (HAYES e

ROMIG, 1977; WOODALL, 2000; MONTGOMERY; RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004 OAKLAND, 2008).

1.2 Problema de Pesquisa

A fim de contribuir para os avanços teóricos e oferecer contribuições práticas ao desenvolvimento do CEP busca-se aqui responder a seguinte questão de pesquisa que emerge da análise bibliográfica: como os Fatores Críticos de Sucesso para a implantação do CEP se relacionam com os benefícios gerados pela utilização apropriada das cartas de controle.

Os Sistemas de Qualidade (SG) estabelecem diretrizes para o controle de processo. A *ISO/TS 16676* trata das questões pertinentes ao CEP e especifica quatro situações (veja quadro 1.1), dentre elas há uma em especial (caso 3) no qual o processo está fora de controle, porém atende os requisitos do projeto, nesse caso considera-se o processo aceitável. Isso ilustra a necessidade de considerar que os procedimentos clássicos para a implantação do CEP não é único. Shainin (1996), por exemplo, faz críticas ao uso do CEP com contra exemplos de situações que recaem no caso 3 do Quadro 1.1, no qual os métodos clássicos são inviáveis.

Quadro 1.1 Classificação do processo

Requisitos do produto	Sob controle estatístico	Fora de controle
Aceitável	Caso 1	Caso 3
Não aceitável	Caso 2	Caso 4

Fonte: ASQ/AIAG, 2002.

O insucesso da implantação do CEP pode estar relacionado à falta da amplificação das possibilidades práticas no qual o praticante se defronta com a questão em que os métodos tradicionais não podem dar o devido suporte. Assim, percebe-se que há a necessidade de avaliar fatores de insucessos e de sucessos relacionados aos aspectos estatísticos, gerenciais e metodológicos pois afetam os benefícios (*Soft e Hard*) do programa CEP da empresa.

Identificou-se na literatura a existência de quarenta e cinco Fatores Críticos de Sucesso (FCS) sobre o CEP, conforme podem ser observados no capítulo 4 desta tese, em especial os descritos por Antony, Balbontin e Taner (2000), Montgomery (2003), Rohani, Yusof e Mohamad (2010) Rupa e Evans (2012), Sharma e Kharub (2014), fica ainda a dúvida sobre a real prática do CEP na indústria brasileira.

1.3 Estrutura conceitual da tese

Como já mencionado, a literatura apresenta alguns FCS para a implantação do CEP que os gestores do programa CEP devem conhecer, lidar e gerir eficientemente para obter resultados positivos. Observam-se também na literatura que estes FCS são agrupados segundo sua natureza, competências e atribuições dos diversos níveis hierárquicos da organização.

Firka (2011) fez um trabalho relacionado ao planejamento de experimentos, que pode em tese, ser aplicado ao CEP. O autor apresenta três dimensões: estatística, metodológica e gerencial, sendo que cada uma é conduzida por práticas independentes, porém correlacionadas. Este mesmo autor justifica que os FCS devem ser discutidos não só em relação aos aspectos estatísticos, mas também em relação aos aspectos metodológicos e de gestão, uma vez que estes contribuem direta e indiretamente no processo de implantação do CEP.

Na dimensão estatística estão agrupados os FCS que envolvem relações técnicas tais como: a definição dos limites de controle e formação dos subgrupos racionais, análise do sistema de medição e capacidade do processo (FIRKA, 2011).

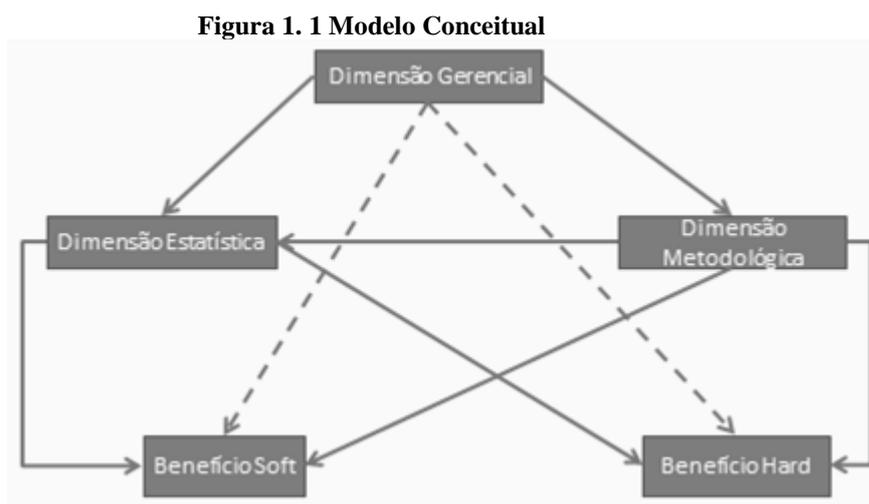
A dimensão metodológica corresponde aos FCS diretamente relacionado à condução das atividades, tais como: a definição dos procedimentos para ação na presença de causas especiais, definição das características dos produtos e processos a serem monitorados e definição dos parâmetros do processo e responsabilidades (FIRKA, 2011).

Já a dimensão gerencial corresponde aos FCS relacionados à formalização e implantação do programa tais como o apoio da alta administração, utilizar a figura do facilitador, treinamento e infraestrutura necessária para a condução das atividades (FIRKA, 2011).

Nessa linha há outros autores que se destacam. Para Rohani, Yusof e Mohamad (2010) os benefícios da implantação do CEP nas empresas podem também ser agrupados em dimensões *Soft*, *Hard* e de desempenho. No que se refere à dimensão *Soft*, estão agrupados os resultados indiretos, tais como a melhoria da satisfação do cliente, melhor compreensão do processo e melhoria da competitividade da empresa. Na dimensão *Hard*, estão agrupados os resultados diretamente associados ao uso da técnica, como as reduções na taxa de desperdícios, variabilidade e custos, além da melhoria da produtividade.

O desempenho da empresa representa uma dimensão que está indiretamente relacionado ao CEP, tal como: a participação no mercado, crescimento nas vendas e lucratividade da empresa e por tanto não será considerada neste estudo. A Figura 1.1 apresenta o modelo estrutural e conceitual da tese, que, de forma esquemática, faz o relacionamento existente entre os FCS agrupados em Dimensões e Benefícios.

A literatura estuda indica que a Dimensão Gerencial, por estar relacionada a suporte às atividades do CEP, exerce influencia nas dimensões Estatística e Metodológica, que por sua vez são causadoras da obtenção dos benefícios (*Hard* e *Soft*). Além desta relação indireta da dimensão Gerencial sobre os resultados a relatos de que esta dimensão influencia diretamente os Benefícios gerados com o programa. Observa-se ainda que os FCS pertencentes à dimensão Metodológica interfiram diretamente na Dimensão Estatística (ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; FIRKA, 2011).



Fonte: ANTONY; BALBONTIN; TANER (2000), ROHANI; YUSOF; MOHAMAD (2010), FIRKA (2011).

1.4 Objetivo

Observa-se que o CEP tem restrições em termos de consistência e aplicabilidade dos tradicionais preceitos formulados desde Shewhart, na década de trinta do século passado, que não se coadunam com a prática. Essa é uma questão pouco explorada, pois as considerações teóricas baseadas em métodos e pressupostos estatísticos e de gestão não são aplicáveis a todo processo industrial.

Sendo assim, o objetivo desta tese é captar, descrever e inter-relacionar as dimensões propostas por Firka (2011) aos benefícios *Soft* e *Hard*, baseado nas

percepções dos praticantes sobre os fatores organizados nos constructos mostrados na figura 1.1.

A população de interesse são os indivíduos com experiência profissional (≥ 1 ano) que atuam na área de Engenharia da Qualidade e que trabalham com o monitoramento estatístico de processo na indústria de autopeças. Desta forma, espera-se contribuir para a literatura esclarecendo sobre a forma de relacionamento existente entre a dimensão gerencial suas influências nas dimensões metodológica e estatística, bem como nos benefícios *Soft* e *Hard*, conforme esquematizado na Figura 1.1.

Para atingir este objetivo adota-se como método a pesquisa de campo por amostragem tipo *survey* e entrevistas presenciais por meio de questionários estruturados (disponível no Apêndice A desta tese). As análises serão conduzidas por meio de *software* estatístico, e o tipo de técnica a ser aplicada serão as descritivas e as inferenciais multivariadas (Análise Fatorial e Regressão Múltipla).

As questões formuladas nesse instrumento de pesquisa derivam dos FCS descritos na literatura, e os resultados serão confrontados com os modelos teóricos e conceituais vigentes. Destaca-se dentre as referências bibliográficas pesquisadas, os estudos sobre monitoramento, controle e melhoria da qualidade desenvolvida por Rohani, Yusof e Mohamad (2010) e Rupa e Evans, (2012), que servirão de base a este trabalho, bem como a pesquisa de Firka (2011). Antony; Balbontin; Taner (2000)

1.4.1 Objetivos específicos

Considerando os argumentos até aqui apresentados e os objetivo deste trabalho, há que se atingirem ao longo desta tese alguns objetivos específicos. Essa pesquisa foca o modelo clássico teórico do relacionamento entre os FCS do uso de técnicas estatísticas de monitoramento, controle e melhoria dos processos e seus resultados alcançados pelas empresas, formuladas e em alguns casos constatadas na literatura. Para isso serão buscados os seguintes objetivos específicos:

- a) Delinear o referencial teórico clássico sobre os métodos estatísticos para o monitoramento, controle e melhoria dos processos.
- b) Apontar por meio da literatura os avanços conceituais sobre CEP.
- c) Levantar os FCS e os benefícios do CEP relatados na literatura.
- d) Conduzir uma pesquisa de campo em empresas do setor de autopeças observando as tendências de práticas adotadas por essas empresas.

e) Relacionar por meio de análises estatísticas quais FCSs são determinantes para a obtenção dos benefícios.

1.5 Hipóteses

As hipóteses de pesquisa foram em parte apresentadas nas seções anteriores como parte do modelo conceitual apresentado na figura 1.1, porém carecem de maior detalhamento. Sumarizando, buscou-se investigar as seguintes proposições ou hipóteses de pesquisa:

a) As dimensões metodológicas e estatísticas estão condicionadas a dimensão gerencial. Em outros termos, a probabilidade de sucesso no uso de métodos e técnicas estatísticas, baseada em uma abordagem científica de solução de problemas, é condicionada ao nível de maturidade da organização em dar suporte ao processo de controle e melhoria da qualidade.

b) De modo semelhante, a probabilidade de se ter resultados positivos, tanto *Soft* como *Hard*, decorrentes da adoção de uma abordagem científica de solução de problemas, está condicionada aos altos níveis das boas práticas na dimensão gerencial.

c) Se os resultados dependem direta e indiretamente da habilidade gerencial, então se pode formular a hipótese de condicionalidade dos resultados ao uso de métodos estatísticos. Assim, afirma-se que a probabilidade de se ter resultados positivos, tanto *Soft* como *Hard*, decorrentes da adoção de uma abordagem científica de solução de problemas, está condicionada a habilidade da organização em utilizar métodos e técnicas estatísticas.

d) Utilizando-se da mesma lógica, pode-se concluir que os resultados *Soft* e *Hard* estão condicionados a dimensão metodológica. O que significa em termos gerais que esta dimensão, pertinentes a um conjunto de regras, que delineiam e orientam o uso de técnicas e métodos científicos que deve apoiar uma correta intervenção no processo, afeta os resultados. Corresponde, portanto, a um conjunto significativo de fatores que comprometem a aplicação de técnicas estatísticas no nível operacional.

e) Expandindo a hipótese anterior, também se afirma que o uso de métodos e técnicas estatísticas está condicionado a capacidade das organizações em

conduzirem as práticas adequadas. Assim, supõe-se relação de dependência entre a dimensão metodológica a dimensão estatística.

A partir das hipóteses gerais acima expostas, é proposto neste trabalho três hipóteses estatísticas a serem confirmadas ou refutadas por meio da pesquisa de campo por amostragem. O termo de condicionalidade aqui empregado é o mesmo utilizado na área estatística, que representa dependência entre as variáveis, geralmente representada por $P(S_0|G_0)$, significando que a probabilidade de ocorrer um dado valor de S depende do valor de G . As hipóteses formuladas são as seguintes:

H₁: Existe relação de condicionalidade direta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* como *Hard*.

H₂: Existe relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* quanto *Hard*.

H₃: Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão Gerencial e os fatores pertencentes à dimensão Estatística.

1.6 Originalidade da tese

Conforme recomenda Rohani; Yusof; Mohamad, (2010) e Rupa; Evans, (2012), é necessário refinar os conhecimentos sobre o relacionamento existente entre os FCS e resultados, sendo esta uma lacuna conceitual que necessita ser mais bem compreendida, pois ainda não está estabelecida no atual estado da arte. Neste sentido, às relações multivariadas existentes entre as dimensões estudadas (Gerencial, Metodológica, Estatística, *Soft* e *Hard*), apresentada no modelo conceitual, necessitam ser validadas por meios estatísticos.

Acrescenta-se ainda que não existam estudos que confronte a percepção teórica versus a percepção prática, medida pelos resultados percebidos. Outra contribuição é o questionamento do senso comum no que diz respeito às teóricas, modelos e métodos de implantação do CEP, principalmente no âmbito das indústrias brasileiras de autopeças.

Este trabalho pretende contribuir para o atual estado da arte, desenvolvendo o conhecimento a respeito do relacionamento existente entre os FCS para a implantação do CEP e os resultados, pois a literatura atual não especifica a relação existente entre os FCS pertencentes às dimensões (Estatística, Metodologia e Gerencial) bem como seu desdobramento nos resultados (*soft* e *hard*).

De maneira correlata, o atual estado da arte também não demonstra quais FCS são mais influentes para certos indicadores de resultados (*soft* e *hard*) conforme apresentado no modelo conceitual. Esta tese também contribui para identificar as especificidades destes relacionamentos entre os FCS da dimensão gerencial, estatística e metodológica bem como suas implicações nos resultados (*Soft* e *Hard*) ainda não estudados.

1.7 Justificativa

Além dos itens descritos justificarem a existência desta tese, destaca-se ainda a carência de estudos empíricos no Brasil que captem a percepção dos praticantes sobre o uso do CEP, que explorem diferentes contextos culturais e tecnológicos, conforme orienta o trabalho de Rohani; Yusof; Mohamad (2010).

As cartas de controle, técnicas aparentemente fáceis e dominadas pelos engenheiros e técnicos, foram difundidas no Brasil há mais de trinta anos pela indústria automobilística, sendo item obrigatório dos sistemas e manuais da qualidade dos fornecedores desta cadeia tais como a ISO/TS 16949. Este trabalho contribui para a superação das dificuldades relativas à implantação do CEP uma vez que sua implantação não tem sido uma tarefa fácil como seria de se supor, especialmente nas empresas brasileiras, em parte pelo desconhecimento das relações discutidas por esta tese.

Hoerl e Snee (2010) argumentam ainda que a sociedade necessita de mais pesquisas que demonstrem as aplicações de técnicas estatísticas consagradas, mostrando os benefícios e as principais falhas de suas aplicações. O CEP se enquadra neste contexto pelos motivos apresentados, sendo que o desenvolvimento desta tese contribuirá para o fortalecimento da base conceitual descrevendo o relacionamento existente entre os FCS e os resultados esperados e assim obter melhorias incrementais no processo de implantação do CEP.

Apesar de seu uso ser relativamente fácil, e de haver uma difusão dos conceitos e ferramentas básicas para a melhoria da qualidade, os autores Hradesky (1989), Galuch, (2002), Anthony e Taner (2003), Zvirtes; Chiavenato, (2006) Putri e Yusof, (2009), Rohani, Yusof e Mohamad, (2010), Dzulinski (2012) destacam alguns outros pontos que podem ser utilizados como justificativa para a existência desta tese. Dentre esses pontos, destaca-se o fato de que não há um uso amplo do CEP dentro da

organização, apesar dos trabalhos apresentarem uma ampla gama de FCS relacionados à implantação e manutenção do mesmo. Os autores relatam ainda a falta de um detalhamento sobre se os resultados obtidos no controle do processo quando foram perenizados, e se a carta CEP foi realmente adotada como um processo de trabalho.

Existem muitos estudos e métodos que apontam as etapas de como implantar ou descrevem exemplos de usos de Cartas CEP em processos específicos, porém não existe um método abrangente, devido a complexidade dos processos produtivos existentes. Como já salientado, há uma lacuna entre a expansão dos desenvolvimentos teóricos em CEP e as práticas, em especial nos métodos de qualidade utilizados pelas empresas.

1.8 Objeto de estudo

Conforme recomenda Forza (2002), no que diz respeito à condução de pesquisa científica, se faz necessário selecionar uma área de atuação econômica para que possíveis vieses gerados pela falta de experiência e exigências menores no uso desta técnica por parte dos respondentes, não interfiram significativamente no resultado da pesquisa.

As empresas automobilísticas fornecedoras de autopeças foram selecionadas como objeto de estudo devido as seguintes características: importância econômica, tradição na aplicação do CEP e exigências contratuais entre autopeças e montadoras, a utilização do CEP como mecanismo para julgar as características de qualidade dos itens fornecidos à cadeia automobilística (ISO/TS 16949; BEVILACQUA *et. al.*, 2011; CASTRO; BARROS; VAZ; 2014).

Além do mais, pesquisas recentes revelam que cerca de 70% dos fornecedores da cadeia automobilística apresentam dificuldades na condução das suas atividades relacionadas ao uso do CEP (ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

1.9 Estrutura do trabalho

O capítulo 2 apresenta uma revisão de literatura acerca dos assuntos relacionados a melhoria da qualidade, no capítulo 3 são apresentados conceitos relacionados ao uso das cartas de controle, o capítulo 4 discute os fatores críticos para a implantação do CEP, no capítulo 5 é apresentado o método de pesquisa utilizado nesta tese, no capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos, o capítulo 7 traz um

aprofundamento nas análises e apresenta as novas proposições e recomendações para o uso do CEP. Finalmente no capítulo 8 serão apresentados as conclusões desta tese. No Apêndice A pode ser observado o questionário utilizado nesta tese. Já no Apêndice B é apresentado a tabulação dados referente aos questionários respondidos, validos e utilizados para a análise dos dados. Finalizando, o Apêndice C apresenta os procedimentos estatísticos utilizados para a análise dos dados.

2 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS E MELHORIA CONTÍNUA: CONCEITOS, ABORDAGENS E CONTRADIÇÕES

Neste capítulo os elementos constituintes do controle estatístico são confrontados às abordagens de melhoria contínua no qual, o gerente domina e dissemina os conceitos do *pensamento estatístico*, e dá suporte as cinco atividades centrais a ele relacionadas: a seleção da carta; acompanhamento dos resultados; suporte a estrutura operacional; apoio as ações sistêmicas e suporte as atividades de melhoria.

2.1 O Controle Estatístico de Processo e a melhoria contínua

Segundo o que se depreende da literatura, o CEP é uma abordagem bem estabelecida e tem a finalidade de compreender, monitorar, controlar e melhorar o desempenho dos processos produtivos ao longo do tempo (BURR, 1976; FLORAC *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; JALOTE; SAXENA, 2002). Sua utilização é fundamental para a estabilização do processo, por meio da identificação das causas de variação; permite também avaliar a capacidade do processo uma vez que fornece por meio de gráficos a informação do momento que o processo está fora de controle (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; WHEELER, CHAMBERS, 1992; KOLARIK, 1995; ANGHEL, 2001; ASQ/AIAG, 2002; EICKELMANN e ANANT, 2003; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008).

Há uma demanda, nas últimas décadas, por ferramentas que permitam monitorar e controlar o processo produtivo, no caso, em especial, o CEP, devido à necessidade constante por menores níveis de defeitos e erros; busca-se com isso a redução de custos e atendimento às necessidades dos clientes. Uma vez que todos os processos estão sujeitos à variabilidade, é necessário intervir nas causas de variação de forma eficiente e com o objetivo de redução da variabilidade por meio de constantes melhorias (PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; VASSILAKIS; BESSERIS, 2010; DZULINSKI, 2012).

Esta tese apresenta a melhoria contínua e o CEP como dois elementos integrados, que muitas vezes são tratados separadamente pela literatura, como dois corpos de conhecimento distintos. Cabe esclarecer que as cartas de controle é uma das ferramentas do CEP que possibilita monitorar o desempenho do processo, e seu uso adequado facilita a tomada de decisão de intervir no processo melhorando a eficiência das ações das melhorias.

Bessant, Caffyn e Gallagher (2001) destacam a importância do comprometimento de todos os níveis hierárquicos da organização com a melhoria da qualidade e da produtividade. Cada parte da organização tem sua contribuição para a melhoria da qualidade global, sendo necessário um alinhamento dos objetivos estratégicos da organização e que estes objetivos sejam desdobrados em metas específicas para todos os departamentos e áreas da empresa (SNEE, 1990).

De maneira geral, a literatura divide a organização em três níveis hierárquicos de decisão, sendo cada qual responsável por uma parte específica das atividades de melhoria. O nível estratégico deve orientar os esforços de melhoria desenvolvendo metas de longo prazo. Na aplicação do CEP, do ponto de vista conceitual, o nível estratégico deve ser capaz de lidar com alguns conceitos. O pensamento estatístico deve ser entendido e disseminado por todos os níveis hierárquicos da organização, uma vez que desempenha papel fundamental na melhoria da qualidade desempenhando papel fundamental dentro do nível estratégico (GRIGG; WALLS, 2007; HOERL, SNEE, 2010).

Já o nível tático é responsável pelo desdobramento e alinhamento dessas metas com os objetivos estratégicos das organizações. O nível tático deve conhecer profundamente os conceitos do CEP e características do produto, sendo fundamental que os gestores conheçam e se atualizem dos novos métodos estatísticos (GRIGG; WALLS, 2007; HOERL, SNEE, 2010).

O nível operacional deve executar as atividades no curto prazo, onde os profissionais devem conhecer os gráficos de controle e outras ferramentas estatísticas básicas para a condução dos projetos de melhoria (GRIGG; WALLS, 2007; HOERL, SNEE, 2010).

Portanto, pode-se afirmar que as abordagens de melhoria ajudam no direcionamento dos esforços de cada parte da organização por serem modelos pré-estabelecidos de condução de atividades, sendo imprescindível haver conexões entre os níveis hierárquicos (HOERL, SNEE, 2010).

Todo o esforço estratégico para a melhoria da qualidade e produtividade atenta-se para a satisfação do cliente e melhoria da produtividade. Isto envolve um conjunto de características necessárias e solicitadas por ele. Muitas dessas características solicitadas estão diretamente relacionadas à capacidade do processo produtivo em atendê-las. De maneira correlata, a concorrência é outro fator que influencia nas organizações dentro deste contexto: as organizações buscam ser mais

eficientes em seus processos produtivos reduzindo ao mínimo os desperdícios (MONTGOMERY, 2010; VASSILAKIS; BESSERIS, 2010).

Separando o contexto macro (o estratégico) do micro, observa-se que, nos casos em que se busca por novos insumos que reduzam os custos de produção, a forma de se trabalhar os processos é alterada, e estas novas relações devem ser entendidas do ponto de vista do comportamento dos fatores produtivos, sem os quais não se obtém níveis de eficiência esperada (PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; TRINDADE, 2008; MONTGOMERY, 2010; TRENTIN, 2010; VASSILAKIS; BESSERIS, 2010; SORIANO e OPRIME 2014).

Demonstra-se com isso a interdependência entre as ações promovidas nos diferentes níveis da organização. Certamente, de igual modo, o CEP sofre os efeitos nos seus diferentes níveis de decisões. Se assim for, as ferramentas para controle estatístico de processo ganham ênfase, se as empresas adotarem a melhoria contínua como instrumento de vantagem competitiva (CHAMBERS; WHEELER, 1992; OAKLAND, 2008; PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; MONTGOMERY, 2010; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012).

2.2 O conceito da variabilidade

Historicamente, o conceito de variabilidade está difundido no contexto da manufatura. Entretanto, é necessário lembrar que no início do século XX este não era o pensamento vigente (MONTGOMERY, 2010). Neste período, os efeitos da variabilidade não assumiam um papel crucial na manufatura, diferentemente dos conceitos atualmente estabelecidos (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY, 2010; SORIANO e OPRIME 2014). Os acontecimentos que mudaram este paradigma vigente nos sistemas produtivos foram os desdobramentos das teorias propostas por Deming, como o conceito da existência da variabilidade e pensamento estatístico que resultaram nos desenvolvimentos atuais das abordagens, metodologias, técnicas e ferramentas para a melhoria da qualidade (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY, 2010; SORIANO e OPRIME 2014).

A partir de então entra em cena nas teorias sobre a melhoria da qualidade, na segunda metade do século XX, o Pensamento Estatístico, que integra os conceitos do CEP nos três níveis organizacionais. O pensamento estatístico é uma filosofia de aprendizagem baseada no princípio de que a melhoria da qualidade é fruto da redução da variabilidade dos processos produtivos (MAKRYMICHALOS, 2005). O

Pensamento Estatístico é um processo que reconhece a existência das variações, em todas as operações e é composto por três princípios básicos:

- i) todo trabalho ocorre em um processo interconectado;
- ii) as variações existem em todos os processos;
- iii) entender tais variações é a chave para o sucesso.

Segundo a teoria, identificar, caracterizar, controlar e principalmente reduzir tais variações, representa uma grande oportunidade para melhoria da qualidade nos problemas atuais, além de promover o entendimento para o uso de instrumentos científicos no contexto correto da melhoria contínua (JURAN, 1994; DEMING 1996; ASQ/AIAG, 2005; MAKRYMICHALOS, 2005).

Deming (1986) e outros gurus da qualidade têm argumentado que a qualidade é obtida pela redução da variabilidade, e não só isso, o objetivo é atingir o “*Target*”; em outras palavras, para uma especificação de projeto bilateral, é buscar que o processo concentre a variabilidade o mais próximo possível. Por outro lado, Woodall (2000), ASQ/AIAG (2005) e Montgomery (2010) consideram os aspectos econômicos e práticos da variabilidade. Na mesma linha, Makrymichalos (2005) afirma que a redução da variabilidade deve ser buscada até o ponto de ser economicamente viável, o que de fato tem um apelo prático coerente – não se desembolsa recursos onde não se é prioritário para os resultados.

A complexidade técnica contemporânea dos processos industriais, derivado da necessidade de atender aos requisitos dos clientes e redução dos custos de produção, ratifica a necessidade de lidar com os conceitos e dilemas da variabilidade e consequentemente em compreender e empregar os conceitos do pensamento estatístico de forma eficiente (TRENTIN, 2010; VASSILAKIS; BESSERIS, 2010; SORIANO e OPRIME 2014). Questões teóricas sobre o CEP têm sido confrontadas com a prática (veja Woodall, 2000). Entretanto, Deming (1996) afirma de forma enfática que a experiência não ensina nada se não for auxiliada pela teoria (o que fortalece o pensamento exposto nesta tese: a necessidade da junção entre teoria e prática).

O contexto da variabilidade resultou, no início da década de 1920, no desenvolvimento de técnicas para o controle de processos. Shewart alertou neste período sobre a importância da coleta eficiente dos dados, da forma correta de se avaliar comportamento do processo, além de mecanismos para validar as medições, tudo isto para dimensionar corretamente a variabilidade presente no processo produtivo. Desde então, a teoria sobre a aplicação das cartas de controle tem sido aprimorada, porém,

como aqui mencionado, contestada quando expostas às experiências práticas (HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; OAKLAND, 2008).

Atualmente dentro dos novos tipos de cartas de controle destaca-se o desenvolvimento de grupos específicos como as paramétricas, não paramétricas e multivariadas, dentre outras básicas, todas estas ferramentas buscam detectar variações no processo de maneira econômica, seja por meio da redução do número de amostras, tempo necessário para a realização das avaliações e detectar as tendências de variações no processo (COSTA. *et. al.* 2009; 2010; GRAHAM; HUMAN; CHAKRABORTI, 2010; MONTGOMERY, 2010; GONZALEZ, 2013; TALIB; MUNISAMY; AHMED, 2014; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

Sintetizando, identificou-se algumas contradições entre diferentes e constantes debates sobre o CEP. Os principais críticos do CEP tais como Bhote (1987), Shainan (1996) e Woodall (2000), contestam os pressupostos estatísticos do corpo de conhecimento bem como a lentidão da introdução de novos avanços na prática. Alguns dessas contradições de maior destaque podem ser listados e se referem aos seguintes aspectos:

- Alguns autores defendem que o CEP é um teste de hipótese aplicado ao longo do tempo para checar se os mesmos estão em estado de controle (GRAHAM; HUMAN; CHAKRABORTI, 2010; MONTGOMERY, 2010; GONZALEZ, 2013; TALIB; MUNISAMY; AHMED, 2014). Esse pressuposto teórico é uma simplificação extrema para Deming (1996) e Oakland (2008) que enfatizam as diferenças entre testes de hipóteses e gráficos de controle.
- As suposições para o tratamento matemático tornam-se proibitivas quando impostas à prática, tais como independência das amostras e normalidade da distribuição de probabilidade (WHEELER, 1995). O falso alarme na fase II (0,0027) é impreciso quando o tamanho da amostra não for suficiente e a distribuição não for normal (WHEELER, 1995).
- Em processos com alta capacidade não há interesse em detectar pequenos desvios na média por questões econômicas e práticas (WOODALL, 2000).

- Avanços acadêmicos no uso das cartas de controle não têm sido absorvidos pelos usuários da indústria. Segundo Shainan (1996), é no CEP que se encontra o maior *gap* entre o desenvolvimento teórico e a aplicação prática.

2.3 Variabilidade no processo produtivo

O controle estatístico de processo está sujeito a contradições. Shewart baseou seu método em alguns princípios fundamentais: a variabilidade nos processos é inevitável; somente uma análise do processo fornece base para uma tomada de decisão objetiva, sendo necessária uma quantidade mínima de dados para caracterizar o desempenho do processo produtivo (HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2010;).

Outros princípios e elementos básicos são considerados por outros autores. Por exemplo, é pressuposto que haja variação entre itens produzidos em um mesmo processo, e que alguns tipos de processos apresentam uma pequena variação entre as unidades produzidas em um curto espaço de tempo, sendo praticamente imperceptível sem a técnica de medição apropriada; porém, em um período de tempo considerável, é possível observar tendências de deslocamento das características que estão sendo medidas (CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2010).

As cartas de controle, como já mencionado anteriormente, são úteis para acompanhar a variação dos processos e classificar as causas de variação dentre essas duas categorias sendo que a variação no CEP está assentada na medição dos efeitos sobre o processo produtivo, que são causados por uma série de fatores e que podem ser classificados de duas formas básicas: causas comuns e assinaláveis. Em uma carta de controle, variações predominantemente de baixa amplitude são características da presença de causas comuns de variações. Já quando a amplitude é alta fornece indícios da presença das causas assinaláveis de variação (BURR, 1976; CHAMBERS; WHEELER, 1992; DEMING, 1996; JURAN e GODFREY, 1999; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008).

Entretanto, essa qualificação pode não passar no grifo de um observador mais atento. Por exemplo, segundo Woodall (2000), uma causa comum pode ser uma causa especial em diferentes momentos, dependendo da amplitude dos efeitos dessas.

Aparentemente confusa essa afirmação, mas é de fundamental importância compreendê-la para discernir a importância da interpretação teórica e prática dos gráficos de controle.

A teoria corrente afirma que as variações devido às causas comuns representam uma pequena variação no processo causada por vários fatores. Segundo alguns autores, os custos para o processo desse tipo de variação é o mais dispendioso, uma vez que por ser de difícil identificação, atuam no processo por muito tempo. Por esta razão sua identificação é difícil, já que depende muitas vezes de estabelecer relação entre diversas variáveis que isoladamente não são representativas; e, teoricamente, abordagens de melhoria como o Seis Sigma atuam principalmente neste tipo de variação. (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004; ASQ/AIAG, 2005; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

As variações representadas por causas assinaláveis são compostas por poucas variáveis que representam uma mudança brusca no comportamento do processo produtivo e quando o processo está sob a ação destas causas é relativamente fácil identificá-las. Com relação aos custos este tipo de causa de variação não é tão dispendioso quando comparado ao primeiro uma vez que, por ser fácil sua visualização, pode-se intervir rapidamente evitando que os danos se propaguem (JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004 ASQ/AIAG, 2005).

Entretanto, a aplicação clássica do CEP pode levar o praticante a observar a presença de causas identificáveis, mas por questões práticas e econômicas não são passíveis de ação. Esse fato, novamente, mostra claramente que a estrutura do corpo de conhecimento do CEP quando confrontado com a prática carece de adaptações à realidade.

2.4 Tipos de melhorias frente à estrutura conceitual do CEP

Segundo os principais autores da área, eliminar as causas de variação no processo possibilita a melhoria da qualidade do processo (DEMING, 1996; JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2010). A melhoria da qualidade pode acontecer de três formas distintas: controle de processo; melhoria reativa e melhoria proativa (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997).

As ações sobre as causas especiais são consideradas uma forma de melhoria, pois quando o processo está sendo acompanhado, é possível visualizar graficamente a atuação das causas comuns e assinaláveis de variação, e assim intervir para alcançar a estabilidade do processo por meio da eliminação das causas especiais, além de ser fortemente influenciada pelas ações do nível operacional. Essa concepção teórica é largamente disseminada, como pode ser visto na literatura clássica sobre CEP (JURAN & GRZYNA, 1982; SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997; ANGHEL, 2001).

Em termos de complexidade, a melhoria reativa é considerada uma forma de melhoria intermediária que busca além de eliminar as causas assinaláveis, reduzir a variação causada por causas comuns. Este tipo de melhoria envolve certos conhecimentos sobre redução de variabilidade, além do envolvimento maior das pessoas de nível tático e operacional para propor ações de melhorias.

O terceiro tipo de melhoria citada por Shiba, Graham e Walden (1997), aborda um tipo de progresso mais complexo e fortemente relacionado aos conceitos de inovação: a melhoria proativa busca reduzir a variabilidade a um nível extremo antes mesmo que se tornem problemas, para isto todas as causas assinaláveis de variação já devem ter sido eliminadas e as causas comuns de variação devem ter sido minimizadas pelo emprego de abordagens de melhoria. Esse tipo de melhoria tem como característica principal o desenvolvimento de grandes projetos que envolvem investimentos para ser concluída, geralmente esta relacionada a abordagens de melhoria como o Seis Sigma (SHIBA; GRAHAM e WALDEN, 1997; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

De maneira geral, a aplicação sistemática destes tipos de melhoria pela organização é indicativa da existência da Melhoria Contínua (MC), sendo essa operacionalizada por meio de programas, filosofias e metodologias. Dentre as abordagens mais utilizadas com foco na redução da variabilidade do processo produtivo destacam-se, por exemplo: a Gestão da Qualidade Total (TQM), Seis Sigma, Lean-Sigma, Kaizen, Manutenção Produtiva Total (TPM), dentre outras.

As mais conhecidas são a Gestão da Qualidade Total, em que a MC é a forma de obtenção de melhores níveis de desempenho de produtos e processos em relação à qualidade com foco no cliente; o programa Seis Sigma, que visa à diminuição de variabilidade e erro; o *Kaizen*, relacionado com a Produção Enxuta que visa à participação das pessoas com foco na diminuição de desperdícios; e o *Lean-Sigma*, que trabalha conjuntamente as técnicas, ferramentas e objetivos da filosofia da Produção Enxuta e do Seis Sigma em relação à melhoria de produtos e processos.

A literatura mostra que é possível utilizar mais de uma abordagem de melhoria, pois desta forma torna-se mais fácil atingir diferentes objetivos estratégicos pela organização, já que não existe uma abordagem que seja completa para a melhoria da qualidade, pois cada qual apresenta um foco específico (JURAN e GODFREY, 1999; JORGENSEN; BOER e GERTSEN, 2003). Essa é uma questão que merece uma reflexão mais profunda, especialmente em momentos onde recursos são escassos e os esforços precisam ser concentrados em poucas ações.

2.5 Cartas de controle como ferramenta de melhoria da qualidade

Métodos relacionados ao CEP prevalecem em indústrias como automobilística e eletrônica. São amplamente difundidas nestes segmentos industriais como parte fundamental de seus manuais de qualidade que impõe aos seus fornecedores a utilização das cartas CEP como garantia do desempenho do processo e conseqüentemente garantia das características de qualidade dos produtos (HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2009, 2010; DZULINSKI, 2012; HACK, 2012; KORZENOWSKI, 2012).

Esta implantação em cadeia, do fornecedor para montadora, se reflete em um fator crítico de sucesso relacionada à implantação desta técnica, uma vez que a literatura propõe uma abordagem integrada de gestão para implantação, manutenção e potencialização das cartas de controle (CHAMBERS; WHEELER, 1992; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2009, 2010; DZULINSKI, 2012).

Publicações recentes demonstram uma vantagem derivada da implantação do CEP que não está diretamente relacionado aos ganhos no processo. Os autores pontuam que o aprendizado organizacional dos conceitos do Pensamento Estatístico constitui um benefício derivado da implantação e ainda é considerado por outros autores como um FCS em programas de melhoria de uma forma geral. A expansão dos conceitos de Shewhart é fundamental para reconhecer de forma ampla os benefícios do pensamento estatístico dentro dos contextos operacional, estratégico e gerencial das empresas e está diretamente relacionado à melhoria da qualidade (BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; ASQ/AIAG, 2005; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL e SNEE, 2010; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; DZULINSKI, 2012).

No contexto da MC, ao longo das últimas décadas a literatura tem mostrado os benefícios derivados da implantação das cartas de controle. Em um curto período de tempo é possível melhorar a eficiência do processo. Além disso, a análise do processo permite a *posteriori* verificar formas melhores de trabalhos e contribuir para o desenvolvimento das melhorias, facilitando a visualização de problemas e domínio sobre os riscos do processo (HOERL 1997; ASQ/AIAG, 2005; GRIGG e WALLS, 2007; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; RUPA; EVANS, 2012).

A redução dos desperdícios é outro dos benefícios amplamente citado na literatura. Por ser uma ferramenta que busca monitorar o processo, pode-se intervir no mesmo minimizando as perdas causadas por itens desconformes, evitando também assim retrabalhos ou descartes de produtos finais ou matérias primas (CHAMBERS; WHEELER, 1992; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008; HOERL e SNEE, 2010; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; RUPA; EVANS, 2012).

Um dos grandes trunfos da empresa Motorola na década de 1980 foi o desenvolvimento do Seis Sigma baseado no princípio da redução da variabilidade. Ganhos de competitividade foram obtidos pela empresa por meio da redução dos itens não conformes e garantia da vida útil dos produtos. Neste período, os concorrentes da Motorola não apresentavam os mesmos níveis de desempenho na fabricação dos produtos o que levou a empresa a uma posição de destaque e assim manter sua competitividade nos anos seguintes (CHAMPAGNE e DUDZIC, 2002; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

A literatura indica que o ganho de competitividade derivado do desempenho do processo é atingido quando a técnica é aplicada corretamente, mas existem outros benefícios que estão diretamente relacionados a isto, dentre eles destacam-se: a medição do desempenho e a produtividade do processo, o monitoramento, cálculo de precisão, diagnóstico de falhas, reconhecimento de padrões, interpretação do desempenho por meio visuais, auxílio na identificação da causa raiz dos problemas, uma simplificação na análise de dados, estimativa de ponto de mudança e dos parâmetros do processo e análise de capacidade do processo (ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2010; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; FIRKA, 2011; RUPA; EVANS, 2012; GONZALEZ, 2013).

Ainda relacionado ao ganho de competências das empresas, a literatura apresentada indica que o CEP cria evidências para a auditoria do desempenho do processo, assim contribui também para aprimorando do cumprimento de questões legais

na indústria automobilística (ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; BEVILACQUA *et. al.*, 2011; DZULINSKI, 2012; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

Nesse mesmo setor, itens de segurança, tais como freios, cintos de segurança, *airbags*, dentre outros, demandam a necessidade de se manter o registro do processo produtivo por meio das cartas de controle para que em um eventual problema estes parâmetros de processo sejam comparados isentando ou não o fornecedor do componente de possíveis responsabilidades, caso o item venha a falhar (BEVILACQUA *et. al.*, 2011; DZULINSKI, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

Alguns componentes como o *airbags* são difíceis e inviáveis de serem inspecionados 100% quanto a sua funcionalidade, uma vez que o dispositivo é acionado. Neste sentido, o processo produtivo deve garantir que não ocorram falhas nestes itens durante a fabricação. Entretanto, outros itens podem e devem ser inspecionados, como é o caso do cinto de segurança e demais itens que não envolvam testes destrutivos, porém inspecionar não é uma atividade que agrega valor ao produto. Sendo assim, um controle eficiente do processo diminui ou até, em muitos casos, elimina a necessidade de inspecionar (DZULINSKI, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

O CEP pode auxiliar também no monitoramento do desempenho de matérias-primas gerando assim um maior domínio sobre o processo produtivo, conseqüentemente altera os *setups* de máquinas para que o produto final seja padronizado (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; BEVILACQUA *et. al.*, 2011; DZULINSKI, 2012).

Um dos benefícios estratégicos do CEP consiste na promoção e cooperação entre as diferentes unidades organizacionais e níveis, compartilhando e documentando o conhecimento da organização. (ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; RUPA; EVANS, 2012). Neste sentido, este apoio dos níveis estratégicos da organização deve articular as melhorias do processo.

Para tanto é fundamental que estes objetivos estratégicos sejam difundidos para os demais níveis da organização, isto favorece a comunicação e o aprendizado organizacional. Além de um benefício à articulação da comunicação também é um fator de sucesso para a sobrevivência das abordagens de melhoria contínua e sucesso organizacional (BURR, 1976; ASQ/AIAG, 2005; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

O principal e fundamental benefício derivado da implantação eficiente do CEP está nos seus reflexos diretos para a satisfação dos clientes. Uma vez que produtos mais confiáveis do ponto de vista de sua durabilidade, margem para redução do preço final, propiciados pela redução de custos, são questões que influenciam positivamente na percepção das características de qualidade dos produtos pelos clientes (DZULINSKI, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

2.6 A gestão da comunicação nas ações de melhoria

Um dos componentes principais do processo de melhoria corresponde ao respeito à comunicação. Certos autores enfatizam a necessidade de gerenciar o fluxo de informações entre os departamentos e níveis hierárquicos. Isto demanda dos gestores habilidades para compreender a importância estratégica da comunicação e do pensamento estatístico dentro das organizações para convergir informações obtidas com as cartas de controle (BURR, 1976; CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008).

Os gestores, segundo alguns autores (CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; ANGHEL, 2001; OAKLAND, 2008), devem enfatizar o fluxo total de dados e informações, pois as expectativas das tendências de competitividade demandam comunicação mais rápida e efetiva entre os envolvidos para se atingir o objetivo esperado. Neste sentido, as cartas de controle podem ajudar na tomada de decisões rápidas sobre mudanças no processo, sendo fundamental para isso que a equipe operacional tome ações no sentido de estabilizar o processo e que este conhecimento gerado por meio da identificação das causas não seja perdido e sim compartilhado para os demais níveis hierárquicos e departamentos da organização.

Uma questão prática é imposta: considerar que a melhor fonte para descobrir as causas da variabilidade são as pessoas que convivem diretamente com o processo que está sendo investigado. Neste sentido, orienta-se que as cartas de controle devem estar acessíveis aos operadores para que eles sejam responsáveis pela manutenção da estabilidade do processo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977, LAM, 2005; SHINGO e FARIA, 2010).

Disso surge a seguinte questão: um modelo estruturado de centralização do conhecimento dificulta a integração entre os departamentos e compromete o fluxo de informações e conhecimento nos demais níveis hierárquicos da organização, sendo isto um fator crítico de sucesso para o CEP?

Além da barreira de comunicação, outro ponto que necessita ser destacado diz respeito ao fluxo de informações, que muitas organizações, no intuito de implantar cartas de controle de modo afoito, se deparam. Justifica-se tal constatação: com um grande volume de cartas de controle disponíveis que acabam sendo utilizadas de maneira ineficiente, e, muitas vezes, falta conhecimento para lidar com esta situação, contribuindo negativamente para a implantação e manutenção do CEP (MANYIKA *et. al.*, 2011). Críticas a essa postura organizacional é encontrada também em Shainin (1996).

Segundo os defensores do CEP, o grande potencial do uso apropriado das cartas de controle está no modo como os dados são analisados e transformados em informações úteis para a estabilidade do processo (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; ANGHEL, 2001; LU; KUO e LEE, 2010). Ao confrontar as diversas correntes de pensamento sobre isso, há que se considerar o aspecto prático de estabilidade, conforme Woodall (1996) esboça: como resultado, parte desses dados gerados pode ser perdida ou subutilizada. Complementando Woodall (2000), isto significa que uma quantidade representativa das informações das cartas de controle, e seus potenciais conhecimentos sobre o processo derivado destas informações, passam despercebidos e são perdidos (BURR, 1976, SLACK; CHAMBERS e JOHNSTON, 2002; LU; KUO e LEE, 2010).

Uma saída a esta situação pode ser alcançada por meio de um sistema de gerenciamento de dados e na habilidade em lidar com a tecnologia da informação no desenvolvimento de canais de comunicação que facilitem o fluxo de informação ao longo do sistema produtivo, ou seja, desde as entradas de matéria-prima até o produto final acabado; problemas de comunicação entre os níveis hierárquicos e departamentos da organização devem ser mitigados (MANYIKA *et. al.*, 2011).

Embora estudos tenham estabelecido evidências do impacto positivo dos investimentos em tecnologia da informação, em relação ao desenvolvimento de ferramentas como o CEP eletrônico, há um ceticismo por parte das empresas em relação ao investimento nesta tecnologia, uma vez que isto não garante a continuidade do programa CEP (CHAMBERS; WHEELER, 1992; GROOVER, 2007; OAKLAND, 2008; SORIANO e OPRIME, 2014).

Uma explicação para esta questão pode estar na confiança de que a tecnologia seria responsável pelo sucesso quando na verdade aspectos humanos e gerenciais correspondem a um amplo conjunto de fatores que são críticos para a sua implantação e manutenção. Portanto, investimentos realizados em infraestrutura de

tecnologia da informação são pouco explorados no CEP como fonte de melhoria (HAIR *et. al.*, 2010; FIRKA, 2011; MANYIKA *et. al.*, 2011).

Além dos problemas citados, outra questão básica que necessita ser considerada, muitas vezes negligenciada, diz respeito às características da qualidade dos dados (CHAMPAGNE; DUDZIC, 2002; LU; KUO e LEE, 2010). Para melhor compreensão do problema relacionado à análise dos dados, foi construído o quadro 2.1. Esse quadro mostra as características das informações e as suas definições, sendo útil ao considerarmos os problemas decorrentes da falta de qualidade dos dados no controle estatístico de processo. Pesquisas práticas evidenciaram que muitas vezes algumas destas características não estão sendo atendidas integralmente, basta apenas uma destas características não ser plenamente satisfatória para que todo o esforço analítico seja em vão (SORIANO e OPRIME, 2014).

Quadro 2. 1 Características das Informações

Características das Informações	Definição
Exatidão	Representa ao grau com que o dado corresponde à realidade.
Precisão	Corresponde ao grau de variação de uma medição em relação a mudanças sutis na variável
Confiabilidade	Representa o grau com que a informação mantém sua qualidade ao longo do tempo.
Integridade	Significa que conjunto de dados não pode ser alterado; e caso seja deve ser claramente comunicada as mudanças.
Concisão	Corresponde à clareza da informação; os dados são de fácil entendimento quanto a seu desígnio.
Relevância	Os dados disponíveis são significativos para o processo de melhoria
Compressibilidade	Os dados podem ser resumidos representando um período específico
Significado	O dado em si traz sua definição
Disponibilidade	É a facilidade do acesso, da localização e conseqüente disseminação da informação quando necessária.
Formato	Os dados estão organizados de maneira que possam ser utilizados facilmente.
Comparabilidade	Refere-se à capacidade de ser possível, ao longo de uma série histórica, verificar as diferenças no comportamento da variável.

Fonte: LU; KUO e LEE, 2010.

Neste capítulo foi apresentado alguns resultados da pesquisa bibliográfica sobre os efeitos da variabilidade e como ela pode ser minimizada. Trata-se também dos antagonismos e divergências que rondam a relação entre o controle estatístico de processo e a melhoria da qualidade. No próximo capítulo será apresentado os conceitos clássicos e fundamentos dos gráficos de controle desenvolvido por Shewhart.

3. CARTAS DE CONTROLE DE PROCESSO: UMA ABORDAGEM TEÓRICA CLÁSSICA

Neste capítulo serão introduzidos os conceitos teóricos correntes sobre as cartas de controle. Para efeito de melhor compreensão, se separa os gráficos de controle estatístico, utilizado no monitoramento de processos, do CEP como um todo.

No capítulo anterior, introduziu-se o conceito geral do CEP, que em linhas gerais, é um conjunto de ferramentas estatísticas e habilidades gerenciais. Segundo Montgomery (2008), o CEP é constituído das seguintes ferramentas: gráfico de controle, diagrama de Pareto, diagrama de causa-e-efeito, diagrama de dispersão, análise de regressão e análise de variância. Essa visão do CEP é compartilhada por Kume (1991).

As cartas de controle consistem em uma técnica utilizada para verificar visualmente a variação do processo. Sua aplicação eficiente fornece uma forma básica para distinguir as causas comuns das especiais permitindo assim uma intervenção eficiente no processo produtivo, caso seja necessário (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977, BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; MONTGOMERY, 2004).

A função básica do uso das cartas de controle corresponde a controlar os fatores no momento em que eles estão operando, permitindo estabelecer relações de causalidade entre o desempenho do processo e fatores de produção, tais como: matéria prima; características de máquina, fatores humanos e regulação dos equipamentos (BURR, 1976; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; ANGHEL, 2001).

Shainin (1996) mostra e questiona o uso do CEP; e nos próprios sistemas de gestão da qualidade do setor automotivo, o ASQ/AIAG (2002, 2005), encontra-se ainda afirmações que contrariam o conceito tradicional apresentados nesta seção, ao postular que um processo é aceitável mesmo ele não estando sob controle, considerando aspectos práticos. Entretanto, especificamente sobre isso, Woodall (2000) propôs mudanças nos limites de controle da carta de CEP quando o processo apresenta altos índices de capacidade de processo, o que mostra, de certa forma, que há trabalho que promovem a evolução sobre a abordagem tradicional de Shewhart.

Ao longo deste capítulo amplia-se o debate sobre as controvérsias até aqui apresentadas sobre o uso das Cartas de controle. Observa-se que os conceitos estatísticos por trás das cartas de controle são apenas uma pequena parte do leque de

elementos que seus praticantes devem dominar para obter uma efetiva aplicação do CEP. As habilidades para a implantação do CEP são fatores importantes que devem ser tratados de forma especial.

Nesta tese essas habilidades são divididas em dimensões estatística, metodológica e gerencial conforme recomenda a literatura, para que se tenha uma efetiva implantação e manutenção das cartas de controle (HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER 2000; MONTGOMERY 2010; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; FIRKA, 2011).

3.1 Conceitos fundamentais e tradicionais dos gráficos de controle

A história do CEP começa em 1924 quando Walter Shewart, após pesquisas sobre métodos para a redução de custos de produção e melhoria da qualidade, na empresa *Bell Telephone Lab*, na qual introduziu os primeiros conceitos. Desde então, estas cartas vem sendo aplicadas em inúmeras empresas manufatureiras e de serviços nos mais diferentes tipos de atividades econômicas (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; JURAN e GODFREY, 1999; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; OAKLAND, 2008).

Durante a 2ª. Guerra Mundial, com a indústria norte-americana voltada para os esforços de guerra, o Departamento de Guerra Norte Americano publicou um guia para utilização de Cartas CEP para melhoria de processos (BESTERFIELD, 1986; HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2009, 2010).

Após o termino da guerra, Edwards Deming ajudou a difundir os conceitos do controle de qualidade, e conseqüentemente das cartas desenvolvidas por Shewart, especialmente no setor industrial japonês, sendo amplamente adotada pelas empresas daquele país. Nos anos 1950, novas técnicas de Cartas de Controle Estatístico surgiram, tais como as cartas CUSUM, na Inglaterra em 1954, por E.S. Page; Cartas EWMA, por S. Roberts, em 1959 (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986, LEAVENWORTH e GRANT, 2000; OAKLAND, 2008).

As empresas experimentaram uma crescente tendência de melhorar a eficácia do controle de qualidade em seus processos operacionais pela adoção formal de ferramentas estatísticas apoiadas principalmente no desenvolvimento de programas computacionais, que permitem dentre outras coisas, um acompanhamento *online* do processo, além de facilitar a construção das cartas de controle. Este acompanhamento

online tem apresentado bons resultados no que diz respeito à identificação das tendências do processo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; GROOVER, 2007; TRINDADE, 2008; SORIANO e OPRIME, 2014).

O avanço da tecnologia computacional ainda possibilitou aos pesquisadores desenvolverem novas cartas de controle, tanto as uni como os multivariados, também as não-paramétricas, por meio de métodos numéricos e de simulação, sendo assim possível comparar o desempenho e a eficiência de diferentes cartas de controle em diferentes contextos produtivos (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; GROOVER, 2007; OAKLAND, 2008; TRINDADE, 2008; COSTA. *et. al.* 2009; 2010; OPRIME; GONZALEZ, 2013; TALIB; MUNISAMY; AHMED, 2014; SORIANO; LIZARELLI; OPRIME, 2015).

Embora haja um grande desenvolvimento das novas cartas de controle, se observa que estes avanços não são acompanhados por parte da maioria dos profissionais do CEP. Neste sentido, a difusão e adoção das novas cartas de controle assumem um papel crítico para o sucesso dos projetos de melhoria pautados na redução da variabilidade, devido à relação entre a adoção apropriada da carta de controle para processo produtivo estudado (BURR, 1976, JURAN e GODFREY, 1999; ECKES, 2001; ASQ/AIAG, 2005; COSTA. *et. al.* 2009; 2010; MONTGOMERY, 2010).

A difusão destes conhecimentos gerados no meio acadêmico deveriam auxiliar os profissionais do CEP a representar corretamente as variações no processo produtivo, de modo a selecionar e aplicar a carta apropriada, bem como o tipo de amostragem mais adequado (MAKRYMICHALOS, 2005; MONTGOMERY, 2010).

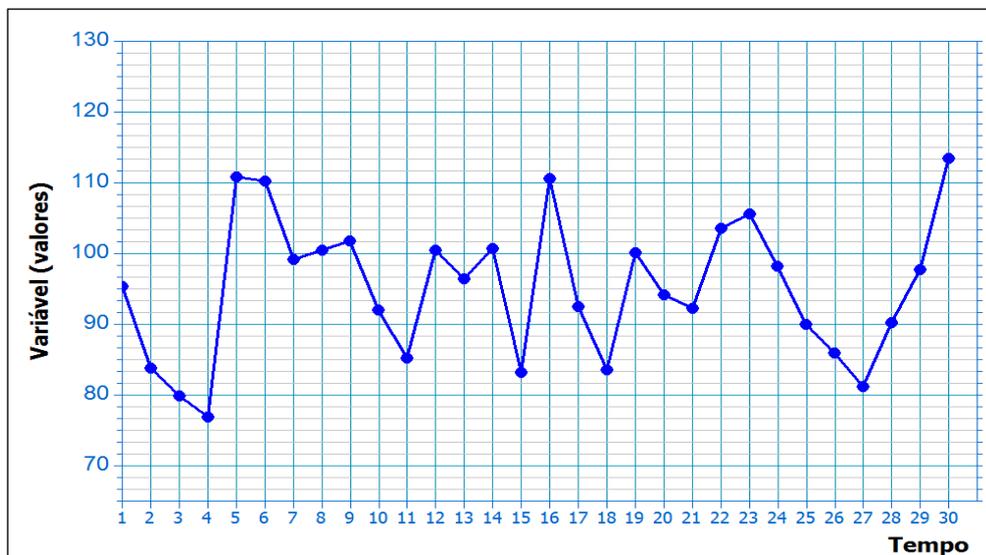
Apesar dos grandes avanços estatísticos, as cartas de controle apresentam uma concepção simples e bastante objetiva. O desenvolvimento básico, a qual as empresas estão habituadas a utilizar, é bastante simples e seus cálculos pouco complexos. É constituída basicamente por três linhas horizontais, das quais duas são destinadas aos limites de controle (inferior e superior) e uma linha central ou valor nominal do processo (HAYES e ROMIG, 1977; MAKRYMICHALOS, 2005; GROOVER, 2007; OAKLAND, 2008; COSTA. *et. al.* 2009; 2010; MONTGOMERY, 2010).

Como regra geral, estes limites de controle são definidos em $\pm 3 \sigma$ (desvio padrão), e apresentam bons resultados para o processo, pois geralmente valores fora destes limites podem ser causados pela presença de causas assinaláveis. Entretanto,

quando a variação está dentro destes limites, supõem-se que apenas as causas comuns estão atuando no processo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; WOODALL, 2000; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008).

De acordo com Juran e Godfrey (1998), Shewart recomendou inicialmente que para visualização dos dados do processo, que esses fossem plotados em gráficos em função do tempo, com os dados ordenados em sequência ordinal de tempo. Lembrando que as determinações dos limites de controle foram incorporados as cartas de controle posteriormente, conforme ilustrado na figura 3.1.

Figura 3. 1 Cartas CEP de Shewart em 1924

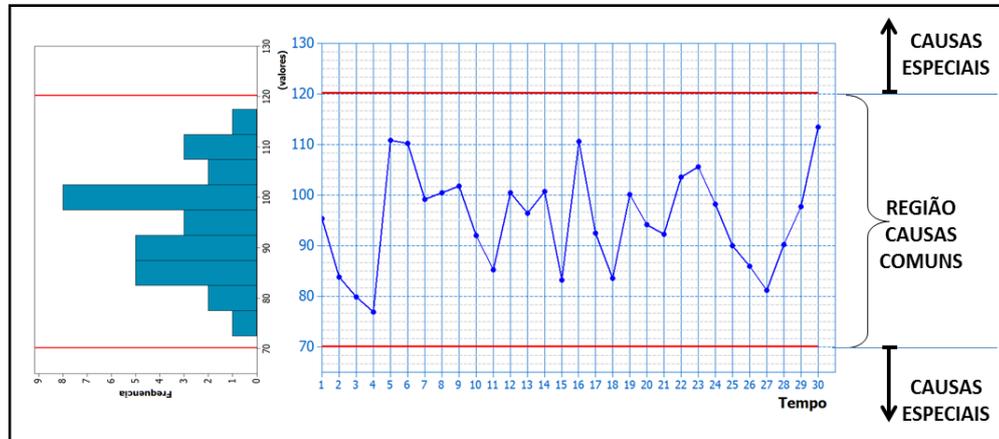


Fonte: BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; SANTANA-Jr, 2014.

Posteriormente, uma evolução desta estrutura de apresentação também proposta por Shewart, desenvolveu as chamadas cartas de controle estatístico de processo, onde um gráfico de série temporal com limites de controle que indicam as regiões com maior probabilidade de ocorrência de causas comuns de variação, que é três vezes o erro padrão segundo a distribuição normal (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986). Ou seja, as cartas de controle desenvolvidas inicialmente por Shewart consistiam de séries temporais mostrando a média e o desvio padrão do processo e os limites da região onde ocorrem as variações devido às causas comuns ou assinaláveis (BURR, 1976; JURAN; GODFREY, 1988). Uma ilustração desta nova concepção pode ser observada na Figura 3.2. Já quando os dados observados estão fora

desta região de limites é indicativo, ao menos teoricamente, da presença de causas especiais e, portanto, deve ser investigada (ASQ/AIAG, 2005).

Figura 3. 2 Gráfico de série temporal mostrando as regiões de probabilidade de causas comuns e especiais



Fonte: SANTANA-Jr, 2014.

Dois pontos importantes a ser salientados: primeiro, a descrição da carta de controle representa os primórdios do seu desenvolvimento; segundo, preocupações com questões sobre o formato da distribuição, a visualização de pontos que estão fora destes limites serem apenas alarmes falsos ao invés de variações especiais surgiram posteriormente e ainda estão sendo trabalhadas por pesquisadores (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005;).

Neste contexto, um novo conceito proposto nos anos 1930 pelo estatístico inglês Ronald Fisher surgiu para complementar as cartas de controle. Uma vez que os dados de maneira geral se concentram em uma determinada região, é possível estabelecer a probabilidade de um ponto subsequente ocorrer em uma dada região. Assim sendo, é possível utilizar as cartas de controle como um teste de hipótese (isso é questionável, segundo Woodall, 2000), e conseqüentemente estabelecer o risco de se tomar a decisão de intervir no processo produtivo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; WOODALL, 2000; LEVINSON, 2011).

Apesar de haver divergências nesse ponto, os testes de hipótese são uma das aplicações estatísticas importantes no ambiente industrial relacionado à MC, pois eles permitem confirmar a eficácia das medidas tomadas para a melhoria do processo. Ao testar a hipótese, toma-se uma amostra aleatória do sistema em estudo e se estima o parâmetro desejado. Um teste de hipótese da estatística corresponde a uma afirmativa a

respeito deste parâmetro do processo, considerando uma distribuição de probabilidade de ocorrência. Os componentes básicos de um teste de hipótese são:

I. A hipótese inicial, denominada H_0 , é chamada de hipótese nula ou, no caso do controle de processo industrial, “o processo não mudou” ou “o processo está sob controle estatístico”. A hipótese nula será aceita ou rejeitada, a partir de procedimentos estatísticos. O risco dessa decisão denominado risco tipo II, ou simplesmente erro β .

II. H_1 é denominada de hipótese alternativa ou risco α (alfa) ou mesmo risco de falso positivo, ou seja, a chance de se tomar a decisão errada de considerar que o processo não está sob controle estatístico e assim intervir no processo, sendo que o mesmo está sob controle.

III. O nível de significância consiste no risco da ocorrência de um alarme falso.

Via de regra, a hipótese nula é constituída com base no comportamento do desempenho do processo, enquanto a alternativa é formulada em função de alterações nos parâmetros do processo. Nesse caso, a alternativa formulada é bilateral, considerando os limites inferior e superior de uma distribuição, mas também podem ser estabelecidas alternativas unilaterais dependendo do processo.

Conforme o valor do parâmetro, ao testar uma hipótese, há dois tipos de erros que podem ser cometidos:

$$\alpha = P\{\text{rejeitar } H_0 / H_0 \text{ é verdadeira}\} = \text{erro do tipo I}$$

$$\beta = P\{\text{aceitar } H_0 / H_0 \text{ é falsa}\} = \text{erro do tipo II}$$

O procedimento usual é fixar o valor de α e verificar o valor de β . O risco β é uma função do tamanho da amostra e é controlado indiretamente. Sendo assim quanto maior o tamanho da amostra, menor será o risco β .

Como já mencionado e argumentado, há pontos contraditórios no uso do CEP com base nos métodos e conceitos até o momento estabelecidos como paradigmas, a saber, para o caso clássico do gráfico de Shewhart: 1) há duas fases na implantação dos gráficos de controle: fase I, de estimativa dos parâmetros, fase II, monitoramento; 2) na fase I, toma-se m amostras de tamanho n , estima-se um parâmetro de locação e um parâmetro de escala; 3) na fase II, extrai-se de tamanho n , caso o parâmetro estimado esteja dentro dos limites de controle, o processo é declarado em estado de controle, caso contrário ações devem ser tomadas; 4) um processo é então declarado sob controle

quando $\hat{\theta} \in [LIC, LSC]$, onde $\hat{\theta}$ é o parâmetro estimado e LIC, LSC são os limites de controle inferior e superior.

Uma contradição é que qualquer parâmetro que sofre um desvio $\delta > 0$ é um processo fora de controle. Porém, nem sempre isso é economicamente aceitável. Em determinadas circunstâncias, os clientes podem permitir que uma determinada característica do produto variasse em determinada faixa, pois a economia envolvida em agir sobre as causas especiais excede o benefício, mesmo que a causa especial é identificado. Na Figura 3.3 está esquematizada a matriz de Teste de Hipóteses mostrando os riscos α e β .

Figura 3. 3 Matriz de Teste de Hipóteses

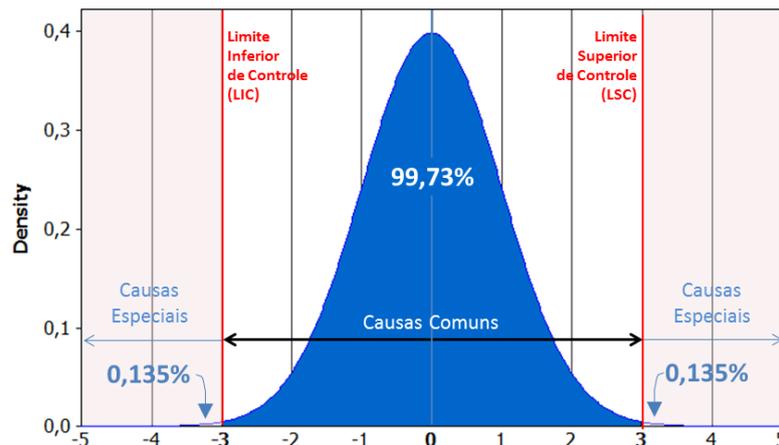
		Realidade	
		O processo está sob controle	O processo não está sob controle
Decisão tomada	O processo <u>está</u> sob controle	Decisão acertada ! (Nível de Confiança) 100 % – α	Decisão errada ! (Falso Negativo) Risco = β
	O processo <u>não está</u> sob controle	Decisão errada ! (nível de significância / Falso positivo) Risco de Falso alarme Risco = α	Decisão acertada ! (Poder) 100 % – β

Fonte: BESTERFIELD, 1986; SANTANA-Jr, 2014

No caso das cartas de controle estatístico de processo de Shewart para a média, o nível de significância, ou risco α , é de 0,27 %, ou seja, espera-se que 99,73 % das estimativas da média do processo estejam entre os limites de controle quando o processo está sob controle. Entretanto isso não é verdade na prática, o erro é maior que 0,27% devido aos erros de estimativas dos parâmetros estatísticos.

A teoria clássica diz que variabilidade de um processo que segue o comportamento de uma distribuição normal equivale a $\pm 3 \sigma$ do erro padrão da estimativa da média. Nesta situação, espera-se que ocorra um total de 2,7 alarmes falsos em 1000 observações, tanto para acima como abaixo dos limites de controle (DUNCAN, 1974; HAYES e ROMIG, 1977; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; WOODALL, 2000; LEVINSON, 2011), conforme ilustrado na Figura 3.4

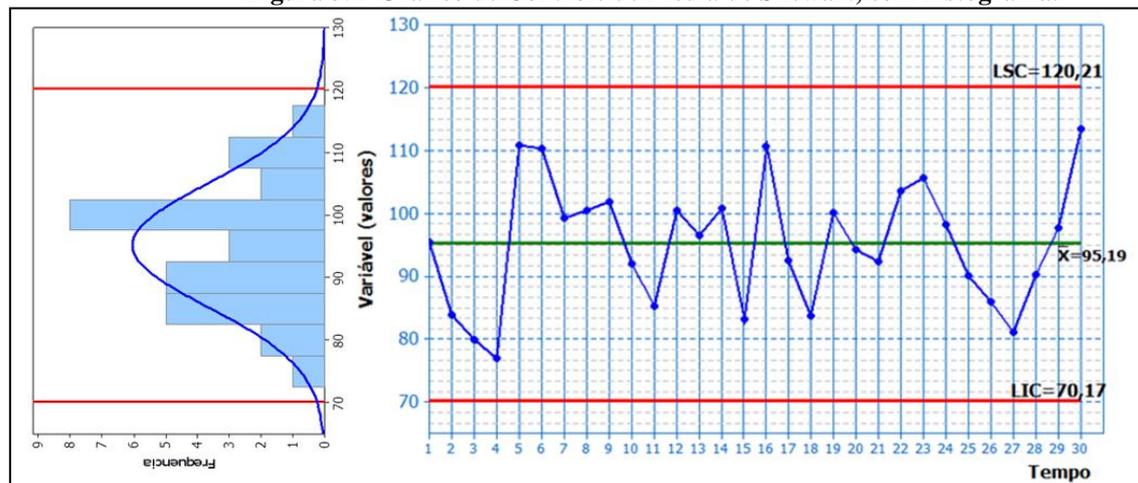
Figura 3. 4 Distribuição Normal padrão, mostrando número de desvios padrão do processo e a área de probabilidade para ± 3 sigma



Fonte: DUNCAN, 1974; BESTERFIELD, 1986, SANTANA-Jr, 2014

Na Figura 3.5 é mostrado o gráfico de controle de média, com os limites de controle superior e inferior. Nesta figura, ainda é possível observar no histograma a distribuição dos dados (DUNCAN, 1974, HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986). Essa figura é válida somente quando os limites de controle são conhecidos, quando esses são estimados, os erros são maiores. Essa análise é amplamente discutida e esmiuçada por Jensen *et al.* (2006).

Figura 3. 5 Gráfico de Controle de Média de Shewart, com histograma.



Fonte: SANTANA-Jr, 2014

3.2 Impacto da estimação dos parâmetros nos erros alfa e beta

Na seção anterior buscou-se demonstrar que as cartas de controle têm contribuído substancialmente para o controle e melhoria da qualidade e produtividade das empresas (HOERL; SNEE, 2010). Vários aspectos estão envolvidos no escopo da

aplicação e manutenção do programa CEP: há os gerenciais (pensamento estatístico, infraestrutura), técnicos (as estimativas estatísticas), metodológicos (organização das equipes, definição das características a serem analisadas). Esses aspectos encontram-se dispersos na literatura (BESSANT *et. al.*, 1999; MONTGOMERY, 2004; HOERL e SNEE, 2010).

Dentre todos os conceitos já apresentados nas seções anteriores desta tese, destacam-se os relacionados à variabilidade, especificamente ao pensamento estatístico. O pensamento estatístico se apropria do conceito de variabilidade (entropia) e do princípio da administração pela exceção, usados para estabelecer regras conceituais para o processo de decisão. Entende-se que a variabilidade é intrínseca aos processos e, portanto, nem toda variabilidade é um problema.

Deste modo, um ponto central no estudo da variabilidade é a determinação, em termos estatísticos, dos erros relativos aos processos decisórios, tais como o falso positivo (erro tipo I $-\alpha$) e falso negativo (erro tipo II $-\beta$). Esses erros, quando não estimados corretamente, diminuem a eficácia do próprio processo de decisão e podem trazer consequências negativas para a produtividade e qualidade dos processos produtivos. Portanto, a essência do pensamento estatístico é a consciência da variabilidade natural dos processos e dos erros de decisão.

É sobre esse fato que o debate mais recente sobre os gráficos de controle tem recaído. A implantação das cartas de controle passa por duas fases, conforme indica Montgomery (2004). É na chamada fase I que são estabelecidos os limites de controle, no caso das cartas clássicas de Shewhart \bar{x}/s e \bar{x}/R , por meio da estimativa dos parâmetros estatísticos da média (μ) e desvio padrão (σ).

O problema desses gráficos de controle é supor que os parâmetros estatísticos sejam conhecidos, o que na prática não é verdade. Isso afeta substancialmente a eficiência desses gráficos. Esse problema foi estudado por muitos autores da área (JENSEN *et. al.*, 2006; CASTAGLIOLA *et. al.*, 2009; CASTAGLIOLA; MARAVELAKIS, 2011; CASTAGLIOLA *et. al.*, 2013). Em todos esses estudos o objetivo foi melhorar o desempenho dos gráficos de controle, redimensionando os procedimentos de cálculo dos limites de controle utilizados correntemente. Portanto, o erro teórico 0,27% de probabilidade de um falso alarme não é de fato crível.

Quando os parâmetros de uma determinada característica da qualidade são desconhecidos, os gráficos de controle são, normalmente, construídos em duas

fases. Na Fase I (fase pré-prospectiva) são estimados os limites de controle estatístico. Na carta tradicional de Shewhart, em geral, são extraídas 25 amostras com o tamanho cinco (5) para estimativa dos parâmetros do processo e dos limites de controle estatístico.

Na Fase II, com o gráfico já definido, novas amostras são retiradas e diz-se que o processo está estável quando o resultado da característica observada é plotada entre os limites de controle, ou quando não é observada tendências dentro dos limites estatísticos. Caso contrário, diz-se que o mesmo está fora de controle devido à presença de causas especiais (JENSEN *et. al.*, 2006).

A questão central é estudar o desempenho dos gráficos de controle sabendo-se que os parâmetros estatísticos dos processos são estimados na fase I. Interessante notar que, apesar de haver artigos que tratam deste problema, publicados na segunda metade da década de noventa, é somente a partir de 2006 que um significativo número de trabalhos tem surgido tratando dos efeitos da estimativa de parâmetros estatísticos no desempenho do CEP (CASTAGLIOLA *et. al.* 2009; MARAVELAKIS; CASTAGLIOLA, 2009; CASTAGLIOLA; MARAVELAKIS, 2011; ZHANG; CASTAGLIOLA, 2011 CASTAGLIOLA; WU, 2012).

Os efeitos disso é que as estimativas dos parâmetros podem ocasionar piora no desempenho dos gráficos de controle, quando comparados com o desempenho de gráficos construídos com parâmetros realmente conhecidos. Jensen *et. al.* (2006) apresenta o problema de modo prático. Para os autores, o desempenho de gráficos de controle é extremamente afetado pela estimativa dos parâmetros estatísticos feitos na Fase I. Cabe frisar que essa questão já tinha sido estudada anteriormente por Graham e Human, Chakraborti, (2010) mas o trabalho de Jensen *et al.* (2006) é significativo para o desenvolvimento de pesquisas na área, pois os autores detalham no artigo as pesquisas já realizadas sobre o assunto e faz também indicações de futuras pesquisas.

O desempenho de um gráfico de controle é avaliado pela sua capacidade de detectar causas especiais, com o menor erro β , e com o menor erro tipo I quando esse estiver sob controle. Esse desempenho na fase II é obtido pelo ARL (*Average Run Length*), que é o número médio de amostras necessárias para a detecção de um ponto fora de controle quando o processo está realmente fora de controle. Para um processo estável, o ARL é dado por $ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$, e para um processo instável (fora de controle), o ARL é dado por $= \frac{1}{1-\beta}$ (MONTGOMERY, 2004).

Para Jensen *et al.* (2006), quando os limites de controle são conhecidos, o ARL é uma variável aleatória geométrica com parâmetro $= p$, representando a probabilidade de um único ponto fora dos limites de controle. Adicionalmente, se o processo está sob controle a probabilidade de um sinal é relacionado com a frequência de alarmes falsos. Entretanto, quando os parâmetros usados para determinação dos limites de controle são estimados, a distribuição de ARL não é geométrica e, portanto, a probabilidade de um sinal não tem o mesmo poder de interpretação pois depende do erro de estimativa, que por sua vez depende do número e tamanho da amostra (m,n). Deste modo, a estimação dos parâmetros nos gráficos de controle tem grande influência em seu desempenho.

Castagliola *et. al.* (2013) realizaram uma análise numérica e determinaram as constantes $\hat{K}_{\bar{x}}$ quando os parâmetros são desconhecidos, que são diferentes das constantes $K_{\bar{x}}$ quando os parâmetros estatísticos são conhecidos (classicamente disseminadas nos livros didáticos), isso para $ARL_0 = 370,4$, o que equivale a $\alpha = 0,0027$. Por exemplo, para $m = 25$ e $n = 5$, $\hat{K}_{\bar{x}}=1,329$ e $K_{\bar{x}} = 1,342$; quando $m \sim \infty$, $\hat{K}_{\bar{x}} = K_{\bar{x}}$. Esse resultado permite utilizar valores exatos de $K_{\bar{x}}$ para combinações de m e n.

Portanto, os conceitos tradicionais dos gráficos de Shewhart no que diz respeito aos erros tipo I e tipo II e as constantes utilizadas para estabelecer os limites de controle estão em processo de mudanças.

3.3 Subgrupos racionais e objetivos dos gráficos de controle

Um dos conceitos centrais do controle estatístico de processo é o conceito de subgrupos racionais, que diz respeito à quantidade e intervalo de tempo para avaliar as tendências e mudanças de parâmetros estatísticos.

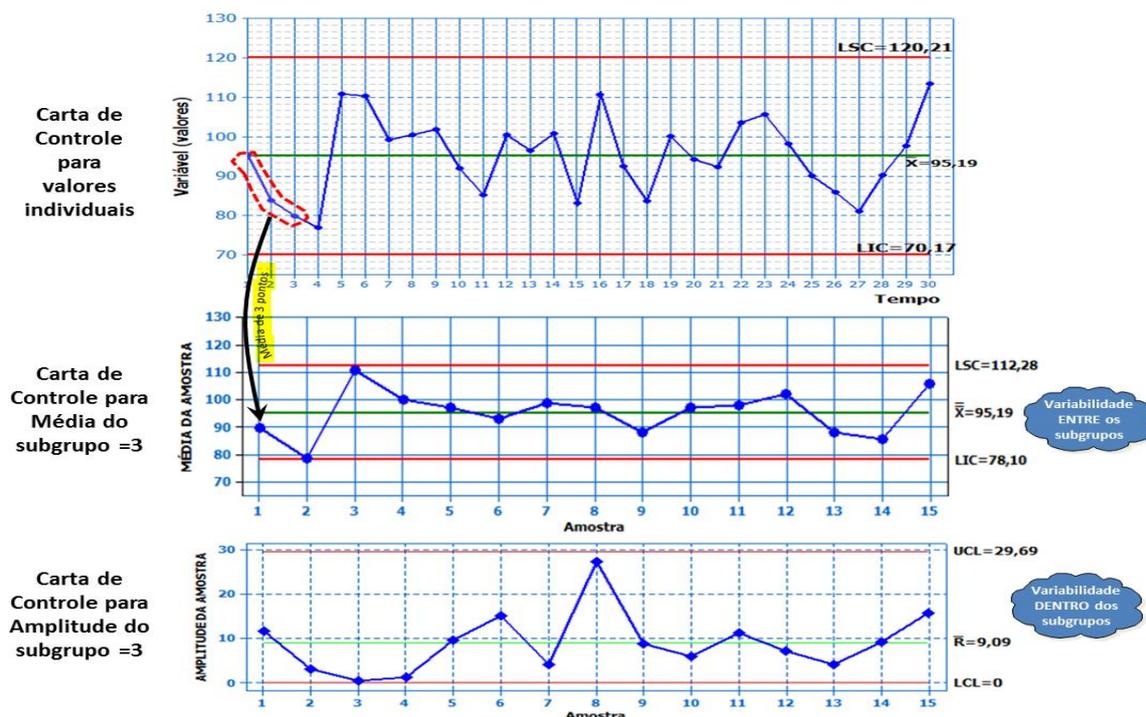
Este conceito foi utilizado pela primeira vez por Shewart para a amostragem dos valores do processo para as cartas de controle de médias. Ele deduziu que as amostras utilizadas para controle do processo deveriam ser coletadas de modo que a probabilidade de mudança de média durante a amostragem seja baixa e entre amostras seja alta (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2009, 2010).

Desta forma, a amplitude dos resultados dentro de um grupo amostral

deve ser baixa e a diferença entre os grupos de observação devem ser maximizadas objetivando assim verificar as tendências de deslocamento do processo. De maneira geral os praticantes do CEP dentro das organizações adotam a seguinte prática para a caracterização do processo sendo considerado melhor coletar pequenas amostras periodicamente do que uma grande amostra de uma única vez (BURR, 1976; JURAN; GOFREY, 1988; BESTERFIELD, 1986; CHAMBERS; WHEELER, 1992; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2009, 2010).

Além das cartas de valores individuais e de médias e amplitude as (Cartas X-R), para atributos como porcentagem de não conformidades (cartas np e p), número de não conformidades por item ou por um milhão de itens (cartas c e u), são outros tipos de cartas de controle que foram desenvolvidas levando em consideração os conceitos básicos dos subgrupos racionais conforme exemplificado na Figura 3.6 (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000).

Figura 3. 6 Gráfico de Controle de Média de Shewart para valores individuais e de média e amplitude para subgrupo=3



Fonte: SANTANA-Jr, 2014

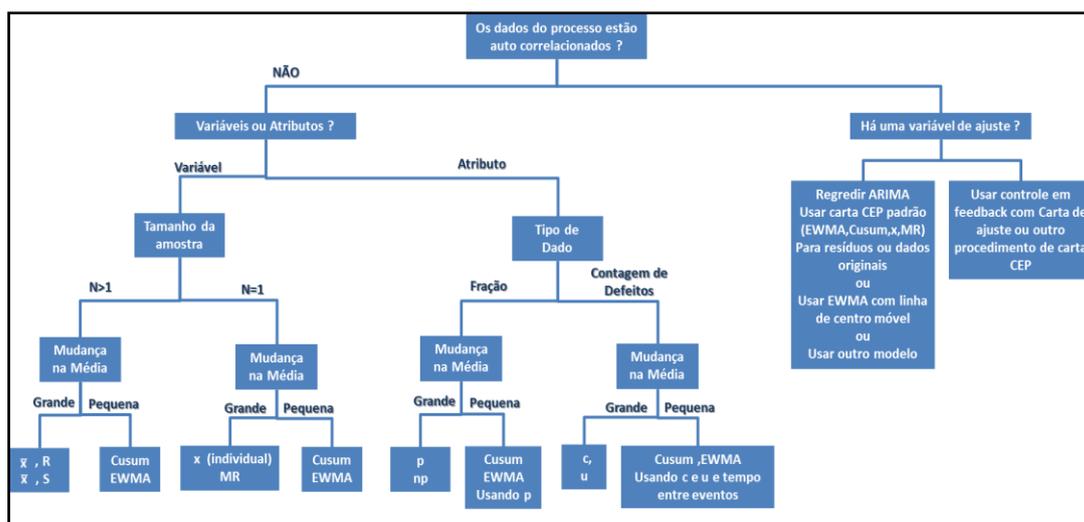
Inovações foram agregadas ao conhecimento para atender as características específicas de certos processos produtivos. Foram adicionadas, dentre outras, ao leque de possibilidades de gráficos de controle. Dentre elas as cartas para detectar pequenas mudanças da média, Cartas de Controle de Somas Acumulativas

(CUSUM ou *Cumulative Sum*), e cartas de Média Móvel Ponderada Exponencialmente (carta EWMA) e para dados auto correlacionados no tempo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; WOODALL, 2000; OAKLAND, 2008).

O desafio para o praticante do CEP é decidir quais cartas são aplicáveis ao processo que ele está estudando e como devem ser estabelecidos estes limites de controle. Para essa questão, a literatura disponibiliza alguns guias que foram publicados para orientar a adoção da correta carta de controle para cada tipo de processo e objetivos, que podem ser: o de monitoramento de processo, resolução de problemas ou avaliar a estabilidade do processo (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; WOODALL, 2000).

O guia publicado pela associação norte-americana de qualidade e a associação automobilista norte-americana (ASQ/AIAG, 2005) ou conforme proposto por Montgomery (2009) são mostrados na Figura 3.7.

Figura 3.7 Guia para Controle e Monitoramento de processo univariado



Fonte: Montgomery, 2009

Além dos diferentes tipos de cartas de controle é interessante distinguir os diferentes modos nos quais elas são usadas. Com esta finalidade Shiba, Graham e Walden (1997) propõe três categorias conforme se segue:

- Monitoramento de processos: as medições do processo são feitas em intervalos regulares e os dados são colocados no gráfico o mais rápido possível para detectar mudanças nos processos devido às causas especiais. O desvio padrão usado para o cálculo dos limites de controle pode vir de dados históricos do processo e

não necessariamente dos dados que estão sendo monitorados.

- Resolução de problemas: os dados disponíveis são colocados no gráfico de controle para auxiliar na identificação das causas do problema. É a chamada análise “*post mortem*”. Os limites de controle são calculados a partir dos dados do histórico.
- Avaliação da estabilidade do processo: os dados históricos são colocados em uma carta de controle para determinar se houve ocorrência de causas especiais que caracterizaram o processo como instável.

Um programa de melhoria contínua deve realizar os três tipos de melhoria expostas por Shiba, e buscar a ambidestrezza, e no âmbito das cartas de controle trabalhar com estas três modos de utilização de carta de controle (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977).

3.4 Etapas para a implantação do CEP

A literatura sobre o processo de implantação do CEP conta com diversos trabalhos que ressaltam as necessidades específicas de cada processo produtivo (LIM, ANTONY, 2014). As fases de implantação apresentadas abaixo seguem uma descrição genérica com um intuito de enfatizar quais são os fatores críticos para a implantação do CEP baseados nos trabalhos de Antony e Taner (2003).

- Fase 1: Comprometimento

Alcançar o comprometimento amplo da organização. O objetivo desta fase é promover o reconhecimento por todas as pessoas da organização sobre a importância do CEP como ferramenta para a redução da variabilidade e melhoria dos processos organizacionais (ASQ/AIAG, 2005; SHARMA; KHARUB, 2014).

Esta fase é importante uma vez que o processo de implantação bem sucedido depende do comprometimento das pessoas com o programa o que muitas vezes significa lidar com fatores como a resistência a mudança e as novidades de certos integrantes do grupo. Recomenda-se como uma forma de minimizar os efeitos da resistência das pessoas por meio da sensibilização e treinamento conceitual para todos os líderes.

Além de aspectos técnicos, deve contemplar os passos que deverá ser percorrido até o uso efetivo pelos operadores: os resultados esperados com o programa, a importância de se avaliar a capacidade do processo, a aplicação de medições

confiáveis, a utilização de governança e padrões de trabalho, e principalmente os gestores conhecerem o pensamento estatístico em sua plenitude (NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; GONZALEZ, 2013; MADANHIRE; MBOHWA, 2014).

Em relação à resistência a mudança, a literatura estudada identifica quatro diferentes fatores como sendo: técnica, política, individual, organizacional (BEER; EISENSTAT; SPECTOR, 1989, BEER; NOHRIA, 2000, HEIFETZ; LINSKY, 2000).

A resistência técnica diz respeito à dificuldade enfrentada pelas pessoas em compreender os conceitos estatísticos envolvidos. Entretanto, isto pode ser combatido por meio de um treinamento contínuo (BEER; EISENSTAT; SPECTOR, 1989, BEER; NOHRIA, 2000, HEIFETZ; LINSKY, 2000).

A resistência política diz respeito a dificuldade a implantação do CEP por não estarem convencidos dos reais benefícios. Como estratégia para combater esta forma de resistência deve ser apresentado para as pessoas os reais benefícios derivados da implantação do CEP (BEER; EISENSTAT; SPECTOR, 1989, BEER; NOHRIA, 2000, HEIFETZ; LINSKY, 2000).

Resistência individual diz respeito à insatisfação pessoal resultando em problemas para a companhia. Como estratégia para combater este tipo de resistência, além dos métodos já citados, é importante conscientizar e treinar esta pessoa na implantação do CEP (BEER; EISENSTAT; SPECTOR, 1989, BEER; NOHRIA, 2000, HEIFETZ; LINSKY, 2000).

A resistência organizacional ocorre quando uma organização inteira está empenhada em certas crenças subjacentes, que são geralmente instituídas pelo gestor. Isso pode ser combatido pela conscientização dos benefícios das iniciativas de implantação do CEP (BEER; EISENSTAT; SPECTOR, 1989, BEER; NOHRIA, 2000, HEIFETZ; LINSKY, 2000).

- Fase 2: Treinamento e educação para os *follow-ups*.

As iniciativas de implantação do CEP devem começar na alta administração e, em seguida, deve ser disseminada para os demais níveis hierárquicos da organização na forma de treinamentos (GRIGG e WALLS, 2007).

Os treinamentos devem incluir conceitos básicos em ferramentas estatísticas básicas além das cartas de controle como estimar uma média e o desvio padrão e conceitos como principio da variabilidade e pensamento estatístico.

Posteriormente pode-se avançar a elaboração das cartas de controle, tipos de gráficos de controle, teste de hipóteses, interpretação de gráficos de controle e apreciação das razões para CEP. A formação não deve ser apenas de curto prazo, mas deve envolver a educação em um longo prazo, com treinamento e acompanhamentos da aplicação dos conhecimentos adquiridos (BURR, 1976; DUNCAN, 1974; HAYES e ROMIG, 1977, SHARMA; KHARUB, 2014).

- Fase 3: Formação do time de implantação do CEP

A literatura recomenda que o time de implantação seja composto por uma equipe multifuncional composta por um representante da alta administração e com dois e no máximo cinco operadores, e também por engenheiros de processo, engenheiros de manutenção, engenheiros da qualidade além de facilitadores. Este comitê deve promover a conscientização das pessoas da organização, recursos necessários, suporte contínuo e apoio à equipe de ação de processo produtivo (HAYES e ROMIG, 1977; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014).

- Fase 4: Priorização dos processos.

De maneira geral, os produtos são produzidos a partir de uma série de processos interligados e interativos conforme definido pelo pensamento estatístico. O uso do conceito de dominância, que se refere à existência de processos produtivos que são críticos para qualidade final do produto, uma vez que sua influência no processo é maior, pode ser aplicado. Neste sentido, a literatura recomenda que as cartas de controle sejam aplicadas prioritariamente nos processos que apresentam as características mais relevantes para a qualidade final do produto. A criticidade do processo produtivo refere-se às características críticas do produto e a estabilidade do processo (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; DUNCAN, 1974; EVANS, 2012; GONZALEZ, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014; LIM; ANTONY, 2014).

- Fase 5: Trabalho piloto e análise de custo benefício

A literatura recomenda o uso de um piloto como uma boa prática para adquirir uma apreciação do poder do CEP. A implantação do CEP sem o devido planejamento pode ocasionar falha em algum elemento essencial para a implantação tais como disponibilidade de recursos financeiros para o treinamento e infraestrutura. Como é indicado na literatura, é importante que o processo de implantação ocorra de forma contínua dentro da empresa. *Feedbacks* podem auxiliar no processo de difusão do CEP. É importante também realizar um estudo de custo-benefício para determinar os valores economizados com os projetos de melhoria. Esta fase, dependendo da complexidade do

processo, pode levar de 3 meses a 1 ano para ser concluído (ASQ/AIAG, 2005; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- Fase 06: Avaliação do sistema de medição (MSA)

Os equipamentos de medição do processo (sensores, instrumentos metrológicos) estão sujeitos à variação, assim como todos os demais processos produtivos (máquinas, equipamentos). Identificar, isolar e remover as causas de variação no sistema de medição leva a melhoria os valores reais medidos no processo produtivo. O propósito de um MSA é determinar a variabilidade explicada pelo sistema de medição. A variabilidade do sistema de medição consiste basicamente de repetibilidade (isto é, a variação no próprio dispositivo de medição) e a reprodutibilidade (isto é a variação na utilização dos dispositivos de medição). A análise do sistema de medição leva em consideração os três elementos principais: o componente que se deseja medir, o instrumento de medição e a destreza do medidor (ASQ/AIAG, 2002; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014; LIM; ANTONY, 2014).

- Fase 7: Seleção e construção do gráfico de controle

A principal utilização de um gráfico de controle é detectar as variações no processo produtivo. Para isso a seleção apropriada das cartas de controle assume um papel fundamental para uma implantação bem sucedida (DUNCAN, 1974, BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977). Neste sentido, a equipe de implantação deve estabelecer um ambiente adequado e ágil para a ação, bem como definir o processo no qual será implantado o CEP e estabelecer sua relação com outros processos, tanto a montante como a jusante. Posteriormente determinar a característica crítica para a qualidade a ser monitorada, e em seguida, determinar a sistemática para a coleta de dados apropriada, para finalmente selecionar um gráfico de controle adequado para o controle do processo (COLIN; VANHOUCKE, 2014; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- Fase 8: Interpretação das cartas de controle

Existem várias regras que devem ser observadas quando se interpreta as cartas de controle para determinar se um processo está ou não sob controle estatístico. A interpretação das cartas de controle é uma etapa fundamental do processo de implantação do CEP. Por ser basicamente uma ferramenta voltada para o controle de processo no nível operacional, ela deve ser pautada na simplicidade para a detecção de falhas no processo, uma vez que sua utilização não é atividade fim e nenhuma organização deve facilitar o processo de monitoramento (COLIN; VANHOUCKE,

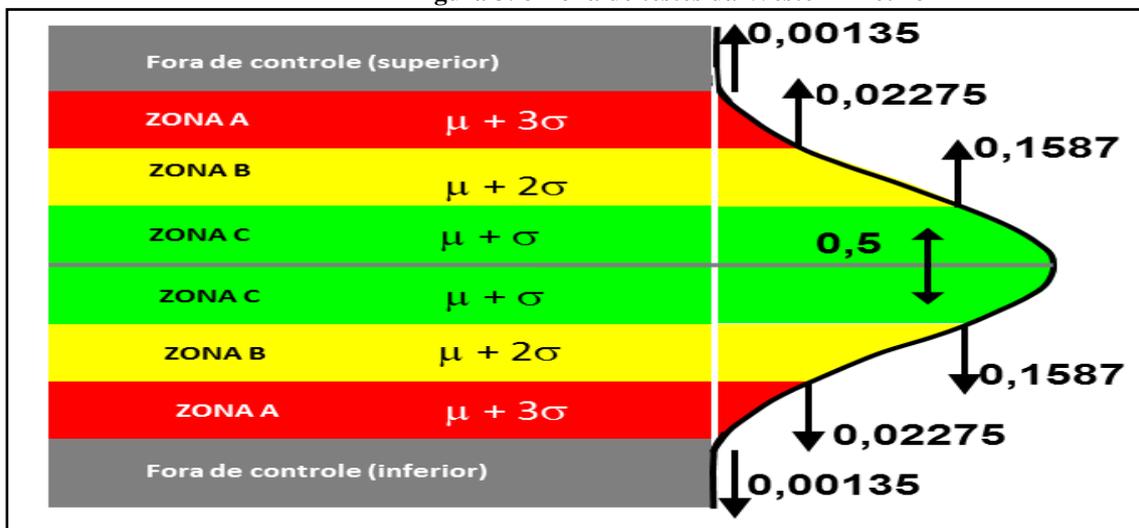
2014; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

Portanto, além da simplicidade em se verificar o desempenho do processo, deve-se adotar critérios par lidar com os riscos. Além do critério de pontos do processo fora dos limites de controle de ± 3 erros padrões, outros critérios foram sugeridos para detecção de pontos fora de controle (HAYES e ROMIG, 1977; CHAMBERS; WHEELER, 1992; OAKLAND, 2008). De acordo com Montgomery (2009), em 1956 a empresa norte-americana Western Eletric apresentou algumas regras para avaliar o desempenho do processo, que ficaram conhecidas como Regras “Western Eletric” e que ainda são usuais (WESTERN ELECTRIC, 1958). Estas regras consideram as cartas de controle por regiões com maior ou menor chance de apresentar causas assinaláveis de variação. Desta forma, estas áreas sinalizam o estado do processo como semáforo de trânsito.

A luz verde do semáforo é indicativa de que o processo está variando somente devido à presença de causas aleatórias. A luz amarela é acionada quando é possível haver um problema, e a luz vermelha quando praticamente não há dúvida de que o processo desviou devido à presença de uma causa especial.

Por essas regras, a carta de controle foi dividida em 3 zonas de cada lado da linha de centro conforme figura 3.8. A zona C (Luz Verde) consiste da região acima ou abaixo da linha de média, a Zona B (Luz Amarela) consiste com 1 ou mais desvios padrão da linha de centro e a Zona A (Luz Vermelha), na região com dois ou mais desvios padrão da linha de centro. Apesar de aumentar o risco α , o objetivo de delimitar as zonas e estabelecer regras é para facilitar a detecção de situações de falta de controle mais rapidamente do que o critério de pontos fora do limite de controle.

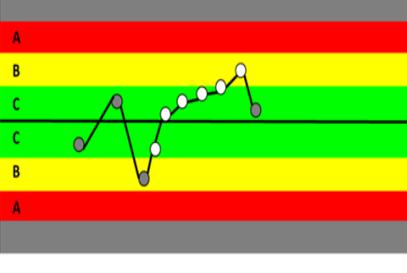
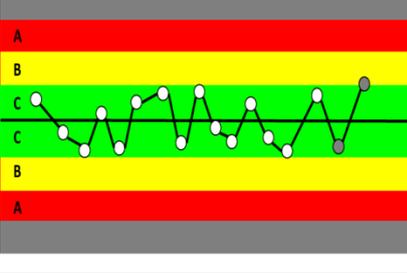
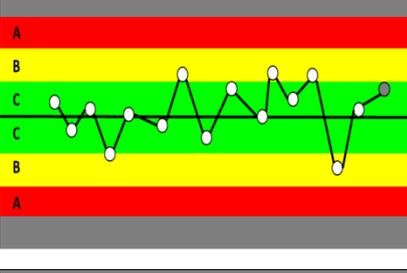
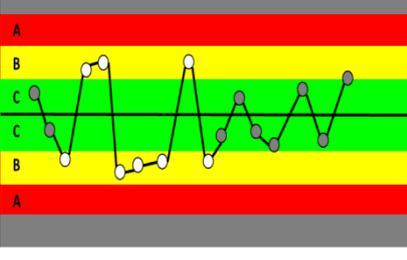
Figura 3. 8 Zona de testes da Western Eletric



Fonte: BURR, 1976; LEVINSON, 2011; SANTANA-Jr, 2014.

De acordo com a ASQ/AIAG (2005), exceto para o critério inicial de pontos fora da região de ± 3 erros padrões, não há uma ordem de prioridade de uso dessas regras. Estas regras estão sumarizadas no quadro 3.1.

Quadro 3.1 Seis Novas Regras das Zonas de Controle da Western Eletric de 1984

Critério para Identificação de Causa Especial	Exemplo Gráfico
Seis pontos sequenciais, ascendentes ou descendentes.	 <p>Um gráfico de controle com uma linha central e duas linhas de controle. O fundo é dividido em zonas horizontais: A (vermelha), B (amarela), C (verde) e C (verde), B (amarela), A (vermelha). Seis pontos sequenciais ascendentes estão plotados, todos dentro da zona C.</p>
Quinze pontos sequenciais na ZONA C em ambos os lados da linha central (± 1 subindo ou descendo).	 <p>Um gráfico de controle com uma linha central e duas linhas de controle. O fundo é dividido em zonas horizontais: A (vermelha), B (amarela), C (verde) e C (verde), B (amarela), A (vermelha). Quinze pontos sequenciais alternando subida e descida estão plotados, todos dentro da zona C.</p>
Catorze pontos sequenciais alternando subida e descida	 <p>Um gráfico de controle com uma linha central e duas linhas de controle. O fundo é dividido em zonas horizontais: A (vermelha), B (amarela), C (verde) e C (verde), B (amarela), A (vermelha). Catorze pontos sequenciais alternando subida e descida estão plotados, todos dentro da zona C.</p>
Oito pontos sequenciais em ambos os lados da linha central, mas nenhum na ZONA C (região de ± 1).	 <p>Um gráfico de controle com uma linha central e duas linhas de controle. O fundo é dividido em zonas horizontais: A (vermelha), B (amarela), C (verde) e C (verde), B (amarela), A (vermelha). Oito pontos sequenciais em ambos os lados da linha central, mas nenhum na zona C, estão plotados.</p>

Fonte: Adaptado de ASQ/AIAG, 2005; Montgomery, 2009 e SANTANA-Jr, 2014.

Outra observação é quanto ao uso de vários critérios ao mesmo tempo, pois apesar de aumentar a sensibilidade em detectar causas especiais também aumenta o risco de falso positivo. A adoção desses critérios e sua colocação em prática pelo nível operacional devem ser feitos somente após terem o treinamento nos conceitos e na ferramenta utilizada.

Depois de considerado os aspectos iniciais referentes a eficiência da carta de controle, como determinar os erros do tipo I e II e a utilização básica das técnicas de visualização das causas assinaláveis de variação, pode-se voltar à atenção para pontos relacionados à avaliação do processo produtivo a qual a carta de controle está sendo aplicada.

Um desses pontos diz respeito à capacidade do processo produtivo. Em uma referência à estabilidade do processo, isto pode ser analisado a partir de informações contidas nas cartas de controle. Para ser considerado capaz, o processo deve manter seus resultados próximos a linha central oscilando pouco em torno do valor alvo.

De maneira conceitual, para um processo ser considerado capaz, a variação do processo deve ser a menor possível e oscilar em torno de um valor alvo. De maneira análoga, quando o processo nesta mesma situação opera fora da linha central, não pode ser considerado capaz (KUME, 1993; MONTGOMERY, 2010; GONZALEZ, 2013). O Quadro 3.2 detalha os principais indicadores do processo e demonstra os principais conceitos a eles relacionados.

Quadro 3. 2 Indicadores de processo

Sigla	Indicador de Capabilidade do Processo	Indicativo
PP	Índice referencial de desempenho do processo	Verificar se o processo é capaz de produzir itens incluindo variações das causas especiais
CP	Índice de capacidade referencial do processo	Medir a capacidade potencial do processo, ou seja, sua capacidade de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado.
CPK	Índice de capacidade do processo	Medir a capacidade efetiva do processo. Considera simultaneamente se o processo possui uma dada dispersão e se a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo sendo definido como o mínimo entre o limite superior e o inferior de Capabilidade
PPK	Índice de desempenho do processo	Indicar a centralização do processo

Fonte: ANGHEL, 2001; MONTGOMERY 2004; ASQ/AIAG, 2005 GONZALEZ, 2013.

Se o processo é considerado fora de controle (ou instável), as possíveis razões para esse estado devem ser investigados imediatamente. Essa investigação pode tomar a forma de um processo de resolução de problemas. Os incidentes de *fora-de-controle* devem ser observados em um diário de bordo ou registros *on-line* para ajudar a prevenir novos casos que surgem (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977).

Uma vez que a estabilidade do processo é conseguida por meio da eliminação das causas especiais de variação do processo, a etapa seguinte é determinar se é ou não capaz de atender às especificações do cliente. Isto é necessário, pois embora processo tenha estabilidade, conseguida pela eliminação de causas especiais, ele pode não ser capaz. Em outras palavras, a estabilidade do processo não garante que o processo atende às especificações dos produtos (KOLARIK, 1995).

A literatura recomenda aos gestores do CEP buscarem como objetivo índices $CPK \geq 1,0$, pois significa que o processo está com um alto nível de capacidade. Entretanto, devido às variações que podem ocorrer naturalmente em uma situação prática, a literatura recomenda que valores de $CPK \leq 0,75$ necessitam de uma intervenção imediata dos responsáveis, pois indica uma incapacidade do processo produtivo em atender as especificações de engenharia (BURR, 1976; HAYES e ROMIG, 1977; ANGHEL, 2001; MONTGOMERY 2004; GONZALEZ, 2013).

Outra recomendação é que a administração deve instituir políticas de modo a assegurar que conhecimentos de processos críticos conduzam a reavaliações dos limites de controle periodicamente. É essencial que todas as ocorrências durante a produção e ações de melhoria sejam documentadas, a fim de que haja conhecimento sobre o que fazer quando uma situação semelhante surgir. Uma vez CEP foi aplicado com êxito sua utilização deve ser expandida a outros processos (ANGHEL, 2001; MONTGOMERY 2004).

Atingir a estabilidade no processo é um passo importante no contexto da melhoria da qualidade. Entretanto, a literatura enfatiza a importância de reduzir a variabilidade relacionada às causas comuns de variação. Uma vez que as causas especiais são cada vez menos frequentes por meio de uma melhoria sistemática e contínua, é importante que os gestores passem a identificar e minimizar as causas comuns de variação (MAKRYMICHALOS, 2005; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

Neste capítulo foram introduzidos os conceitos gerais sobre a aplicação das cartas de controle no contexto da melhoria contínua, regras gerais para seu uso e processo de implantação. A literatura nos mostra ainda que apesar dos benefícios, as empresas enfrentam problemas na implantação e manutenção do CEP.

4 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO CEP

Nos capítulos anteriores foi traçado um quadro geral do que é de fato o controle estatístico de processo, apresentando conceitos, procedimentos e contradições para seu uso. Há na literatura uma corrente que apresenta o CEP como indispensável para a melhoria da qualidade e produtividade. Outra corrente defende o uso do mesmo, mas mostra controvérsias (veja os artigos de Woodall, (2000); Jensen *et. al.*, (2006), e outras mais radicais, que diz que o CEP é perda de tempo (SHAININ, 1996).

Observa-se também que pesquisas sobre os gráficos de controle têm revisado conceitos tradicionais, no que se referem os efeitos da estimativa dos parâmetros estatísticos no desempenho das cartas de controle (JENSEN *et al*, 2006; CASTAGIOLLA *et al*, 2013) e a inclusão da significância prática na determinação dos limites de controle estatístico e conseqüente efeitos no desempenho desses gráficos de controle (WOODALL, 2000).

Considerando o que foi revisado até o momento, procura-se neste capítulo analisar e elencar um conjunto de fatores críticos de sucesso relacionados à implantação do CEP.

4.1 Dimensões dos fatores críticos de sucesso

Segundo Grigg e Walls (2007), em muitos casos não são as ferramentas estatísticas ou *softwares* analíticos, mas a internalização dos princípios do pensamento estatístico, incluindo a forma de interpretar e uso dos gráficos de controle, que possibilitam o uso efetivo do CEP. Sustenta esse ponto de vista o que tem sido dito por alguns autores que colocam o CEP como uma forma de raciocinar e analisar os processos, materializando os conceitos de pensamento estatístico (JENSEN *et. al.*, 2006;.MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011, OPRIME *et al*, 2012).

Pode-se tomar como base para delinear as categorias de fatores críticos de sucessos o artigo de Firka (2011), que propôs que esses fossem classificados em três dimensões básicas, sendo elas: i) a dimensão estatística; ii) a dimensão metodológica; iii) a dimensão gerencial. Essas dimensões são descritas a seguir.

A dimensão estatística refere-se aos pressupostos assumidos quando da utilização de determinado modelo ou técnica. Em muitos casos, devido a algumas deficiências no treinamento e até mesmo falta de experiência na condução destes

trabalhos, questões de caráter técnico são subestimadas, comprometendo os resultados (HAIR *et. al.*, 2010; MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

A dimensão metodológica são fatores representados por variáveis relacionados à condução dos trabalhos e aproveitamento das informações geradas pelo sistema de monitoramento, que deve apoiar uma correta intervenção no processo. Corresponde, portanto, a um conjunto significativo de fatores que comprometem a aplicação de técnicas estatísticas no nível operacional (MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

Já dimensão gerencial corresponde aos fatores que são diretamente influenciados pelos comportamentos e necessidades humanas e precisam ser considerados pelos gestores, uma vez que as pessoas devem estar cientes de sua participação no controle dos processos (MONTGOMERY, 2010; FIRKA, 2011).

O quadro 4.1 apresenta os FCS relacionados ao nível da administração estratégica. Embora os FCS aqui descritos não estejam diretamente relacionados à condução das atividades do CEP é importante destacar que nenhuma iniciativa de melhoria pode prosperar sem o devido apoio da alta administração e sem uma estrutura adequada que possibilite o andamento das atividades.

Quadro 4. 1 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível estratégico

Dimensão	FCS	Fontes
Gerencial	1.1 Comprometimento da alta administração	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014
	1.2 Integração dos setores da empresa	HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010. SHARMA; KHARUB, 2014
	1.3 Treinamento gerencial	HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; SHARMA; KHARUB, 2014
	1.4 Desenvolver a melhoria contínua	AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; RUPA; EVANS, 2012; GRAÇA; <i>et. al.</i> , 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
	1.5 Alinhamento aos objetivos estratégicos	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; GRAÇA <i>et. al.</i> , 2014
	1.6 Infraestrutura	BHOTE, 1987; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014

	1.7 Mudança cultural	HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; MAHANTI e EVANS; 2012; LIM e ANTONY, 2013; GRAÇA <i>et. al.</i> 2014
	1.8 Envolvimento de todos	HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; SHARMA; KHARUB, 2014; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; HOERL; SNEE, 2010
	1.9 Utilizar suporte externo	GRIGG e WALLS, 2007; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RANTAMÄKI; TIAINEN; KÄSSI; 2013
	1.10 Enfatizar o controle em substituição às inspeções	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010, LIM; ANTONY; ALBLIWI, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
Metodológica	1.11 Aplicação dos conceitos do Pensamento Estatístico	GRIGG E WALLS, 2007; AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; RANTAMÄKI; TIAINEN; KÄSSI; 2013; GRAÇA; <i>et. al.</i> , 2014; SORIANO e OPRIME, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
	1.12 Estipular metas de qualidade	SNEE, 1990; GRIGG; WALLS, 2007; HOERL, SNEE, 2010
	1.13 Plano adequado de implantação	MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010 RUPA; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
	1.14 Avaliar os custos de implantação	MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; MAHANTI; EVANS, 2012; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013
	1.15 Não usar o CEP apenas como ferramenta para monitorar o processo	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014

Fonte: Elaborado pelo autor

No quadro 4.2 estão alocados os fatores críticos cuja responsabilidade pode ser atribuída ao nível tático. Percebe-se que estes fatores críticos estão distribuídos nas três dimensões propostas por Firka (2011). Isso nos mostra que o nível tático tem atribuição, em relação ao CEP, que envolvem decisões estratégicas e de auxílio no suporte às atividades no nível operacional.

Quadro 4. 2 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível tático

Dimensão	FCS	Fontes
Gerencial	2.1 Aplicação dos conceitos do TQM	MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; GRAÇA; <i>et. al.</i> , 2014; SHARMA; KHARUB; 2014
	2.2 Governança para armazenar dados	GROOVER, 2007; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014
	2.3 Resistência à mudança	BHOTE; 1987; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014

	2.4 Simplificação da abordagem	MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014	
	2.5 Treinamento de reciclagem	HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; RUPA; EVANS, 2012	
	2.6 Utilizar mecanismo de reconhecimento do sucesso	MONTGOMERY, 2004; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010 RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014	
Metodológica	2.7 Não considerar o operador como controlador do processo	BHOTE, 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014	
	2.8 Controlar apenas características desnecessárias	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014	
	2.9 Facilitadores	HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012, SHARMA; KHARUB, 2014	
	2.10 Não utilizar um excesso de cartas de controle	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010 AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; GRAÇA; <i>et. al.</i> , 2014; SHARMA; KHARUB; 2014	
	2.11 Documentação atualizada dos parâmetros de processo	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014	
	2.12 Uso de piloto na implantação	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014	
	2.13 Planejar futura aplicação do CEP	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; GRAÇA; <i>et. al.</i> , 2014; SHARMA; KHARUB; 2014	
	2.14 Verificar a eficiência do sistema de medição	ASQ/AIAG, 2002; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014	
	Estatística	2.15 Seleção correta da carta de controle	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012
		2.16 Falta de conhecimento estatístico sobre o processo	ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012 LIM; ANTONY, 2014
2.17 Falta de atuação nas causas de variações		GRIGG e WALLS, 2007; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; MONTGOMERY, 2010; AHMAD <i>et. al.</i> , 2012; SHARMA; KHARUB, 2014	

Fonte: Elaborado pelo autor

No quadro 4.3 estão alocados os fatores cuja responsabilidade está mais bem relacionada à condução das atividades práticas e do cotidiano das empresas. De maneira geral os FCS são predominantemente da dimensão estatística, de acordo com a proposta de dimensões de Firka, (2011). Entretanto, como recomenda a literatura, são de

responsabilidade do nível operacional, fatores metodológicos tais como: ajustes no processo e tomada de decisão sobre o produto.

Quadro 4. 3 Fatores críticos de sucesso relacionados ao nível operacional

Dimensão	FCS	Fontes
Metodológica	3.1 Agilidade na identificação e resolução de problemas	BHOTE, 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.2 Utilização de pacotes computacionais	AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.3 Conhecer os conceitos estatísticos relacionados ao CEP	BHOTE, 1987; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MUJTABA; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.4 Interpretação equivocada das cartas de controle	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; COLIN; VANHOUCKE, 2014; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
Estatística	3.5 Observação dos pressupostos estatísticos	BHOTE; 1987; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.6 Excesso de ajuste no processo	BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MAHANTI; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB; 2014
	3.7 Tomar decisões baseado em fatos	BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARU, 2014
	3.8 Seleção correta da carta de controle	MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; LIM; ANTONY, 2014;
	3.9 Utilizar critérios para selecionar tamanho e frequência de amostra	BHOTE; 1987; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013, SHARMA; KHARUB, 2014
	3.10 Implantação de CEP em processos fora de controle	BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014
	3.11 Falta de revisão periódica dos limites de controle	BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012 AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.12 Estimar corretamente os limites de controle	BHOTE; 1987; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014
	3.13 Cálculo de capacidade do processo	BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MAHANTI; GONZALEZ, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível estratégico

Delimita-se nesta seção e nas próximas o escopo dos fatores críticos de sucesso do CEP considerando as dimensões e níveis de responsabilidade dentro da organização. Especificamente nesta seção serão apresentados os FCS para a implantação e manutenção das cartas de controle que estão diretamente relacionados ao nível estratégico. Procura-se neste subitem descrever as responsabilidades da alta administração para o sucesso no uso das cartas de controle, cujas seções serão subdivididas de acordo com as dimensões propostas por Firka (2011).

a) Dimensão gerencial

Os FCS pertencentes ao nível estratégico, classificado dentro da dimensão sociológica, são variáveis relacionadas à motivação para a mudança dentro da organização, sendo fundamental que o processo de implantação das cartas de controle seja decorrente de necessidades e não apenas como um modismo de gestão. A literatura nos apresenta como fatores críticos de sucesso:

- 1.1 Comprometimento da alta administração:

Nenhuma abordagem ou iniciativa de melhoria sobreviverá por muito tempo sem o apoio formal e incentivo dos níveis estratégicos. Entende-se a isso os mecanismos que devem ser utilizados pela organização para remover entraves, tais como a resistência inicial a adoção formal do programa e o fornecimento de recursos necessários tais como: treinamentos, estrutura, e incentivos para o uso do CEP. (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.2 Integração dos setores da empresa:

O nível estratégico deve promover a integração e o fluxo de informações entre as áreas funcionais, por meio de mecanismos e políticas que facilitem o uso das cartas de controle e o desenvolvimento de projetos de melhoria e cumprimento de exigências contratuais com o fornecedor (HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010. SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.3 Treinamento gerencial:

A alta administração deve financiar e promover treinamentos específicos para o nível tático enfatizando aspectos gerenciais do CEP. Esses treinamentos não

devem englobar apenas o uso estatístico da ferramenta, mas deixar claro as atribuições e componentes metodológicos envolvidos para operacionalizar a aplicação das cartas de controle na organização. Esses treinamentos devem acontecer com regularidade na tentativa de não se perder os conhecimentos técnicos e gerenciais já aprendidos (HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.4 Desenvolver a melhoria contínua:

A alta administração deve considerar as cartas de controle como uma ferramenta fundamental para a MC. Entretanto a simples aplicação desta ferramenta não pode ser considerada como uma iniciativa válida do programa. Portanto, a alta administração deve liderar esforços e propor regularmente projetos de melhoria utilizando as cartas de controle para fortalecer o uso desta ferramenta no escopo do projeto (AHMAD *et. al.*, 2012; RUPA; EVANS, 2012; GRAÇA; *et. al.*, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.5 Alinhamento aos objetivos estratégicos:

A implantação das cartas de controle deve contribuir para a satisfação das necessidades da organização. Para tanto o uso das cartas de controle devem funcionar como um instrumento para medir se as ações tomadas estão causando o impacto previsto. Outro ponto que deve ser considerado pelos gestores diz respeito à aplicação das cartas de controle em processos que são estratégicos para a organização (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; GRAÇA *et. al.*, 2014).

- 1.6 Infraestrutura:

A utilização da carta de controle envolve um conjunto de recursos que devem estar disponíveis. Organizações menores podem não dispor desta estrutura, porém devem atender as necessidades de forma suficiente por outros meios, tais como registros impressos. O importante aqui é salientar a necessidade de recursos e suporte para o CEP, tais como aquisição de consultoria especializada, horas de dedicação dos colaboradores e licença de programas específicos (BHOTE, 1987; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 1.7 Mudança cultural:

O nível estratégico deve agenciar uma cultura de melhoria contínua, valorizando os ganhos de eficiência produtiva de forma incremental e constante. Em relação à mudança cultural, a administração deve dirigir seus esforços no sentido de alcançar o comprometimento de todas as pessoas com a melhoria da qualidade por meio do uso das cartas de controle (HAYES e ROMIG, 1977; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; MAHANTI e EVANS; 2012; LIM e ANTONY, 2013; GRAÇA *et. al.* 2014).

- 1.8 Envolvimento de todos:

O Papel fundamental do nível estratégico é promover a integração entre todos os níveis da organização. Para isso também é fundamental que se crie mecanismos de comunicação interdepartamental, e também para que todas as pessoas diretamente e indiretamente que de alguma forma sejam afetadas pela aplicação das cartas de controle se envolvam com as questões de qualidade e desempenho do processo produtivo, cobrando prazos, etapas de implantação e ações que visem à redução da variabilidade. Isto será viabilizado a medida que os gestores disseminem as idéias do CEP e busca implantá-las (HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; SHARMA; KHARUB, 2014; OAKLAND, 2008; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; HOERL; SNEE, 2010).

- 1.9 Utilizar suporte externo:

A literatura recomenda a participação de pessoas experientes na implantação das cartas de controle na etapa inicial. Com o auxílio de uma consultoria espera-se facilitar o aprendizado dos envolvidos internamente com o programa CEP, bem como a integração das pessoas da empresa que ainda não tiveram contato com a ferramenta pra minimizar os problemas iniciais que poderão ocorrer devido a pouca experiência com a implantação (GRIGG e WALLS, 2007; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RANTAMÄKI; TIAINEN; KÄSSI; 2013).

- 1.10 Enfatizar o controle em substituição às inspeções:

Uma das formas que a alta administração pode demonstrar confiança e apoio na aplicação das cartas de controle é a redução da prática de inspeções como forma de controle de qualidade de produtos já processados. É importante que esta

redução das inspeções ocorra apenas quando se tenha certeza de que a ferramenta está funcionando plenamente, isso evitaria o descrédito com as cartas de controle caso algum problema venha a ocorrer (MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010, LIM; ANTONY; ALBLIWI, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

b) Dimensão Metodológica

- 1.11 Aplicar os conceitos do Pensamento Estatístico:

Cabe à alta administração dominar os conceitos relacionados ao pensamento estatístico; o objetivo é reconhecer a existência da variabilidade que deve ser minimizada. Consequentemente, a alta administração deve balancear suas expectativas quanto ao uso das cartas de controle (GRIGG E WALLS, 2007; AHMAD *et. al.*, 2012; RANTAMÄKI; TIAINEN; KÄSSI; 2013; GRAÇA; *et. al.*, 2014; SORIANO e OPRIME, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.12 Estipular metas de qualidade

A alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo. O importante é que o nível estratégico atribua atividades e cobre o desenvolvimento destas atividades relacionadas ao CEP (SNEE, 1990; GRIGG; WALLS, 2007; HOERL, SNEE, 2010).

- 1.13 Plano adequado de implantação:

A empresa deve utilizar uma sequência lógica de passos para a implantação. A literatura traz diversos trabalhos, desde modelos genéricos até modelos mais específicos como, por exemplo, a implantação do CEP nas indústrias farmacêutica, na indústria Química dentre outras. Cabe ao gestor selecionar um modelo e colocá-lo em prática. A alta administração deve elaborar um documento formal que expressa claramente seu interesse em utilizar as cartas de controle como ferramenta de melhoria, para todos os níveis da organização. (MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010 RUPA; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 1.14 Avaliar os custos de implantação:

Um dos aspectos mais importantes da implantação e manutenção das cartas de controle diz respeito aos custos de implantação. Estes investimentos devem ser

avaliados pela alta administração antes de iniciar o processo de implantação do CEP antes de se iniciar o processo de implantação para que os recursos financeiros, técnicos e humanos necessários não venham a faltar.

Importante lembrar que a utilização eficiente das cartas de controle, conforme descrito na literatura apresenta um vantajoso retorno sobre os investimentos. Entretanto, este retorno esperado pode levar muito tempo (MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; MAHANTI; EVANS, 2012; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013).

- 1.15 Não usar o CEP apenas como ferramenta para monitorar o processo:

As cartas de controle são ferramentas utilizadas no contexto da melhoria da qualidade. Portanto, devem ser utilizadas plenamente no auxílio do desenvolvimento dos projetos de melhoria. Conforme mencionado, o uso das cartas de controle devem ser aplicadas no contexto do monitoramento desenvolvimento de melhorias reativas, aquelas nas quais existe um problema relatado pela montadora, e principalmente melhorias proativas, aquelas situações nas quais exige das organizações a necessidade de perceber a necessidade de mudança (MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

4.3 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível tático

Neste subitem são apresentados os FCS referentes à implantação e manutenção do CEP sob responsabilidade direta do nível tático, já listados no quadro 4.2. O nível tático apresenta uma interface entre os níveis, sendo de sua responsabilidade transformar os objetivos estratégicos da organização em ações concretas. Estão sob sua responsabilidade as três dimensões propostas por Firka (2011).

a) Dimensão Gerencial

- 2.1 Aplicar os conceitos da qualidade total (TQM):

Os conceitos do TQM devem ser utilizados como uma das abordagens de melhoria da qualidade. O CEP e as cartas de controle devem desempenhar corretamente seu papel como ferramental e auxiliar no desenvolvimento dos projetos de melhoria (MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL,

SNEE, 2010; AHMAD *et. al.*, 2012; GRAÇA; *et. al.*, 2014; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 2.2 Governança para armazenar os dados das cartas de controle:

Um aspecto essencial da aplicação das cartas de controle e sua análise e armazenamento. Muitas vezes, isto é uma questão de exigência legal conforme a literatura recomenda que todos os dados sobre o processo devam estar disponíveis, pois sem essas informações, possíveis questionamentos futuros podem não ser esclarecidos (GROOVER, 2007; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

- 2.3 Resistência a mudança:

A literatura aponta para a mudança; existe uma força que mantém o *status quo*. Neste sentido, os gestores devem buscar mecanismos que fixem as cartas de controle como ferramenta para monitoramento e controle do processo produtivo. Portanto, a gerência industrial deve ficar atenta a esta questão e minimizar a ocorrência da resistência por meio de treinamentos e ações que visem garantir o correto uso da ferramenta (BHOTE; 1987; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 2.4 Simplificação da abordagem:

Cabe ao nível tático facilitar a aplicação das cartas de controle. Muitas vezes o nível operacional não dispõe de todos os conhecimentos necessários para uma implantação eficiente das cartas de controle. O nível tático deve promover ações que auxiliem no uso correto da ferramenta pelo nível operacional (MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 2.5 Treinamentos de reciclagem:

É importante que os profissionais que atuam diretamente com o CEP conheçam as novas tecnologias e ferramentas que surgem constantemente para o monitoramento e controle de processo. O nível tático deve criar cronogramas de treinamentos apresentando novas técnicas de cartas de controle e relembrando os conceitos fundamentais de condução das atividades de aplicação das cartas de controle (HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; RUPA; EVANS, 2012).

- 2.6 Utilizar mecanismo de reconhecimento do sucesso:

O nível tático deve desenvolver mecanismos para recompensar o nível operacional sobre os benefícios relacionados ao CEP. O nível operacional, por meio de estímulos, deve manter o processo com o mínimo de variação possível. Este comportamento positivo, de busca pela redução da variabilidade por parte do nível operacional, deve ser recompensado por ações do nível tático que visem garantir a manutenção dos padrões de excelência. Segundo a literatura estudada a equipe de gestão do CEP deve ser reconhecida pelo seu desempenho principalmente na gestão de projetos de melhoria (MONTGOMERY, 2004; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010 RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

b) Dimensão Metodológica

- 2.7 Não considerar o operador como controlador do processo:

O operador é parte fundamental da aplicação das cartas de controle, uma vez que está diretamente vinculado ao processo de construção, coleta de dados e análise dos dados das cartas de controle. Neste sentido, o nível tático deve fornecer recursos e principalmente treinamento para que os profissionais que lidam diretamente com a coleta de dados, mudança nos processos e monitoramento, desenvolvam suas atividades da melhor forma possível e saibam identificar a hora certa de intervir no processo. Considera-se como uma boa prática discutir os resultados do CEP entre os funcionários. Isto funciona como mecanismo motivacional (BHOTE, 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 2.8 Controlar apenas características desnecessárias:

Um fator crítico é controlar características que não são primordiais para a satisfação dos clientes ou outros que não são importantes para o desempenho do processo. Muitas vezes a montadora é quem decide sobre qual parâmetro do produto ou processo deve ser monitorado. No entanto, no contexto da indústria de autopeças as cartas de controle devem ser aplicado em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos cabendo ao gestor monitorar parâmetros adicionais de acordo com a necessidade do produto e processo. Embora satisfazer as necessidade do cliente e controlar características críticas não seja uma contradição, esta situação pode sobrecarregar o sistema de monitoramento e controle de processo complicando o

andamento das atividades de melhoria (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 2.9 Facilitadores:

Treinar pessoas chaves corresponde a formação de grupos de melhoria constituídos por equipes multifuncionais que se reúnem regularmente. A literatura estudada recomenda ainda a existência da figura de facilitadores. Estas pessoas possuem uma formação e experiência complementar para auxiliar o nível operacional no desenvolvimento das atividades pertencentes às cartas de controle. Diferente de uma consultoria externa, estes facilitadores fazem parte do quadro de funcionários da própria empresa que está implantando as cartas de controle. Cabe ao gerente selecionar preferencialmente pessoas já experientes para esta finalidade uma vez que estas pessoas conheçam as variáveis críticas para controle do processo e cabe ao nível tático exercer também a função de facilitador (HAYES e ROMIG, 1977, ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012, SHARMA; KHARUB, 2014).

- 2.10 Não utilizar um excesso de cartas de controle:

Em muitos casos, quando as cartas de controle são implantadas existem uma tendência a querer monitorar todas as características de qualidade do produto. A literatura recomenda que apenas as características chaves de qualidade devam ser monitoradas por meio das cartas de controle, pois o contrário implica em uma quantidade demasiada de cartas de controle para serem trabalhadas sem necessidade comprovada. Assim nem todos os processos e características críticas devem ser controladas pelo CEP (MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010 AHMAD *et. al.*, 2012; GRAÇA; *et. al.*, 2014; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 2.11 Documentação atualizada dos parâmetros de processo:

Geralmente, vários produtos são obtidos por meio de alteração de apenas algumas características do processo. Neste sentido, as cartas de controle devem acompanhar estas mudanças e toda vez que os parâmetros de processo são intencionalmente alterados esta informação deve ficar registrada nas cartas de controle (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

- 2.12 Uso de piloto na implantação:

Um componente importante do processo de implantação das cartas de controle é a utilização de um teste piloto. Este piloto servirá para a organização ganhar experiência, aprendendo com os erros e reconhecendo necessidades especiais. Após a implantação do piloto, a organização pode expandir a aplicação destas técnicas para outros processos com base na experiência adquirida.

Em relação a este fator crítico é importante salientar que o processo ou característica que se deseja implantar as cartas de controle bem como os procedimentos para tal devem ser selecionados corretamente, pois se aplicados incorretamente podem desmotivar os funcionários e gerar a descrença no programa CEP (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 2.13 Planejar futura aplicação do CEP:

Recomenda-se que o CEP seja implantado de uma forma expansionista. Neste sentido, é fundamental que o nível tático utilize cada vez mais estas técnicas dentro da organização para outros processos, fortalecendo o processo de melhoria da empresa (MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL; SNEE, 2010; AHMAD *et. al.*, 2012; GRAÇA; *et. al.*, 2014; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 2.14 Verificar a eficiência do sistema de medição:

Para uma eficiente mensuração da variabilidade é necessário que os instrumentos de medição sejam confiáveis, para tanto é fundamental que se utilize a análise de repetibilidade e reprodutibilidade (GR & R), bem como dos métodos de confiabilidade metrológica. Portanto, Análise de GR & R deve ser feito antes de realizar as atividades do CEP. Embora seja uma atividade típica da dimensão estatística, a preocupação da organização em realizar esta análise se caracteriza como uma atividade pertencente a dimensão metodológica (ASQ/AIAG, 2002; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; SHARMA; KHARUB, 2014).

c) Dimensão Estatística

- 2.15 Seleção correta da carta de controle:

É de responsabilidade gerencial selecionar as características de qualidade que devem ser monitoradas e informar isto ao nível operacional. Para tanto será necessário que selecione corretamente a carta de controle de acordo com os objetivos a serem atingidos, pressupostos estatísticos envolvidos e características ou variável que se deseja monitorar (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012).

- 2.16 Falta de conhecimento estatístico sobre o processo:

O nível tático deve conhecer e entender quais são as variáveis que influenciam o desempenho de seu produto e processo para que estas variáveis sejam controladas por meio das cartas de controle. Em outras palavras, o gerente deve ser um profundo conhecedor das atividades do processo produtivo e suas implicações para os processos subsequentes. Isso requer a habilidade para estabelecer correlações entre variáveis e determinar as relações de causalidade (ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; RUPA; EVANS, 2012 LIM; ANTONY, 2014).

- 2.17 Falta de atuação nas causas de variações

Apesar de ser uma prática que deve estar relacionada ao nível operacional, cabe ao nível tático discriminar políticas de atuação no processo e incentivar os operadores a tomarem ações baseadas nas cartas de controle sempre que necessário. Sendo assim, sempre que o processo está fora de controle, as causas especiais devem ser identificadas e removidas imediatamente. GRIGG e WALLS, 2007; MONTGOMERY, 2004; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; MONTGOMERY, 2010; AHMAD et. al., 2012; SHARMA; KHARUB, 2014

4.4 Fatores críticos de sucesso sob responsabilidade do nível operacional

Refere-se aqui aos fatores que estão sob responsabilidade do nível operacional, já listados no Quadro 4.3. Observa-se neste subitem uma predominância dos FCS relacionados a questões estatísticas e metodológicas.

a) Dimensão Metodológica

- 3.1 Agilidade na identificação e resolução de problemas:

Outra função primordial desta ferramenta é auxiliar na tomada de decisão. A morosidade na identificação das causas de variação causa descrédito com a ferramenta. Para que isto não ocorra, devem-se adotar mecanismos que permita ao operador fazer os ajustes quando necessário, trazendo o processo a sua estabilidade imediatamente após a constatação da tendência de deslocamento dos valores centrais (BHOTE, 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.2 Utilização de pacotes computacionais.

Uma estrutura computacional com softwares e hardwares é um recurso importante para armazenar e analisar as informações nas organizações. Este recurso deve ser utilizado pelo nível operacional no desenvolvimento de suas atividades. Devem ser utilizados pelos operadores os pacotes computacionais na condução das atividades do CEP tais como: *Minitab*, *Statistica*, *Statgraphics*. (AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; MAHANTI; EVANS, 2012; RUPA; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 3.3 Conhecer os conceitos estatísticos relacionados ao CEP:

É importante um treinamento formal do nível operacional no uso das cartas de controle. Necessariamente conceitos mais complexos e gerenciais não devem ser aprofundados, sendo mais pertinente nos treinamentos abordar os conceitos relacionados à identificação das causas especiais e auxiliar em questões práticas como coleta de dados, preenchimento das cartas e outras questões do cotidiano. Os conhecimentos adquiridos sobre CEP nos treinamentos devem ser aplicados imediatamente após o treinamento para não se perder conceitos importantes neste processo (BHOTE, 1987; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MUJTABA; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.4 Interpretação equivocada das cartas de controle:

É importante que o nível operacional conheça as regras de interpretação das cartas e que as ações sejam especificadas em planos de controle. Isso possibilitará uma intervenção mais assertiva no processo produtivo, atuando no processo apenas

quando for necessário (MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; COLIN; VANHOUCKE, 2014; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

b) Dimensão Estatística

- 3.5 Observação dos pressupostos estatísticos:

Um ponto crítico para o sucesso da implantação das cartas de controle diz respeito ao cumprimento dos pressupostos estatísticos. Um dos pressupostos básicos diz respeito à observação de questões como a distribuição dos dados para que isso não interfira na robustez da técnica. Sendo assim as pessoas envolvidas com o CEP tem domínio adequado dos métodos estatísticos que viabilizam o funcionamento das cartas de controle (BHOTE; 1987; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.6 Excesso de ajustes no processo:

O nível operacional deve conhecer as relações de causas de variação. Portanto, as correções ou ajustes no processo devem ser feitos e quantificados com o objetivo de manter o processo estabilizado. As cartas de controle são ferramenta para verificar as tendências de deslocamento das características do processo e fazer correções quando necessário para que estas características voltem aos valores de normalidade. Sem o elemento “intervenção” a carta de controle perde a sua principal funcionalidade. Entretanto, a significância prática deve ser considerada na tomada de decisão sobre a intervenção no processo, pois muitas vezes uma causa especial identificada na carta pode não ser economicamente viável para uma tomada de ação (BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MAHANTI; EVANS, 2012; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 3.7 Tomar decisões baseado em fatos:

Os ajustes no processo devem ocorrer baseados na identificação das causas, identificar corretamente o que está ocasionando a variação e fazer os ajustes necessários no processo. Neste sentido, a literatura não recomenda realizar ajustes no processo na forma de um experimento enquanto o processo estiver operando. Muitas vezes ações sem o devido embasamento técnico apenas comprometem ainda mais a estabilidade dos processos Assim o uso eficiente das cartas de controle possibilita a

tomada de ações assertivas, baseada nos resultados confiáveis dos processos (BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARU, 2014).

- 3.8 Seleção correta da carta de controle

Gráficos de controle adequados devem ser usados para monitorar a estabilidade do processo MONTGOMERY, 2004; GRIGG e WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; HOERL, SNEE, 2010; LIM; ANTONY, 2014).

- 3.9 Utilizar critérios para selecionar tamanho e frequência de amostra:

O nível operacional deve dominar os critérios de formação dos subgrupos racionais para acompanhar efetivamente o desempenho do processo. Isto permitirá a visualização das tendências de deslocamento e a estabilidade do processo produtivo, influenciando diretamente na tomada de decisões voltadas para se obter a estabilidade do processo. Para que isso funcione corretamente, os operadores do CEP Devem observar todos os pressupostos estatísticos (tamanho amostral, normalidade, dentre outros) no uso das cartas de controle (BHOTE; 1987; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013, SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.10 Implantação das cartas de controle em processos fora de controle

A literatura recomenda iniciar as medições e avaliações do desempenho do processo apenas quando estiver livre da presença das causas assinaláveis. Isto possibilitará o estabelecimento correto dos limites de controle. Inicialmente, visando a implantação das cartas de controle, na fase I de pré controle e imprescindível que se realize a estabilização (BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; MAHANTI; EVANS, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014).

- 3.11 Falta de revisão periódica dos limites de controle:

Outro aspecto importante do cotidiano das cartas de controle consiste na revisão periódica dos limites de controle do processo ocorrendo quando deliberadamente se alteram os parâmetros do processo. A literatura recomenda que os limites de controle sejam revistos quando sejam atingidos novos patamares de estabilidade no processo (BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011;

MAHANTI; EVANS, 2012 AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.12 Estimar corretamente os limites de controle:

A estimativa dos limites de controle deve ser feita inicialmente em um nível próximo aos padrões de engenharia. A literatura recomenda que à medida que o processo se torna mais estável deve-se revisar estes limites de controle, diminuindo assim a amplitude da relação entre o limite superior e inferior de controle (BHOTE; 1987; EVANS, 2012; LIM; ANTONY, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014).

- 3.13 Cálculo de capacidade do processo:

É recomendado que o nível operacional acompanhe o desempenho do processo não se limitando a verificar a atuação das causas assinaláveis, mas verificar por meio dos indicadores de índices de capacidade e capacidade do processo (cp, pp, cpk, ppk) a tendência de deslocamento dos valores centrais do processo (BHOTE; 1987; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; LIM e ANTONY, 2013; MAHANTI; GONZALEZ, 2013; SHARMA; KHARUB; 2014).

Neste capítulo foram apresentados os FCS para a implantação das cartas de controle. Extraímos da literatura quarenta e cinco FCS que os gestores devem observar para uma efetiva implantação do CEP. Esta tese limita-se a estudar apenas os principais e mais recorrentes e passíveis de serem classificados de acordo com Rohani; Yusof e Mohamad (2010) e Firka (2011).

4.5 Benefícios gerados a partir da aplicação adequada do programa CEP

As cartas de controle são ferramentas essenciais para o controle e melhoria da qualidade, por meio da resolução de problemas, pois seu uso permite estabelecer relações e identificar entre os fatores de produção, os causadores da instabilidade do processo, tais como: matéria prima; informação, características de máquina, fatores humanos e regulação dos equipamentos, dentre outros (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; BESTERFIELD, 1986; LEAVENWORTH e GRANT, 2000; ANGHEL, 2001; ASQ/AIAG, 2005; GRIGG e WALLS, 2007; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; FIRKA, 2011; RUPA; EVANS, 2012).

A implantação eficiente do CEP traz resultados para a empresa já no curto prazo, facilitando a visualização de problemas obtidos por meio do desenvolvimento de melhorias reativas de problemas, que impactam diretamente no desempenho dos produtos a ponto de ser observado pelo cliente. (JURAN e

GODFREY, 1999; STOUMBOS, *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008).

A literatura estudada evidencia também a existência de resultados obtidos no longo prazo como parte do desenvolvimento de melhorias proativas, caracterizados pelo uso das cartas de controle, estes efeitos são: melhora no desempenho dos produtos oferecidos ao mercado, redução de defeitos em campo, redução de falhas durante a produção; diminuição de paradas de máquinas; maior domínio sobre o processo produtivo; evidências o cumprimento de questões legais (como no caso da indústria automobilística), além de também atuar no monitoramento do desempenho de matérias-primas; promover a cooperação entre as diferentes unidades organizacionais e níveis, compartilhando o conhecimento da organização (JURAN e GODFREY, 1999; STOUMBOS, *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; BEVILACQUA *et. al.*, 2011; DZULINSKI, 2012; RUPA; EVANS, 2012; SORIANO e OPRIME, 2014).

Como consequência destes benefícios, outros resultados são gerados indiretamente, tais como: melhoria na imagem da organização, redução dos custos de implantação, satisfação dos clientes (JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; BEVILACQUA *et. al.*, 2011; DZULINSKI, 2012; RUPA; EVANS, 2012).

Para Rohani, Yusof e Mohamad (2010) os resultados da implantação do CEP nas empresas podem também ser agrupados em dimensões *Soft*, *Hard*. Nos itens a seguir, serão apresentados os principais resultados identificados na literatura divididos em dimensões. Inicialmente serão apresentados os resultados indiretos (*Soft*).

4.5.1 Resultados *Soft*

No que se refere à dimensão *Soft*, estão agrupados os resultados indiretos, tais como a melhoria da satisfação do cliente, melhor compreensão do processo e melhoria da competitividade da empresa. O Quadro 4.4 apresenta os principais resultados *Soft* identificados na literatura.

Quadro 4. 4: Dimensão Soft

Dimensão Soft	Referencias
4.1 Satisfação do cliente	RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
4.2 Compreensão do processo	ANGHEL, 2001; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.3 Competitividade da empresa	RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.4 Promover a cooperação	GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.5 Melhoria na imagem da organização	ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
4.6 Habilidade de resolver problemas	GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.7 Auxiliar na manutenção	AHMAD, et. al., 2012
4.8 Componente do sistema de qualidade	ABNT, 2009; BEVILACQUA, 2001; DZULINSKI, 2012
4.9 Motivação da equipe de melhoria	RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.10 Desenvolvimento técnico da equipe	GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002
4.11 Ferramenta de abordagens de melhoria	RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; AHMAD, et. al., 2012; LIM; ANTONY; ALBLIWI, 2014

Fonte: Próprio autor

A seguir, os resultados da aplicação eficiente do programa CEP identificados na literatura com Soft são descritos.

- 4.1 Satisfação dos clientes:

As organizações, que produzem itens com baixa variabilidade em suas especificações, tem seu processo reconhecido por seus clientes como superiores. Se levantada apenas a questão do desempenho do item produzido em atender corretamente as especificações de engenharia, além de uma robustez maior, chega-se a uma maior satisfação do cliente (RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 4.2 Compreensão do processo:

Um dos reflexos indiretos da aplicação das cartas de controle diz respeito à compreensão sobre as relações de causalidade entre os insumos do processo produtivo e seus efeitos sobre o resultado final do produto sob análise. A utilização das cartas de controle possibilita compreender as alterações causadas pela variabilidade a partir de uma mudança em algum dos componentes. Assim, por meio de um método dedutivo, as pessoas envolvidas com o CEP avançam em seus conhecimentos técnicos sobre o processo (ANGHEL, 2001; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.3 Competitividade da empresa:

Também indiretamente, uma empresa que tem domínio sobre seu processo atendendo às especificações e necessidades de seu cliente, tendem,

considerando-se apenas este aspecto, a ser mais competitivas perante seus concorrentes (RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.4 Promover a cooperação:

Conforme preconizado no princípio do pensamento estatístico, a produção de um determinado item está primeiramente sujeita a variabilidade sendo impossível eliminá-la completamente do processo. Em segundo lugar, o processo de transformação é de maneira geral composto por vários sub-processos produtivos, que vão desde a matéria prima até o produto final.

Assim, um problema pode ser causado por variáveis do processo anterior, sendo necessárias tomadas de ações que necessitam ser sistematicamente analisadas em níveis de decisão diferentes. Neste sentido, a utilização da ferramenta CEP dentro do contexto de resolução de problemas, promove a cooperação entre os diversos níveis de decisão e responsáveis pelos processos nos departamentos arrolados. (GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.5 Melhoria na imagem da organização:

Relatos na literatura apontam para que o programa CEP, de maneira indireta, melhore a imagem que os clientes têm da organização, uma vez que a estabilidade do processo produtivo pode ser comprovada junto ao seu cliente mediante uso das cartas de controle, além de uma maior capacidade em atender às necessidades e especificações de seus clientes e a capacidade dos envolvidos com o programa CEP de resolver problemas (ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 4.6 Habilidade de resolver problemas:

A utilização da ferramenta CEP, dentro de um contexto de desenvolvimento de projetos de melhoria, balizados pelos princípios da melhoria contínua, possibilita aos envolvidos o aprendizado no método de resolução de problemas e gerenciamento de projetos tendo as cartas de controle como uma importante ferramenta para identificar e controlar as causas de variação no processo. Portanto, os usos das cartas de controle colaboram para o desenvolvimento das habilidades de resolução de problemas dos seus utilizadores (GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.7 Auxiliar na manutenção:

Um exemplo da importância das cartas de controle para o processo de manutenção pode ser observado na aplicação dessas, demonstrando uma tendência de

desgastes de ferramentas e quando uma falha no equipamento pode ocorrer. Desta forma, os responsáveis pela manutenção podem intervir antes que o problema ocorra. Sendo assim, um dos resultados práticos da aplicação das cartas de controle está relacionado à prevenção de falhas de equipamentos produtivos, além do uso efetivo como ferramenta do TPM (AHMAD, et. al., 2012).

- 4.8 Componente do sistema de qualidade:

As cartas de controle são uma das principais ferramentas para avaliar a estabilidade do processo presente no sistema de gestão da qualidade ISO 9000 e também no sistema de gestão da qualidade ISO TS 16949, que trata do sistema de gestão da qualidade para organizações de produção automotiva e peças de reposição. Neste sentido, um dos benefícios derivados da utilização dos sistemas de gestão da qualidade está em uma melhor utilização das cartas de controle (ABNT, 2009; BEVILACQUA, 2001; DZULINSKI, 2012).

- 4.9 Motivação da equipe de melhoria:

O envolvimento do nível operacional com as atividades do CEP, por meio de treinamentos e a participação das pessoas no desenvolvimento de projetos de melhoria, bem como o desenvolvimento de metas de desempenho, são elementos destacados na literatura como motivadores da equipe de melhoria (RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.10 Desenvolvimento técnico da equipe:

Os treinamentos estatísticos no uso das cartas de controle, bem como os elementos de gestão da qualidade são elementos fundamentais para o desenvolvimento técnico da equipe. De maneira prática, o uso das cartas de controle em problemas reais melhora a compreensão dos envolvidos sobre as variáveis que estão atuando no processo desenvolvendo, assim também o conhecimento técnico e gerencial da equipe de melhoria (GORDON, 1994; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002).

- 4.11 Ferramenta de abordagens de melhoria:

O CEP e principalmente as cartas de controle são citadas em diversas abordagens de melhoria como ferramenta para promover a melhoria e a estabilidade do processo produtivo tais como: Seis Sigma, Kaizen, Teoria das Restrições e Manutenção produtiva total e TQM (RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; AHMAD, et. al., 2012; LIM; ANTONY; ALBLIWI, 2014).

4.5.2 Resultado Hard

Na dimensão *Hard*, estão agrupados os resultados diretamente associados ao uso da técnica, como as reduções na taxa de desperdícios, variabilidade e custos, além da melhoria da produtividade. O Quadro 4.5 apresenta os principais resultados Hard identificados na literatura.

Quadro 4. 5 Dimensão Hard

Dimensão Hard	Referencias
5.1 Auxiliar na compra de equipamento	AHMAD, et. al., 2012
5.2 Eficiência do processo	GORDON, 1994 JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002;ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008;EVANS; LINDSAY, 2005
5.3 Retorno sobre investimento	EVANS; LINDSAY, 2005; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
5.4 Melhoria na produtividade	GORDON, 1994 JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002;ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
5.5 Redução da variabilidade	TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
5.6 Reduções na taxa de desperdícios	BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
5.7 Redução dos custos produtivos	JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; DZULINSKI, 2012
5.8 Redução de defeitos em campo	BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008
5.9 Redução de falhas durante a produção a produção:	JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010
5.10 Maior domínio sobre o processo produtivo;	MONTGOMERY; WOODALL, 1999; WOODALL, 2000
5.11 Evidências o cumprimento de questões legais na indústria automobilística.	ASQ/AIAG, 2005; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010

Fonte: Próprio autor

A seguir os resultados identificados na literatura e classificados como *Hard* estão descritos.

- 5.1 Auxiliar na compra de equipamento:

Um benefício pouco relatado na literatura diz respeito à utilização das Cartas de controle para a compra de equipamentos. Algumas empresas utilizam esta ferramenta com esta finalidade. Sendo assim, o comprador do equipamento pode em tese solicitar ou produzir registros do desempenho do equipamento a ser adquirido e selecionar o equipamento que tem desempenho superior e principalmente aquele que é capaz de produzir com a menor variabilidade (AHMAD, et. al., 2012).

- 5.2 Eficiência do processo:

A utilização eficiente das cartas de controle, principalmente na atuação das causas de variação alcançando a estabilidade estatística propicia uma maior eficiência do processo produtivo (GORDON, 1994 JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; EVANS; LINDSAY, 2005).

- 5.3 Retorno sobre investimento:

Um ponto controverso na literatura sobre a implantação do CEP se trata da relação entre custo e benefício uma vez que os resultados mostrados neste item comprovam que o retorno sobre o valor investido no programa. Entretanto, organizações menores, com orçamentos pouco expressivos, podem fazer uso deste programa de uma forma mais modesta, por meio da simplificação da abordagem, investimentos menores em aquisição de programas computacionais e consultorias especializadas. Portanto, a percepção por parte dos gestores sobre o retorno do investimento funciona como um indicador da utilização eficiente das práticas do CEP. Portanto, se o programa está sendo bem implantado é natural observar ganhos financeiros (EVANS; LINDSAY, 2005; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 5.4 Melhoria na produtividade:

O uso eficiente das cartas de controle possibilita uma melhor produtividade nos processos, por meio principalmente da melhoria na estabilidade do processo, que resulta em uma redução do número de paradas e falhas, refugos e a necessidade de retrabalhos, conseqüentemente os índices das taxas de produtividade tendem a melhorar (GORDON, 1994 JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 5.5 Redução da variabilidade:

O conhecimento sobre o processo associado a sucessivas iniciativas de mudança podem refletir uma melhor eficiência do processo produtivo. Portanto, cabe aos responsáveis inferir sobre o desempenho do processo buscando reduzir a variabilidade. Essa melhora na eficiência do processo pode ser traduzida, entre outros aspectos, como um aumento na velocidade de entrega dos produtos. A entrega de quantidade certa na hora certa são preceitos do Just in time adotado como modelo pelas montadoras. Neste sentido, um processo confiável e estável e conseqüentemente

previsível contribui para as empresas serem mais enxutas (TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 5.6 Reduções na taxa de desperdícios:

Incontáveis trabalhos acadêmicos apontam para a redução do desperdício como um resultado inerente ao uso das cartas de controle. Desde os primórdios do desenvolvimento das primeiras cartas de controle, a redução da variabilidade é apontada por autores como Deming (1996) e TAGUCHI (1985) como causa da produção de itens não conformes. Neste sentido, por meio da estabilidade do processo é possível obter a redução da taxa de desperdício BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010.

- 5.7 Redução dos custos produtivos:

A implantação do programa CEP e principalmente o uso das cartas de controle possibilitam uma redução nos custos produtivos diretamente relacionadas a estabilidade do processo produtivo (JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; RUNGASAMY; ANTONY; GHOSH; 2002; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; DZULINSKI, 2012).

- 5.8 Redução de defeitos em campo

A redução dos defeitos que um componente fabricado pela indústria automobilística em campo, se deve, em parte, pelo correto cumprimento das especificações de engenharia e estabilidade no processo. Quanto mais estável for o processo responsável pela produção do componente menor a chance que o componente terá de falhar (BURR, 1976, HAYES e ROMIG, 1977; TAGUCHI, 1985; JURAN e GODFREY, 1999; OAKLAND, 2008).

- 5.9 Redução de falhas durante a produção:

Para exemplificar um caso de redução de falhas, durante a produção de um componente automotivo, é que, a utilização da carta de controle fornece a informação de um possível deslocamento nos valores do processo. Este é um comportamento típico de um desgaste de ferramenta ou outros problemas de manutenção. Se este deslocamento for detectado prematuramente, pode-se tomar a decisão de intervir no processo antes que as falhas comecem a ocorrer (JURAN e GODFREY, 1999; WOODALL, 2000; ASQ/AIAG, 2005; MONTGOMERY, 2007; OAKLAND, 2008; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

- 5.10 Maior domínio sobre o processo produtivo:

A utilização das cartas de controle possibilita aos gestores fazer comparações entre parâmetros do processo e estabelecer, mesmo que de maneira conceitual, insights sobre as relações entre as variáveis que estão atuando no processo. Desta forma, a utilização das cartas de controle possibilita um melhor conhecimento sobre o processo produtivo (MONTGOMERY; WOODALL, 1999; WOODALL, 2000).

- 5.11 Evidências o cumprimento de questões legais na indústria automobilística:

As cartas de controle, corretamente arquivadas, quando analisadas possibilitam comprovar o processo no qual a peça foi produzida e se encontra-se sob condições normais de operação. Assim, funcionando como uma prova da capacidade do processo e estabilidade dos itens produzidos (ASQ/AIAG, 2005; ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010).

5 PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CAMPO

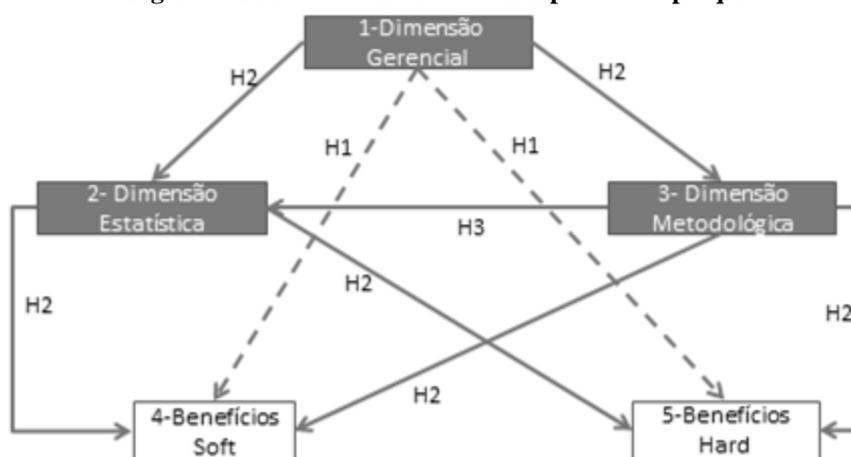
Após as considerações sobre a teoria e a prática do uso das cartas de controle, bem como apresentação teórica dos aspectos considerados críticos para o seu sucesso, neste capítulo aborda-se o método de pesquisa, com destaque para a caracterização da população, dos métodos de amostragem e do procedimento para coleta e análise dos dados.

Cabe resgatar a ideia central da tese que é verificar a existência de relação entre os FCS classificados em dimensões e seus reflexos sobre os benefícios do programa de acordo com a percepção dos praticantes do CEP na indústria de autopeças. A base teórica de apoio à proposição de pesquisa está nos FCS apresentados no capítulo 4, sustentada por uma revisão estendida da literatura baseado em: (HAYES e ROMIG, 1977; BHOTE; 1987; ANTONY; BALBONTIN; TANER, 2000; MONTGOMERY, 2004; GRIGG E WALLS, 2007; OAKLAND, 2008; PHYANTHAMILKUMARAN; FERNANDO, 2008; HOERL, SNEE, 2010; MUJTABA; FELDT; PETERSEN, 2011; NOSKIEVICOVA; PAUCHOVA; KELBLEROVA, 2011; AHMED; KHAN; GHOSH, 2012; AHMAD *et. al.*, 2012; MAHANTI e EVANS; 2012; RUPA; EVANS, 2012; LIM E ANTONY, 2013; RANTAMÄKI; TIAINEN; KÄSSI; 2013; GRAÇA; *et. al.*, 2014; LIM; ANTONY; ALBLIWI, 2014; MADANHIRE; MBOHWA, 2014; SHARMA; KHARUB, 2014; SORIANO e OPRIME, 2014). Portanto, até o presente capítulo foi identificada a lacuna teórica que considere as dimensões propostas por Firka (2011), de modo a explicar o relacionamento existente entre os FCS relacionados ao CEP e os benefícios oriundos da utilização eficiente das cartas de controle. A partir deste ponto, busca-se estabelecer um modelo conceitual que explique as relações de causalidade expressas no modelo conceitual.

5.1 Proposições de um modelo teórico-conceitual e constructos de pesquisa

A Figura 5.1 apresenta um modelo conceitual que estratifica em três grupos os fatores denominados aqui de críticos para o sucesso do uso do CEP, que foi denominado ao longo deste texto como FCS.

Figura 5.1 Modelo conceitual com hipóteses de pesquisa



Fonte: Baseado em: ROHANI; YUSOF; MOHAMAD, 2010; FIRKA, 2011.

Para Antony, Balbontin e Taner (2000), os FCS que afetam o uso do CEP podem ser agrupados nas dimensões técnica e gerencial. Por outro lado, o trabalho de Firka (2011) completa esta ideia apresentando a dimensão metodológica como uma terceira dimensão. Conforme recomenda Firka (2011), neste trabalho os fatores críticos para a implantação do CEP são agrupados nas dimensões: estatística, metodológica e gerencial.

Na dimensão Gerencial (1) foram agrupados os fatores críticos de sucesso, que em sua maioria depende de ações da alta administração, tais como: comprometimento da alta administração; treinamento; desenvolver a melhoria contínua; infraestrutura; envolvimento; mecanismo de reconhecimento do sucesso. Estes constructos foram selecionados por caracterizarem a dimensão gerencial e serem os mais recorrentes na literatura.

Já dentro da Dimensão Estatística (2) estão agrupados os FCS que envolvem conceitos, pressupostos e análises estatísticas tais como: seleção correta da carta de controle; conhecimento estatístico sobre o processo; falta de atuação nas causas

de variações; falta de revisão periódica dos limites de controle; cálculo de capacidade do processo; observação dos pressupostos estatísticos; excesso de ajuste no processo; tomar decisões baseado em fatos; critérios para selecionar tamanho e frequência de amostra. Estes constructos foram selecionados por caracterizarem a dimensão estatística e serem os mais recorrentes na literatura.

Dentro da Dimensão Metodológica (3) estão agrupados os FCS relacionados ao uso das cartas de controle que envolve as relações operacionais, tais como: definição de metas de qualidade; avaliação dos custos de implantação; excesso de cartas de controle; uso de piloto na implantação; verificar a eficiência do sistema de medição; não considerar o operador como controlador do processo; controlar características desnecessárias; uso de facilitadores; utilização de pacotes computacionais; conhecer os pressupostos estatísticos relacionados ao CEP. Estes constructos foram selecionados por caracterizarem a dimensão metodológica e serem recorrentes na literatura.

Com relação aos resultados, estes foram baseados e classificados de acordo com o trabalho de Rohani; Yusof e Mohamad (2010). Para estes autores, os resultados obtidos pelo programa CEP podem ser classificados como *soft* e *hard*. Dentro dos benefícios *Hard* (5) estão os efeitos significativos que podem ser diretamente atribuído ao CEP, tais como: auxiliar na compra de equipamento; eficiência do processo; retorno sobre investimento; melhoria na produtividade; redução da variabilidade. Estes constructos foram selecionados por caracterizarem os resultados *Hard*, contribuir para a literatura fornecendo uma melhor compreensão acerca dos fatores condicionantes para serem obtidas e por serem recorrentes na literatura.

Já os benefícios classificados como *Soft* (4) são efeitos indiretos relacionados ao CEP, tais como: satisfação dos clientes; desenvolvimento técnico da equipe; Auxiliar como ferramenta de abordagens de melhoria; melhora na imagem da organização; habilidade de resolver problemas; auxiliar na manutenção; componente importante do sistema de qualidade e motivar a equipe de melhoria. Estes constructos foram selecionados por caracterizarem os resultados *Soft*, contribuir para a literatura fornecendo uma melhor compreensão de fatores condicionantes para serem obtidas e por serem recorrentes na literatura.

5.2 Hipóteses de pesquisas

A partir da figura 5.1, considerando-se que os FCS podem ser estratificados em dimensões conforme recomenda Firka, (2011), três hipóteses são testadas nesse estudo que expressam as relações de condicionalidade entre as dimensões propostas por Firka (2011) e os resultados:

H₁: Existe relação de condicionalidade direta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* como *Hard*.

H₂: Existe relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* quanto *Hard*.

H₃: Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os fatores pertencentes à dimensão Estatística.

5.3 Operacionalização dos constructos de pesquisa e elaboração do questionário

No quadro 5.1 são apresentados os constructos identificados e selecionados nesta tese, de acordo com as dimensões propostas por Firka, (2011), sendo elas: estatística, gerencial e metodológica, além dos resultados *Soft* e *Hard*, classificados assim por Rohani; Yusof; Mohamad (2010). Esses constructos são descritos por meio de um conjunto distinto de variáveis denominadas “Questões de pesquisa”. Sendo assim, a interação entre os constructos estabelece um relacionamento multivariado entre as dimensões pesquisadas.

Quadro 5.1 Constructos de pesquisa

Dimensão	Constructos de pesquisa	Cód. da Questão	Variáveis de pesquisa
Gerencial	1.1 Comprometimento da alta administração	Q40	Deve haver suporte gerencial na condução de ações de melhoria
		Q61	A alta administração deve em geral promover e dar o suporte gerencial em termos de treinamentos, estrutura, e incentivos para o uso do CEP.
	1.3 Treinamento gerencial	Q34	Cursos de aperfeiçoamento na aplicação de ferramentas CEP devem ser realizados regularmente
	1.4 Desenvolver a melhoria contínua	Q26	A alta administração deve liderar regularmente os esforços de melhoria da qualidade
	1.6 Infraestrutura	Q27	A alta administração deve fornecer os recursos adequados para facilitar os esforços do CEP
		Q42	A alta administração deve criar uma estrutura de suporte para o CEP
	1.8 Envolvimento de todos	Q60	A alta administração deve comprar à ideia do CEP e tentar implementá-las
	2.6 Utilizar mecanismo de reconhecimento do sucesso	Q31	A equipe de gestão do CEP deve ser reconhecida pelo seu desempenho na melhoria da qualidade.

Metodológica	1.12 Estipular metas de qualidade	Q29	A alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo.
	1.14 Avaliar os custos de implantação	Q63	Os custos implantação devem ser calculados adequadamente.
	2.10 Não utilizar um excesso de cartas de controle	Q43	Todos os processos/características críticas devem ser controladas pelo CEP.
		Q78	O CEP não deve ser aplicado em todas as características de qualidade. Somente deve ser aplicado quando realmente adequado mesmo sendo uma característica funcional ou de segurança.
	2.12 Uso de piloto na implantação	Q49	Os processos para a implantação do CEP devem ser selecionados corretamente, pois se aplicados incorretamente podem desmotivar os funcionários.
	2.14 Verificar a eficiência do sistema de medição	Q41	Análise de repetibilidade e reprodutibilidade (GR & R) deve ser feito antes de realizar as atividades do CEP.
	2.7 Não considerar o operador como controlador do processo	Q32	Treinamentos básicos em CEP devem ser dados aos trabalhadores diretamente ligados à produção.
		Q44	Os resultados do CEP devem ser discutidos entre os funcionários.
	2.8 Controlar apenas características desnecessárias	Q38	O CEP deve ser aplicado somente em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos.
		Q39	É o cliente que decide sobre qual parâmetro do produto / processo deve ser monitorado.
	2.9 Facilitadores	Q28	Os problemas de qualidade devem ser analisados em reuniões com os grupos de gestão do CEP
		Q30	Os grupos de melhoria devem ser constituídos por equipes multifuncionais que se reúnem regularmente.
		Q45	Os procedimentos do CEP devem ser aplicados por equipes de melhoria, tais como: círculos de controle de qualidade, grupo <i>kaizen</i> e etc.
3.2 Utilização de pacotes computacionais	Q37	Devem ser utilizados pacotes computacionais na condução das atividades do CEP tais como: <i>Minitab</i> , <i>Statistica</i> , <i>Statgraphics</i> , <i>Excel</i> .	
3.3 Conhecer os conceitos estatísticos relacionados ao CEP	Q33	Os conhecimentos adquiridos sobre CEP nos treinamentos devem ser aplicados imediatamente após o treinamento.	
Estatística	2.15 Seleção correta da carta de controle	Q35	Gráficos de controle adequados devem ser usados para monitorar a estabilidade do processo.
	2.16 Falta de conhecimento estatístico sobre o processo	Q65	Em geral as empresas analisam cuidadosamente os processos onde as cartas de controle são mais adequadas para seu uso.
	2.17 Falta de atuação nas causas de variações	Q36	Sempre que o processo está fora de controle, as causas especiais devem ser identificadas e removidas imediatamente.
	3.11 Falta de revisão periódica dos limites de controle	Q47	Os limites de controle devem ser revisados periodicamente.

	3.13 Cálculo de capacidade do processo	Q48	Devem ser calculados os índices de capacidade e capabilidade do processo (cp, pp, cpk, ppk).
	3.5 Observação dos pressupostos estatísticos	Q62	Em geral as pessoas envolvidas com o CEP tem domínio adequado dos métodos estatísticos.
	3.6 Excesso de ajuste no processo	Q79	A significância prática deve ser considerada na tomada de decisão sobre o processo. Por exemplo, uma causa especial identificada na carta pode não ser economicamente viável para uma tomada de ação.
	3.7 Tomar decisões baseado em fatos	Q64	Devem ser tomadas ações com base nas cartas de controle.
	3.9 Utilizar critérios para selecionar tamanho e frequência de amostra	Q46	Devem ser observados todos os pressupostos estatísticos (tamanho amostral, normalidade, dentre outros) no uso das cartas de controle.
Sof	4.1 Satisfação dos clientes	Q50	O CEP aumenta substancialmente a satisfação dos clientes
	4.10 Desenvolvimento técnico da equipe	Q68	O CEP tem contribuído para o aprimoramento técnico das pessoas
	4.11 Ferramenta de abordagens de melhoria	Q54	O CEP é parte importante do Lean Manufacturing
		Q70	O CEP tem contribuído para o sucesso de programas como o TPM, <i>kaizen</i> e Seis Sigma
	4.5 Melhora na imagem da organização	Q52	O CEP trouxe melhoria na imagem da empresa
		Q80	O CEP traz melhoria na imagem da empresa junto aos clientes
	4.6 Habilidade de resolver problemas	Q51	O CEP aprimora a capacidade de estudo de problema
	4.7 Auxiliar na manutenção	Q53	O CEP é parte importante do TPM
	4.8 Componente do sistema de qualidade	Q59	O CEP é parte importante da ISO 9000
4.9 Motivação da equipe de melhoria	Q67	As empresas que utilizam o CEP têm profissionais mais motivados	
Hard	5.1 Auxiliar na compra de equipamento	Q56	O CEP contribui na decisão sobre compra de equipamento
	5.2 Eficiência do processo	Q55	O CEP contribui para a redução da variabilidade do processo
		Q57	A velocidade de entrega do produto tem melhorado ao longo dos últimos anos
	5.3 Retorno sobre investimento	Q58	O Programa CEP traz o retorno financeiro esperado
	5.4 Melhoria na produtividade	Q66	As empresas que usam o CEP têm percebido impactos positivos na redução de defeitos e ganhos de produtividade
5.5 Redução da variabilidade	Q69	O CEP tem contribuído para o desempenho de campo dos produtos	

Fonte: Próprio autor

5.4 Caracterização da população de interesse e construção do instrumento de pesquisa

Para atingir o objetivo proposto, é necessário organizar e analisar a opinião dos especialistas na implantação e manutenção do CEP na indústria brasileira de autopeças. Neste sentido, a experiência profissional dos entrevistados e respondentes confirmará ou não as hipóteses de pesquisa apresentadas nesta tese. As questões utilizadas neste *survey* destinam-se a testar as hipóteses de pesquisa.

Assim, as questões presentes no instrumento de pesquisa medem diretamente o julgamento da importância de práticas relacionadas aos FCS, bem como os benefícios obtidos pelo programa, desta forma será possível por meio de análises estatísticas, estabelecerem o relacionamento existente entre os FCS e resultados obtidos com o programa CEP.

Um fator importante considerado por este trabalho, refere-se à questão do custo-benefício para a seleção do procedimento de coleta *online* de dados, sendo satisfatório pelos motivos apresentados a seguir.

Relatos na literatura apontam para um crescimento do uso de ferramenta *online* como um instrumento para coleta de dados para a realização de pesquisas científicas. Esta ferramenta traz como vantagem a obtenção de uma quantidade maior de respondentes devido às facilidades tecnológicas oferecidas de preenchimento armazenamento e tabulação de dados (FORZA, 2002; CAUCHIK-MIGUEL, 2010). Na tentativa de usufruir destas vantagens, selecionou-se como instrumento para coleta de dados o serviço gratuito de uma empresa especializada na coleta de opiniões.

Outra facilidade fornecida pela empresa prestadora do serviço consiste em restringir as respostas a apenas um respondente por computador. Desta forma é possível que apenas os usuários selecionados respondam ao questionário, não permitindo que outros profissionais utilizem o sistema de questionário.

Esta ferramenta permite que os dados dos respondentes dos questionários sejam tabulados de forma a serem utilizados nos principais pacotes computacionais selecionados para análise dos resultados, tais como o *Statistica* versão 10 e o *Microsoft Excel*. O instrumento para coleta de dados foi estruturado com questões fechadas em escala *likert* de cinco pontos de fácil resposta e compilação dos resultados, e com orientação para o preenchimento, disponível no Apêndice B.

Os respondentes foram convidados a participar desta pesquisa por meio de ligações telefônicas para as empresas manufatureiras cadastradas no “GUIA SETORIAL DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA” e, assim, estabelecer um contato com o responsável pela gestão do CEP dessas empresas. Estabelecido o contato telefônico, o respondente foi informado dos objetivos da pesquisa e submetido um e-mail de apresentação das intenções da pesquisa, contato caso tenha alguma dúvida, declaração de caráter de confidencialidade dos resultados e um *link* de acesso ao questionário eletrônico disponível no seguinte endereço eletrônico: https://docs.google.com/forms/d/1rDfQOmn37vsiHi58g7IPD3uvee0_NYB9hx9xp87TOpc/viewform?usp=send_form.

O prazo limite pra o recebimento do questionário foi de um mês. Depois deste período, um novo contato foi realizado com a empresa na tentativa de completar os questionários com respostas faltantes dentro de um mês. Terminado este período, foi realizada a análise crítica dos dados para verificar a qualidade dos dados coletados e ajustes, como a atribuição aos dados faltantes, totalizando três meses.

5.5 Validação conceitual do questionário

A validação do questionário ocorreu por meio de um teste piloto utilizando-se 37 respondentes a fim de assegurar a qualidade dos dados gerados na aplicação do questionário, conforme recomenda Forza (2002). Foi solicitado a cinco pesquisadores do GEPEQ – UFSCar, sendo estes alunos de doutorado do programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, que verificassem se o questionário cumpre os objetivos do estudo no que diz respeito à funcionalidade do mesmo, para evitar problemas no preenchimento e envio dos questionários, além de correções gramaticais, também conforme recomendado por Forza (2002).

Depois de corrigidos alguns erros de ortografia e a realização de mudanças no *layout* do questionário, tais como espaçamentos, cores e tamanho das fontes foi realizada uma validação com os especialistas industriais, em uma tentativa de excluir perguntas óbvias.

Foram consultados quatro especialistas industriais com experiência de 20 anos na coordenação e gerenciamento das atividades do CEP, em duas empresas do segmento de autopeças da região de Campinas, no interior de São Paulo. O questionário foi apresentado na forma de página da *web* de forma presencial e individual. A respeito

de cada pergunta do questionário, os especialistas realizaram comentários que foram devidamente anotados, analisados e confrontados em suas opiniões.

No final desta fase, algumas questões foram excluídas, tais como: faturamento da empresa, número de empregados, função desempenhada pelo entrevistado, pois segundo os especialistas, estas questões poderiam ser desconhecidas e irrelevantes para o objetivo do trabalho. Pela função desempenhada pelo entrevistado ser conhecida mediante contato telefônico, essa questão também foi excluída e outras foram reescritas para se adequar a termos e jargões técnicos utilizados na empresa, para uma melhor compreensão pelos respondentes.

5.6 População e propriedades da amostra

Antes da apresentação dos procedimentos de seleção dos indivíduos na amostra, são apresentados alguns conceitos, como apoio às decisões do procedimento amostral, utilizados para garantir a representatividade da população de interesse, considerando-se que os dados coletados consistem em várias observações sobre um conjunto de variáveis de interesse, tanto qualitativas como quantitativas.

O estabelecimento das relações entre os constructos selecionados nesta tese se prescreve a experiência e maturidade dos entrevistados na implantação do CEP para a condução dos trabalhos. Considera-se que há setores que aplicam de modo mais intensivo essa técnica, neste caso, há forte evidência da demanda de engenheiros especializados em métodos estatísticos pela indústria autopeças.

Para se tornar fornecedor da indústria automobilista é exigido do interessado que o mesmo reúna condições necessárias para garantir a conformidade dos itens produzidos. Em termos práticos, os fornecedores devem comprovar sua idoneidade em atender às especificações da montadora. Isto pode ser obtido por meio de um eficiente controle sobre o processo produtivo conforme prescrito na certificação ISO TS 16949. Desta forma, será considerado neste estudo empresas de autopeças com pelo menos uma das seguintes certificações ISO9000 e ISO/TS 16949; e com experiência comprovada do respondente na aplicação do CEP.

Foram selecionados como objeto de estudo as empresas do setor de autopeças das principais indústrias montadoras de veículos com certificação ISO 9000, ISO/TS 16949. Já o público alvo das entrevistas deste trabalho são: os gestores do programa CEP destas empresas, que atuem por mais de um (1) ano nesta função.

Para isso, foi utilizada como base de dados o Guia Oficial dos Fabricantes de Autopeças Brasileiros 2014. Este guia é uma publicação do Sindipeças (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores) em parceria com a APEX-Brasil (Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos, responsável pela implantação e execução das políticas de promoção de exportações e de investimentos do Governo Brasileiro) (ANFAVEA, 2014). Este Guia está disponível para *download* pelo seguinte endereço eletrônico: <http://www.autodata.com.br/paginas/19508/brazilian-automotive-guide-2014>

Foram identificados neste guia cerca de 500 fornecedores da indústria automobilística. A partir dessa base de dados, outra base foi elaborada contendo informações de empresas de manufatura: nome da empresa, nome do funcionário responsável pela Gestão do CEP na empresa, seu e-mail e telefone de contato. Ao final foi consolidado um banco de dados contendo 176 contatos de profissionais que atuam como gestores no programa CEP das empresas fornecedoras da cadeia automobilística.

Destes contatos, devido à resistência dos possíveis respondentes em participar da pesquisa limitou-se o envio, via eletrônica, para 98 respondentes fornecedores do segmento de autopeças.

Ao final da fase de coleta de dados foram recebidos 43 questionários respondidos, sendo um questionário por empresa. Critérios para inclusão de um indivíduo na amostra foram definidos. Em primeiro lugar, consideraram-se apenas empresas que utilizam o CEP por mais de um ano. Assim, seis questionários respondidos foram eliminados, resultando em 37 válidos para a continuidade da pesquisa.

Tabela 5. 1 Resumo dos questionários enviados

Quantidade de fornecedores cadastrados no Guia Oficial dos Fabricantes de Autopeças Brasileiros (2014)	500
População identificada (Empresas manufatureiras que utilizam o CEP)	176
Amostra	98
Questionários respondidos	43
Questionários utilizados	37
Taxa de retorno	44%
Taxa de retorno para os questionários válidos	38%

Fonte: Próprio autor

5.7 Validação estatística do questionário

O software *Statistica 9* apresenta uma ferramenta específica para a validade estatística dos constructos por meio do Alfa de *Cronbach*, que, segundo estimativas conservadoras, para que os constructos do questionário sejam considerados válidos, esse valor deve ser superior a 0,7 (HAIR *et. al.*2010). Esta ferramenta possibilita obter o valor do alfa esperado mediante a exclusão de questões para medir a validade interna do questionário. Os resultados desta análise não apontaram para a necessidade de se excluir qualquer questão.

Segundo Forza (2002), esse teste é o mais usado como indicador de confiabilidade da escala em pesquisas *survey* na área de gestão de operações e cita que para o desenvolvimento de medidas pode ser aceito um valor $\geq 0,6$. O teste de confiabilidade realizado com os 43 respondentes no questionário, mostrado no APÊNDICE-A desta tese, teve um valor de alfa de *conbrach* igual a 0,908.

Antes de iniciar a análise dos dados coletados foi realizada a análise do alfa de *Cronbach* considerando os 37 casos válidos. Na Tabela 5.2 são apresentados os valores de alfa *Cronbach* para cada uma dos cinco constructos analisados e identificados na revisão de literatura, que são considerados nesta fase.

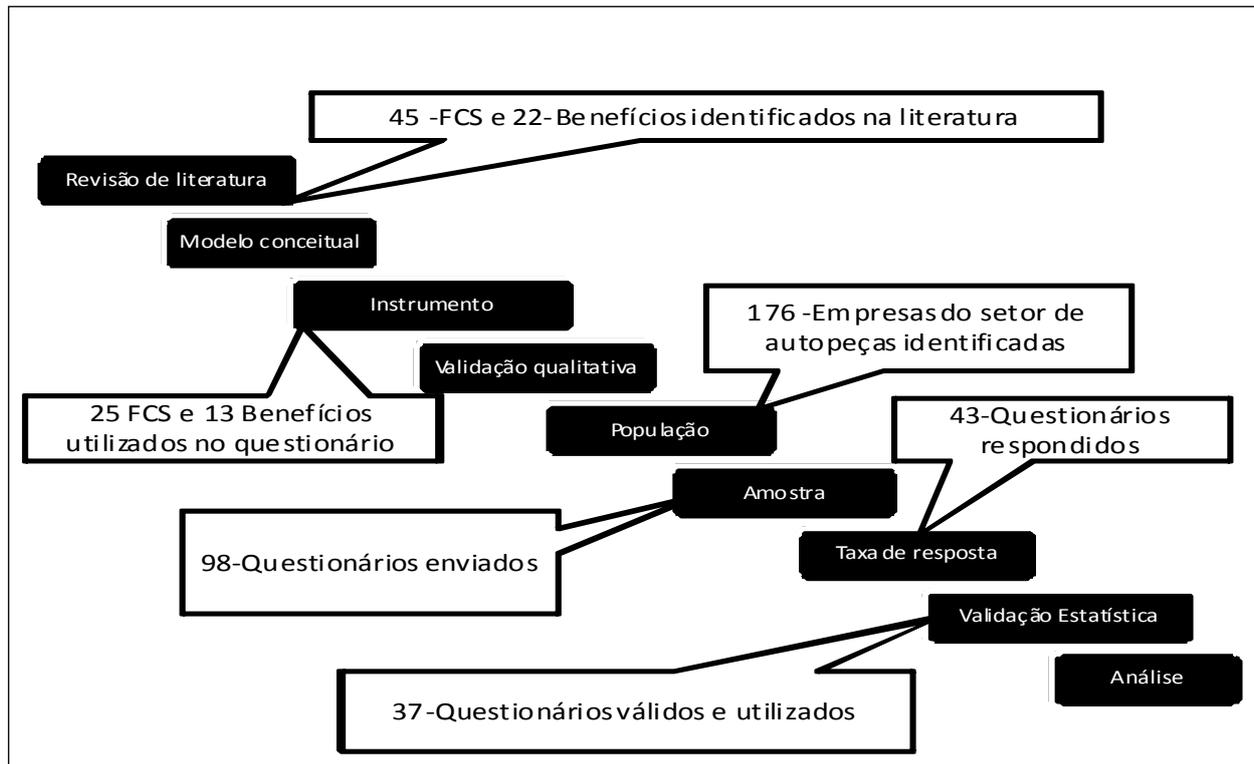
Tabela 5. 2 Alfa de Cronbach dos constructos investigados pelo instrumento de pesquisa

Constructos	Número de Variáveis	Alfa de Cronbach
Dimensão Gerencial	08	0,75
Dimensão Metodológica	15	0,77
Dimensão Estatística	09	0,73
Resultado <i>Soft</i>	10	0,82
Resultado <i>Hard</i>	06	0,68

Fonte: Elaborado pelo autor

Para as cinco dimensões investigadas, o alfa de *Cronbach* foi superior a 0,68 indicando que a covariância esperada entre as variáveis intra-constructo é no mínimo aceitável. Assim, o uso de análises multivariadas é pertinente. Para Hair *et. al.* (2010), alfa de *Cronbach* acima de 0,6 já indica uma associação moderada entre as variáveis que medem um mesmo constructo. De acordo com Forza (2002), valores superiores a 0,8 caracterizam a medida como muito confiável. Desta forma, é possível concluir que o instrumento utilizado nesta pesquisa é confiável o suficiente para prosseguir com as análises dos dados. A Figura 5.2 apresenta uma síntese das etapas do método de pesquisa utilizado nesta tese.

Figura 5. 2 Sequencia das etapas de pesquisa utilizada nesta tese



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

6 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO POR AMOSTRAGEM

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa delineada, cujos detalhes metodológicos de análise foram apresentados nos capítulos anteriores. Nos itens a seguir são descritas as análises realizadas nos questionários válidos, sendo que os dados referentes aos questionários respondidos estão tabulados e disponibilizados para consulta no Apêndice B. A Tabela 6.1 explicita as características dos indivíduos considerados na amostra. Observa-se que a maioria dos entrevistados tem mais de oito anos de experiência profissional em CEP.

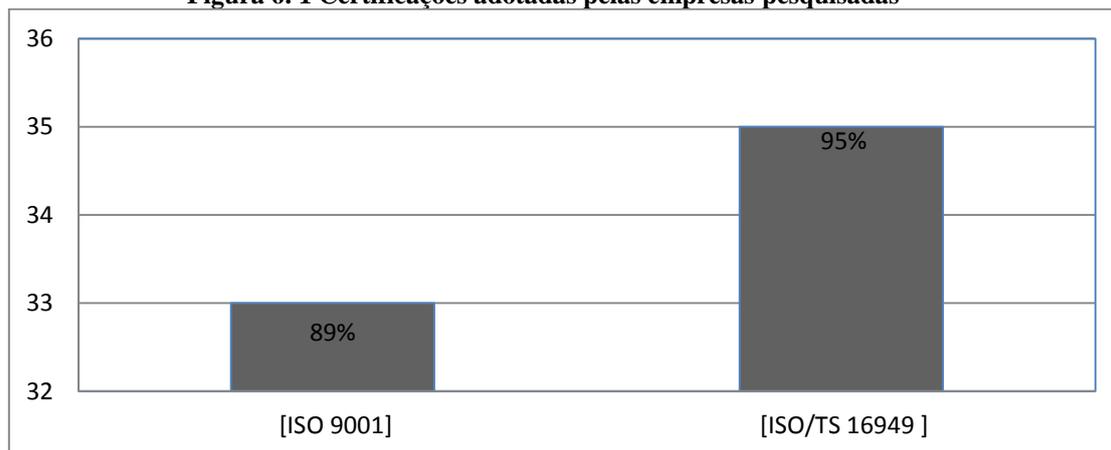
Tabela 6. 1 Experiência dos entrevistados com CEP

Tempo de experiência do entrevistado em anos	Entrevistados	Soma acumulada	% dos casos	% dos casos acumulados
1-2	6	6	16,2	16,2
2-4	4	10	10,8	27,0
4-6	2	12	5,4	32,4
6-8	3	15	8,1	40,5
>8	22	37	59,5	100

Fonte: Elaborado pelo autor

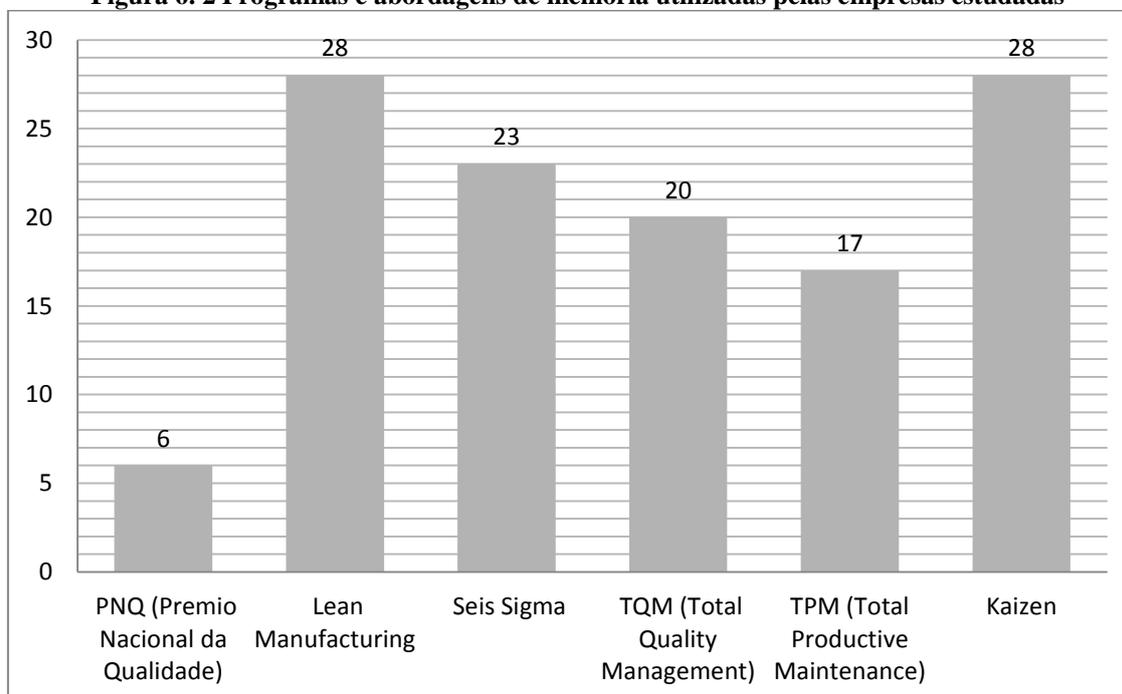
6.1 Caracterização da amostra de pesquisa

As características pré-determinadas em termos de experiência profissional avaliada em anos de profissionais que atuam com CEP e segmento de atuação da empresa específico (autopeças), definiram os indivíduos que podem fazer parte da amostra. A figura 6.1 mostra que os indivíduos pertencentes a mostra têm experiência na ISO9001 e ISO/TS 16949. Isto, em tese, confirma a experiência dos respondentes em lidar com as exigências normativas das cartas de controle.

Figura 6.1 Certificações adotadas pelas empresas pesquisadas

Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira correlata, na tentativa de demonstrar a experiência dos entrevistados com a aplicação das cartas de controle, verificou-se quais programas de melhoria foram ou são utilizados pelas empresas nas quais os entrevistados atuam. Neste sentido, a adoção de programas de melhoria da qualidade, tais como Seis Sigma, TPM, Lean e PNQ, preconizam o uso das ferramentas CEP. Na figura 6.2 é possível visualizar os programas de melhoria utilizados pelas empresas pesquisadas.

Figura 6.2 Programas e abordagens de melhoria utilizadas pelas empresas estudadas

Fonte: Elaborado pelo autor

Baseados nos resultados apresentados nas figuras 6.1 e 6.2 pode-se concluir que as empresas por meio de seus gestores do programa CEP apresentam

experiências na condução de suas atividades CEP. Partindo do ponto em que todas as empresas estudadas apresentam experiência na condução das atividades do CEP, ainda é necessário detalhar o uso das cartas de controle pelas empresas. Esse tipo de análise possibilita entender se os entrevistados estão aplicando as cartas de controle e técnicas de inspeção.

A tabela 6.2 mostra a intensidade com que as principais cartas de controle e técnicas de inspeção são utilizadas pelas empresas nas quais os entrevistados trabalha sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas $\sum N$ (somatório das categorias 01 e 02) e $\sum P$ (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03. Os respondentes tinham como opção de resposta: 01-Raramente usada, 02-Pouco aplicada, 03-Aplicada, 04 Bastante aplicada, 05-Intensivamente aplicada.

Tabela 6. 2 Ferramentas utilizadas pelas empresas segundo os entrevistados

Cód Quest.	Variável	$\sum N$	% de respostas por categorias					$\sum P$
			01	02	03	04	05	
Q14	Carta de controle por atributo (p, np, c, u).	62,1	32,4	29,7	29,7	2,7	5,4	8,1
Q15	Carta de controle por variáveis (x-bar and R, x-bar and s).	24,3	10,8	13,5	35,1	16,2	24,3	40,5
Q16	Gráfico de controle de soma acumulada (CUSUM)	73	62,2	10,8	13,5	8,1	5,4	13,5
Q17	Gráfico de controle de médias móveis exponencialmente ponderadas (EWMA)	73	54,1	18,9	18,9	5,4	2,7	8,1
Q18	Gráficos de controle multivariados	72,9	43,2	29,7	8,1	13,5	5,4	18,9
Q19	Gráfico de controle individual de Shewhart	81	45,9	35,1	10,8	5,4	2,7	8,1
Q20	Gráfico de controle pequenos lotes	64,8	35,1	29,7	18,9	10,8	5,4	16,2
Q21	Estudo de capacidade do processo (Cp, Cpk, Pp, Ppk).	5,4	0,0	5,4	32,4	21,6	40,5	62,1
Q22	Análise do sistema de medição Repetibilidade & Reprodutibilidade (GR&R)	8,1	2,7	5,4	29,7	24,3	37,8	62,1
Q23	Amostragem por aceitação lote a lote	29,7	18,9	10,8	29,7	16,2	24,3	40,5
Q24	Amostragem contínua	27	16,2	10,8	27,0	24,3	21,6	45,9
Q25	Plano de amostragem Skip-Lot	40,5	13,5	27,0	24,3	13,5	21,6	35,1

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados apresentados na tabela 6.2 demonstram uma tendência das empresas em utilizar ferramentas básicas para controle de processo em uma clara correlação ao sistema de produção seriado. Observa-se também o uso intensivo das cartas de controle por variáveis, bem como o uso da análise da capacidade de processo (Cp/Cpk) e da análise do sistema de medição. O que é coerente, pois o método de aplicação das cartas de controle presume que o sistema de medição seja adequado, e o

indicador do desempenho do processo em termos de qualidade é avaliado pelos índices de capacidade.

Também é possível observar que as empresas pesquisadas fazem uso de técnicas de amostragem para controlar as características de qualidade dos itens produzidos. O que contrasta com literatura da área, que incentiva à adoção de técnicas para controle de processo ao invés das inspeções. Essa é mais uma das contradições entre a teoria e prática industrial. Portanto, esses resultados divergem da teoria e necessitam serem investigados os motivos.

Em parte, os resultados apresentados no parágrafo anterior podem estar relacionados às fontes de informação utilizadas pelas empresas para desenvolverem as atividades do seu programa CEP. Neste sentido, a tabela 6.3 mostra quais são as fontes de informação mais acessadas pelos entrevistados nesta pesquisa sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas $\sum N$ (somatório das categorias 01 e 02) e $\sum P$ (somatório das categorias 03 e 04). Os respondentes tinham como opção de resposta: 01-Nunca acessada, 02-Raramente acessada, 03-Entualmente acessada, 04-Frequentemente acessada.

Tabela 6. 3 Acesso a fonte de informações sobre CEP.

Cód. Quest	Fonte de informação	$\sum N$	% de respostas por categorias				$\sum P$
			01	02	04	05	
Q72	Revistas científicas internacionais	64,8	24,3	40,5	35,1	0,0	35,2
Q73	Revistas científicas nacionais (Gestão & Produção, Produção, Produção <i>on line</i>).	40,5	8,1	32,4	48,6	10,8	59,5
Q74	Revistas científicas (Banas qualidade)	45,9	8,1	37,8	54,1	0,0	54,1
Q75	Sites da internet	2,7	0,0	2,7	51,4	45,9	97,3
Q76	Aquisição do serviço de consultorias especializadas	35,1	10,8	24,3	40,5	24,3	64,8
Q77	Cursos e treinamentos específicos	16,3	2,7	13,5	45,9	37,8	83,7

Fonte: Elaborado pelo autor

Constata-se que as revistas científicas não são utilizadas como fonte de informação tão intensivamente quanto os sites de internet pelos indivíduos que trabalham com o CEP. As principais fontes de informação sobre CEP são os cursos de treinamentos e *sites* de internet e aquisição de serviços de consultorias especializadas são bem utilizadas pelas empresas. Em relação a publicações em periódicos observa-se que revistas com menor exigência editorial são mais acessadas que revistas com corpo editorial. Isto evidencia que as revistas técnicas com corpo editorial não atende às expectativas dos usuários do CEP. Portanto, conclui-se que existe uma tendência a

respeito do conhecimento gerado pela academia e publicado por revistas indexadas não ser instantaneamente adotados pela maioria dos praticantes do CEP na indústria.

6.2 Análise descritiva das dimensões

O objetivo desta análise é conhecer como a população pesquisada se distribuiu nas questões propostas no instrumento de coleta de dados. A primeira análise é em relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação do CEP, referente à Dimensão Gerencial. Os respondentes tinham como opção de resposta: “Desprezível-01”; “Muito pouco importante-02”, “Indiferente-03”, “Importante-04” e “Muito importante-05”. A Tabela 6.4 contém os resultados obtidos sobre a Dimensão Gerencial sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas $\sum N$ (somatório das categorias 01 e 02) e $\sum P$ (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03.

Tabela 6. 4 Análise descritiva da Dimensão Gerencial

Código da Questão	Questões de pesquisa - Dimensão Gerencial	$\sum N$	% de respostas por categorias					$\sum P$
			01	02	03	04	05	
Q26	A alta administração deve liderar regularmente os esforços de melhoria da qualidade	5,4	0,0	5,4	0,0	35,1	59,5	94,6
Q27	A alta administração deve fornecer os recursos adequados para facilitar os esforços do CEP	2,7	0,0	2,7	0,0	37,8	59,5	97,3
Q31	A equipe de gestão do CEP deve ser reconhecida pelo seu desempenho na melhoria da qualidade.	2,7	0,0	2,7	0,0	56,8	40,5	97,3
Q34	Cursos de aperfeiçoamento na aplicação de ferramentas CEP devem ser realizadas regularmente	0,0	0,0	0,0	10,8	62,2	27,0	89,2
Q40	Deve haver suporte gerencial na condução de ações de melhoria	0,0	0,0	0,0	8,1	35,1	56,8	91,9
Q42	A alta administração deve criar uma estrutura de suporte para o CEP	2,7	0,0	2,7	13,5	51,4	32,4	83,8
Q60	A alta administração deve comprar à ideia do CEP e tentar implementá-las	27	2,7	24,3	18,9	43,2	10,8	54
Q61	A alta administração deve em geral promover e dar o suporte gerencial em termos de treinamentos, estrutura, e incentivos para o uso do CEP.	18,9	2,7	16,2	24,3	40,5	16,2	56,7

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação a esses dados da tabela 6.4 observa-se que as opiniões dos entrevistados correspondem às recomendações da literatura. Entretanto, nota-se que há uma tendência por parte do entrevistado em acreditar que o apoio da alta administração

deveria ser maior no que diz respeito á infraestrutura e a eficiência do programa CEP. As demais variáveis analisadas demonstram aderência à literatura estudada.

A segunda análise dos fatores críticos de sucesso para a implantação do CEP é referente à Dimensão Metodológica. Os respondentes tinham como opção de resposta: “Desprezível-01”; “Muito pouco importante-02”, “Indiferente-03”, “Importante-04” e “Muito importante-05”. A Tabela 6.5 contém os resultados obtidos sobre a Dimensão Metodológica sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas $\sum N$ (somatório das categorias 01 e 02) e $\sum P$ (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03.

Tabela 6. 5 Análise descritiva da Dimensão Metodológica

Cód. Quest.	Questões de pesquisa - Dimensão Metodológica	$\sum N$	% de respostas por categorias					$\sum P$
			01	02	03	04	05	
Q29	A alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo.	0,0	0,0	0,0	5,4	40,5	54,1	94,6
Q28	Os problemas de qualidade devem ser analisados em reuniões com grupos de gestão do CEP	0,0	0,0	0,0	10,8	51,4	37,8	89,2
Q30	Os grupos de melhoria devem ser constituídos por equipes multifuncionais que se reúnem regularmente.	2,7	0,0	2,7	0,0	32,4	64,9	97,3
Q32	Treinamentos básicos em CEP devem ser dados aos trabalhadores diretamente ligados à produção.	2,7	0,0	2,7	2,7	37,8	56,8	94,6
Q33	Os conhecimentos adquiridos sobre CEP nos treinamentos devem ser aplicados imediatamente após o treinamento.	0	0,0	0,0	8,1	54,1	37,8	91,9
Q37	Devem ser utilizados pacotes computacionais na condução das atividades do CEP tais como: <i>Minitab, Statistica, Statgraphics, Excel.</i>	0	0,0	0,0	32,4	35,1	32,4	67,5
Q38	O CEP deve ser aplicado somente em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos.	2,7	2,7	0,0	40,5	29,7	27,0	56,7
Q39	É o cliente que decide sobre qual parâmetro do produto / processo deve ser monitorado.	13,5	2,7	10,8	37,8	37,8	10,8	48,6
Q41	Análise de repetibilidade e reprodutibilidade (GR & R) deve ser feito antes de realizar as atividades do CEP.	0	0,0	0,0	21,6	35,1	43,2	78,3
Q43	Todos os processos/características críticas devem ser controladas pelo CEP.	18,9	10,8	8,1	10,8	43,2	27,0	70,2
Q44	Os resultados do CEP devem ser discutidos entre os funcionários.	0	0,0	0,0	2,7	64,9	32,4	97,3
Q45	Os procedimentos do CEP devem ser aplicados por equipes de melhoria, tais como: círculos de controle de qualidade, grupo <i>kaizen</i> e etc.	2,7	0,0	2,7	8,1	59,5	29,7	89,2
Q49	Os processos para a implantação do CEP devem ser selecionados corretamente, pois	0	0,0	0,0	16,2	51,4	32,4	83,8

	se aplicados incorretamente podem desmotivar os funcionários.							
Q63	Os custos implantação devem ser calculados.	37,8	2,7	35,1	21,6	29,7	10,8	40,5
Q78	O CEP deve ser aplicado em todas as características de qualidade. Somente deve ser aplicado quando realmente adequado mesmo sendo uma característica funcional ou de segurança.	13,5	8,1	5,4	16,2	45,9	24,3	70,2

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação aos fatores críticos relacionados à Dimensão Metodológica, contrariando as recomendações da literatura, observa-se que 32,4% dos entrevistados consideram indiferente o uso de pacotes computacionais para realizar seus trabalhos.

Para 37% dos entrevistados, o cliente é que decide sobre qual parâmetro do produto/processo deve ser monitorado. Embora alguns clientes determinassem quais características devam ser monitoradas, cabe à empresa fornecedora discutir este fato com seus clientes para evitar o excesso de cartas de controle proveniente de várias características a serem controladas. Por outro lado, à empresa fornecedora deve elencar quais características ele considera importante para que estas sejam monitoradas de forma eficiente, evitando assim o excesso de cartas de controle.

Observa-se ainda que para 35,1% dos entrevistados os custos de implantação têm pouca importância de serem calculados. Sobre este assunto a literatura estudada é omissa. Entretanto, como todo programa de melhoria, é importante avaliar os custos que estão envolvidos para o sucesso do programa. Os demais constructos analisados demonstram aderência à literatura estudada.

A terceira análise com relação aos fatores críticos de sucesso para a implantação do CEP é referente à Dimensão Estatística. Os respondentes tinham como opção de resposta: “Desprezível-01”; “Muito pouco importante-02”, “Indiferente-03”, “Importante-04” e “Muito importante-05”. A Tabela 6.7 contém os resultados obtidos sobre a Dimensão Estatística sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas $\sum N$ (somatório das categorias 01 e 02) e $\sum P$ (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03.

Tabela 6. 6 Análise descritiva da Dimensão Estatística

Cód. Questão	Questões de pesquisa - Dimensão Estatística	ΣN	% de respostas por categorias					ΣP
			01	02	03	04	05	
Q35	Gráficos de controle adequados devem ser usados para monitorar a estabilidade do processo.	0,0	0,0	0,0	2,7	43,2	54,1	97,3
Q36	Sempre que o processo está fora de controle, as causas especiais devem ser identificadas e removidas imediatamente.	0,0	0,0	0,0	8,1	29,7	62,2	91,9
Q46	Devem ser observados todos os pressupostos estatísticos (tamanho amostral, normalidade, dentre outros) no uso das cartas de controle.	0,0	0,0	0,0	2,7	56,8	40,5	97,3
Q47	Os limites de controle devem ser revisados periodicamente.	5,4	0,0	5,4	8,1	45,9	40,5	97,3
Q48	Devem ser calculados os índices de capacidade e capacidade do processo (cp, pp, cpk, ppk).	2,7	0,0	2,7	2,7	37,8	56,8	94,6
Q62	Em geral as pessoas envolvidas com o CEP tem domínio adequado dos métodos estatísticos.	51,3	8,1	43,2	5,4	35,1	8,1	43,2
Q64	Devem ser tomadas ações com base nas cartas de controle.	16,2	2,7	13,5	8,1	51,4	24,3	75,7
Q65	Em geral as empresas analisam cuidadosamente os processos onde as cartas de controle são mais adequadas para seu uso.	40,5	5,4	35,1	8,1	43,2	8,1	51,3
Q79	A significância prática deve ser considerada na tomada de decisão sobre o processo. Por exemplo, uma causa especial identificada na carta pode não ser economicamente viável para uma tomada de ação.	5,4	0,0	5,4	10,8	62,2	21,6	83,8

Fonte: Elaborado pela autor

Baseado tabela 6.6, pode-se concluir que, para uma parcela significativa dos entrevistados, as pessoas envolvidas com o CEP não têm domínio adequado dos métodos estatísticos e que as empresas não analisam cuidadosamente os processos onde as cartas de controle tem uso adequado. Estas constatações baseadas nas opiniões dos entrevistados demonstram a necessidade de aumentar os conhecimentos dos praticantes do CEP com relação aos aspectos estatísticos envolvidos e aplicação das técnicas. As demais variáveis analisadas demonstram aderência à literatura estudada.

A primeira análise com relação aos benefícios obtidos pelo programa CEP nas empresas estudadas, referente aos benefícios *Soft* são mostrados na tabela 6.7. Os respondentes tinham como opção de resposta: “01-Impacta negativamente”, “02-Não Impacta”, “03-Indiferente”, “04-Impactante”, “05-Impacto muito alto” sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas ΣN (somatório das

categorias 01 e 02) e ΣP (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03.

Tabela 6. 7 Análise descritiva dos Resultados *Soft*

Código da questão	Questões de pesquisa - Resultados <i>Soft</i>	ΣN	% de respostas por categorias					ΣP
			01	02	03	04	05	
Q50	O CEP aumenta substancialmente a satisfação dos clientes	2,7	0,0	2,7	5,4	54,1	37,8	92,6
Q51	O CEP aprimora a capacidade de estudo de problema	0,0	0,0	0,0	5,4	59,5	35,1	94,6
Q52	O CEP trouxe melhoria na imagem da empresa	5,4	0,0	5,4	32,4	43,2	18,9	62,1
Q53	O CEP é parte importante do TPM	5,4	0,0	5,4	24,3	51,4	18,9	70,3
Q54	O CEP é parte importante do Lean Manufacturing	2,7	0,0	2,7	21,6	62,2	13,5	75,7
Q59	O CEP é parte importante da ISO 9000	2,7	0,0	2,7	18,9	51,4	27,0	78,4
Q67	As empresas que utilizam o CEP têm profissionais mais motivados	18,9	10,8	8,1	45,9	32,4	2,7	35,1
Q68	O CEP tem contribuído para o aprimoramento técnico das pessoas	5,4	2,7	2,7	13,5	70,3	10,8	81,1
Q70	O CEP tem contribuído para o sucesso de programas como o TPM, <i>kaizen</i> e Seis Sigma	8,1	2,7	5,4	13,5	59,5	18,9	78,4
Q80	O CEP traz melhoria na imagem da empresa junto aos clientes	2,7	2,7	0,0	18,9	45,9	32,4	78,3

Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira geral, na opinião dos entrevistados, os resultados mostrados na tabela 6.7 correspondem aos resultados descritos na literatura. Entretanto nota-se que o programa CEP impacta nos resultados, contribuindo para o sucesso de outros programas de melhoria de forma coadjuvante. Conclui-se assim que o CEP impacta positivamente nos resultados *Soft* embora tenha sido desenvolvido para atingir os resultados *Hard*.

A segunda análise com relação aos resultados obtidos pelo programa CEP nas empresas estudadas é referente aos benefícios *Hard*. Os respondentes tinham como opção de resposta: “01-Impacta negativamente”, “02-Não Impacta”, “03-Indiferente”, “04-Impactante”, “05-Impacto muito alto”. A Tabela 6.8 contém os resultados obtidos a respeito dos constructos da dimensão *Hard* sendo que é possível observar uma tendência das respostas por meio das colunas ΣN (somatório das categorias 01 e 02) e ΣP (somatório das categorias 04 e 05) Já a Neutralidade pode ser observada na categoria 03.

Tabela 6. 8 Análise descritiva dos resultados *Hard*

Código da questão	Questões de pesquisa - Dimensão <i>Hard</i>	ΣN	% de respostas por categorias					ΣP
			01	02	03	04	05	
Q55	O Cep contribui para a redução da variabilidade no processo	5,4	0,0	5,4	2,7	32,4	59,5	91,9
Q56	O CEP contribui na decisão sobre compra de equipamento	2,7	0,0	2,7	18,9	54,1	24,3	78,4
Q57	A velocidade de entrega do produto tem melhorado ao longo dos últimos anos	8,1	0,0	8,1	43,2	37,8	10,8	48,6
Q58	O Programa CEP traz o retorno financeiro esperado	5,4	0,0	5,4	24,3	56,8	13,5	70,3
Q66	As empresas que usam o CEP têm percebido impactos positivos na redução de defeitos e ganhos de produtividade	10,8	5,4	5,4	21,6	45,9	21,6	67,5
Q69	O CEP tem contribuído para o desempenho de campo dos produtos	8,1	2,7	5,4	10,8	62,2	18,9	81,1

Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira geral os resultados *Hard* obtidos com o programa CEP, na opinião dos entrevistados, correspondem aos resultados descritos na literatura. Entretanto nota-se que o programa CEP impacta sobre a compra de novos equipamentos e desempenho em campo dos produtos. A percepção é que há indiferença em itens como velocidade de entrega dos produtos, retorno financeiro e redução de desperdícios, justamente nos constructos para qual o CEP foi desenvolvido. Conclui-se assim que o CEP impacta positivamente nos resultados *Hard* embora apresente algumas contradições de acordo com a literatura estudada.

6.3 Testes de significância estatística

No intuito de validar as hipóteses de pesquisa se faz necessário agrupar as variáveis de pesquisa em seus respectivos constructos. Com essa análise espera-se condensar as variáveis pertencentes aos constructos em alguns fatores, e assim descrever melhor o relacionamento entre as dimensões e seus resultados. No item a seguir será detalhado a formação dos fatores.

No que se refere aos procedimentos para a formação de fatores alguns critérios devem ser observados. Primeiramente a literatura estudada recomenda que os resultados de *Aulovalores* para os fatores gerados devam ser $\geq 1,0$ para que a correlação entre os fatores seja satisfatória; As cargas fatoriais devem ser $\geq 0,5$ para que a variável seja pertencente ao fator. Outro critério para a formação dos fatores diz respeito ao Σ % de variância total, ou seja os fatores gerados devem representar aproximadamente 70% da variabilidade total (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

Segundo HAIR *et. al.* (2010) o processo de redução de dados (formação de fatores) é subjetivo, pois dependerá da habilidade do pesquisador em interpretar o fenômeno estudado. Seguindo estas recomendações adotaram-se como critérios para a formação dos fatores cargas fatoriais superiores a 0,5 e a quantidade de fatores por constructo é determinada $\sum\%$ de variabilidade não ser inferior à 70%.

6.3.1 Análise Fatorial - Dimensão Gerencial

A análise fatorial da Dimensão Gerencial diz respeito à formação e redução das variáveis em um conjunto de fatores. Conforme pode ser observado na tabela 6.10 foi possível resumir as oito variáveis pesquisadas em quatro fatores que explicam 83,5 % da variância dos resultados desta dimensão.

Tabela 6. 9 Análise fatorial da Dimensão Gerencial

Cargas fatoriais obtidas pela extração de Componentes Principais. Método de rotação utilizado: Varimax normalizado. Cargas marcadas em “negrito” são > 0,5					
Cód. da Questão	Fator 01G	Fator 02G	Fator 03G	Fator 04G	\sum % da variância
Q26G	0,807855	0,041756	-0,093165	0,433556	
Q27G	0,368710	0,188644	0,147997	0,668477	
Q31G	0,857278	0,259038	0,208383	0,028980	
Q34G	0,122982	0,177922	0,945321	0,095636	
Q40G	0,584807	-0,136957	0,391795	0,441478	
Q42G	0,101559	-0,117547	0,035688	0,894810	
Q60G	0,077078	0,951093	0,105099	-0,006425	
Q61G	0,113975	0,959598	0,083526	-0,005922	
Expl. Var	1,909872	1,994068	1,140437	1,640482	
Prp. Totl	0,238734	0,249258	0,142555	0,205060	
Autovalor	3,150974	1,952953	0,867255	0,713676	
% da variância	39,38718	24,41191	10,84069	8,92095	83,56073

Fonte: Elaborado pelo autor

O Fator 1G é composto pelas seguintes variáveis de pesquisa: *a alta administração deve liderar regularmente os esforços de melhoria da qualidade; a equipe de gestão do CEP deve ser reconhecida pelo seu desempenho na melhoria da qualidade; deve haver suporte gerencial na condução de ações de melhoria.* Portanto será denominado de “**Ações de melhoria**”.

O Fator 2G é composto pelas seguintes variáveis de pesquisa: *a alta administração tem comprado à ideia do CEP e tenta programá-la; a alta administração em geral promove e dá o suporte gerencial em termos de treinamentos, estrutura e incentivos para o uso do CEP.* Portanto será denominado “**Apoio da alta administração**”

O Fator 3G é composto pela seguinte variável de pesquisa: *cursos de aperfeiçoamento na aplicação de ferramentas CEP devem ser realizados regularmente.* Portanto será denominado de “**Aperfeiçoamento**”

O Fator 4G é composto pelas seguintes variáveis de pesquisa: *a alta administração deve fornecer os recursos adequados para facilitar os esforços do CEP; a alta administração deve criar uma estrutura de suporte ao CEP.* Portanto será denominado de “**infraestrutura**”

6.3.2 Análise Fatorial - Dimensão Metodológica

A Análise Fatorial da Dimensão Metodológica diz respeito à formação redução das variáveis em um conjunto de fatores. Conforme pode ser observado na tabela 6.11 foi possível resumir as 15 variáveis pesquisadas em 5 fatores que representam 68,4% da variabilidade da amostra. Os procedimentos estatísticos utilizados para a realização da Análise Fatorial pode ser observado no Apêndice C desta tese. Optou-se por 5 fatores, pois a criação do 6 fator decairia o autovalor deste novo fator sem modificar consideravelmente a $\sum\%$ da variância.

Tabela 6. 10 Análise fatorial da Dimensão Metodológica

Cargas fatoriais obtidas pela extração de Componentes Principais. Método de rotação utilizado: Varimax normalizado. (Cargas marcadas em “negrito” são > 0,5000)						
Cód. da Questão	Fator 01 M	Fator 02M	Fator 03M	Fator 04M	Fator 05M	\sum % da variância
Q28M	0,704378	0,133524	-0,149133	-0,142806	0,239378	
Q29M	0,626782	0,262783	-0,280900	-0,079030	0,557700	
Q30M	0,775229	-0,153158	0,026619	0,083463	-0,002224	
Q32M	0,627869	-0,085175	0,252559	0,526456	-0,043699	
Q33M	0,631420	0,011095	0,159525	-0,009888	-0,079119	
Q37M	0,124323	0,786983	0,344165	-0,067961	0,078963	
Q38M	0,034369	0,282609	0,605561	0,175956	0,187446	
Q39M	0,162068	0,662630	0,279562	0,079828	0,374169	
Q41M	-0,064301	-0,001537	0,129360	0,217839	0,844764	
Q43M	0,547034	0,305847	0,360912	0,128036	-0,315305	
Q44M	0,714997	0,334364	0,069243	0,292595	-0,031218	
Q45M	0,600301	0,107600	0,447415	-0,272477	0,058836	
Q49M	0,088870	-0,029516	0,802482	0,032104	-0,046985	
Q63M	-0,050848	0,815663	-0,213474	0,117413	-0,155971	
Q78M	-0,001141	0,122396	0,062077	0,874424	0,208004	
Expl. Var	3,511246	2,154087	1,799766	1,355948	1,445158	
Prp. Totl	0,234083	0,143606	0,119984	0,090397	0,096344	
Autos valores	4,298215	1,970568	1,538718	1,391081	1,067623	
% de variância	28,65477	13,13712	10,25812	9,27387	7,11749	68,44136

Fonte: Elaborado pelo autor

O Fator 1M é composto pelas seguintes variáveis de pesquisa: *os problemas de qualidade devem ser analisados em reuniões com os grupos de gestão do CEP; a alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo; os grupos de melhoria devem ser constituídos por equipes multifuncionais que se reúnem regularmente; treinamentos básicos em CEP devem ser dados aos trabalhadores diretamente ligados à produção; os conhecimentos adquiridos sobre CEP nos treinamentos devem ser aplicados imediatamente após o treinamento; todos os processos/características críticas devem ser controladas pelo CEP; os Resultados do CEP devem ser discutidos entre os funcionários; os procedimentos do CEP devem ser aplicados por equipes de melhoria, tais como: círculos de controle de qualidade, grupo kaizen etc.* Observa-se que neste fator estão as variáveis tais como, reuniões, grupos, metas e equipe, portanto será denominado de “**Empoderamento**”.

No Fator 2M estão as seguintes variáveis: *devem ser utilizados pacotes computacionais na condução das atividades do CEP tais como: Minitab, Statistica, Statgraphics; é o cliente que decide sobre qual parâmetro do produto/processo deve ser monitorado; os custos de implantação são calculados adequadamente.* Observa-se que neste fator estão as variáveis que facilitam o uso e operacionalização do CEP. Portanto será denominado de “**Articulação**”

No Fator 3M estão as seguintes variáveis: *o CEP deve ser aplicado somente em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos; os processos para a implantação do CEP devem ser selecionados corretamente, pois se aplicados incorretamente podem desmotivar os funcionários.* Neste fator nota-se o agrupamento de variáveis relacionadas à aplicação do CEP. Portanto, neste sentido este fator será denominado “**Processo alvo**”.

As variáveis classificadas dentro do Fator 4M são: *treinamentos básicos em CEP devem ser dados aos trabalhadores diretamente ligados à produção; o CEP não deve ser aplicado em todas as características de qualidade, somente deve ser aplicado quando realmente adequado mesmo sendo uma característica funcional ou de segurança.* Embora este fator tenha características próximas ao uso da ferramenta ele está mais bem relacionado às características “**Aplicação**”

No Fator 5M encontra-se agrupado as seguintes variáveis: *a alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo; análise*

de repetibilidade e reprodutibilidade (GR & R) devem ser feitos antes de realizar as atividades do CEP. Observa-se que as variáveis agrupadas neste fator buscam garantir o funcionamento do CEP por meio de indicadores. Neste sentido este fator será denominado “Desempenho na medida”

6.3.3 Análise Fatorial - Dimensão Estatística

Foi possível resumir as 9 variáveis pesquisadas em 4 fatores com 78% de toda a variação conforme pode ser observado na tabela 6.11.

Tabela 6. 11 Análise fatorial da Dimensão Estatística

Cargas fatoriais obtidas pela extração de Componentes Principais. Método de rotação utilizado: Varimax normalizado. (Cargas marcadas em “negrito” são > 0,5000)					
Cód. da Questão	Fator 01E	Fator 02E	Fator 03E	Fator 04E	∑ % da variância
Q35E	0,448928	0,038479	0,744876	-0,194274	
Q36E	-0,078187	0,188325	0,833254	-0,065520	
Q46E	0,425172	-0,072275	0,669622	0,356521	
Q47E	0,761176	0,185382	0,287392	0,159630	
Q48E	0,914236	0,012897	0,020138	0,038271	
Q62E	0,093776	0,867015	0,026377	0,193916	
Q64E	0,115110	0,797001	0,001246	-0,159599	
Q65E	-0,038430	0,836813	0,196807	0,182552	
Q79E	0,120691	0,139637	-0,064224	0,941272	
Expl.Var	1,841724	2,183385	1,824100	1,178483	
Prp.Totl	0,204636	0,242598	0,202678	0,130943	
Auto vetor	2,996693	1,903341	1,258996	0,868662	
% da variância	33,29659	21,14823	13,98884	9,65180	78,08547

Fonte: Elaborado pelo autor

Agrupados no Fator 1E estão as seguintes variáveis: *os limites de controle devem ser revisados periodicamente; são calculados os índices de capacidade e capacidade do processo (cp, pp, cpk, ppk)*. Estas variáveis representam os ajustes necessários que devem ocorrer nos índices dos processos descritos nas cartas de controle. Portanto este fator será denominado “**Atualização dos índices**”.

Dentro do Fator 2E estão agrupadas as seguintes variáveis: *em geral as pessoas envolvidas com o CEP tem domínio adequado dos métodos estatísticos; ações são tomadas com base nas cartas de controle; em geral as empresas analisam cuidadosamente os processos onde as cartas de controle são mais adequadas para seu uso*. Estas variáveis referem-se confiança dos gestores na tomada de ações. Portanto será denominada de “**Domínio na medida**”.

O Fator 3E é composto pelas seguintes variáveis: *gráficos de controle adequados devem ser usados para monitorar a estabilidade do processo; sempre que o processo está fora de controle, as causas especiais devem ser identificadas e removidas imediatamente; devem ser observados todos os pressupostos estatísticos (tamanho amostral, normalidade, dentre outros) no uso das cartas de controle.* Observa-se neste fator a predominância de variáveis relacionadas à análise da variabilidade. Portanto este fator será denominado “**Variabilidade**”

A variável identificada como pertencente ao Fator 4E é: *a significância prática deve ser considerada na tomada de decisão sobre o processo.* Por exemplo, uma causa especial identificada na carta pode não ser economicamente viável para uma tomada de ação. Este fator por ser constituído por uma variável será denominado de “**significância prática**”.

6.3.4 Análise Fatorial – Benefícios *Hard*

A análise fatorial dos benefícios *Hard* diz respeito à formação a redução das variáveis em um conjunto de fatores. Conforme pode ser observado na tabela 6.12, foi possível resumir as 6 variáveis pesquisadas em 3 fatores que representam 74,9% da variabilidade.

Tabela 6. 12 Análise fatorial da Dimensão *Hard*

Cargas fatoriais obtidas pela extração de Componentes Principais. Método de rotação utilizado: Varimax normalizado. (Cargas marcadas em “negrito” são > 0,5000)				
Cód. da Questão	Fator 01H	Fator 02H	Fator 03H	∑ % da variância
Q55H	0,146884	0,906227	-0,142741	
Q56H	0,580796	0,463753	0,171847	
Q57H	0,167169	-0,033809	0,929650	
Q58H	0,033403	0,662906	0,540142	
Q66H	0,864307	-0,005481	0,079362	
Q69H	0,802660	0,139308	0,081960	
Expl.Var	1,779250	1,496339	1,218925	
Prp.Totl	0,296542	0,249390	0,203154	
Auto valor	2,382274	1,093593	1,018647	
% da variância	39,70457	18,22655	16,97746	74,90858

Fonte: Elaborado pelo autor

O Fator 1H é constituído pelas seguintes variáveis estudadas: *o CEP contribui na decisão sobre compra de equipamento; as empresas que usam o CEP têm percebido impactos positivos na redução de defeitos e ganhos de produtividade; o CEP tem contribuído para o desempenho de campo dos produtos.* Por estarem estas

relacionadas ao desempenho do produto. Este fator será denominado de “**Desempenho do produto**”.

O Fator 2H é composto pelas seguintes variáveis: *o CEP contribui para a redução da variabilidade do processo; o Programa CEP traz o retorno financeiro esperado*. Por estar relacionado ao desempenho do processo este fator será denominado “**Desempenho do processo**”.

Já o Fator 3H é constituído pelas seguintes variáveis: *a velocidade de entrega do produto tem melhorado ao longo dos últimos anos; o Programa CEP traz o retorno financeiro esperado*. Estas variáveis estão relacionadas à eficiência do programa CEP. Desta forma este fator será denominado “**Eficiência**”.

6.3.5 Análise Fatorial – Benefícios Soft

A Análise Fatorial dos Resultados *Soft* diz respeito à formação e redução das variáveis em um conjunto de fatores. Conforme pode ser observado na tabela 6.13 foi possível resumir as 9 variáveis pesquisadas em 3 fatores que representam 71,7% da variabilidade.

Tabela 6. 13 Análise fatorial da Dimensão Soft

Cargas fatoriais obtidas pela extração de Componentes Principais. Método de rotação utilizado: Varimax normalizado. (Cargas marcadas em “negrito” são > 0,5000)				
Cód. da Questão	Fator 01 S	Fator 02S	Fator 03S	∑ % da variância
Q50S	0,691555	0,373658	0,244369	
Q51S	-0,019939	0,574957	0,689931	
Q52S	0,747752	0,344157	-0,177984	
Q53S	0,224689	0,844248	0,056195	
Q54S	0,319745	0,833726	0,028946	
Q59S	0,638742	0,113588	0,230539	
Q67S	0,340579	-0,082405	0,765330	
Q68S	0,769034	0,098840	0,429875	
Q80S	0,824797	0,174224	0,123134	
Expl.Var	2,986189	2,056309	1,410227	
Prp. Totl	0,331799	0,228479	0,156692	
Autovalor	4,207821	1,232560	1,012345	
% variância	46,75356	13,69511	11,24827	71,69695

Fonte: Elaborado pelo autor

As variáveis classificadas como Fator 1S foram as seguintes: *aumenta substancialmente a satisfação dos clientes; o CEP trouxe melhoria na imagem da empresa; o CEP é parte importante da ISO; o CEP tem contribuído para o aprimoramento técnico das pessoas; o CEP traz melhoria na imagem da empresa junto*

aos clientes. Por estar relacionado a fatores que envolvem a melhoria na imagem decorrente da utilização do CEP, este fator será denominado “**Imagem**”.

O Fator 2S é composto pelas seguintes variáveis: *o CEP aprimora a capacidade de estudo de problema; o CEP é parte importante do TPM; o CEP é parte importante do Lean Manufacture*. Por estar relacionado à capacidade de resolver problemas e promover a melhoria da qualidade, este fator será denominado “**Solucionador de problemas**”.

O último Fator 3S é constituído pelas seguintes variáveis de pesquisa: *o CEP aprimora a capacidade de estudo de problema; as empresas que utilizam o CEP têm profissionais mais motivados*. Por estas variáveis estarem relacionadas à motivação da equipe, este fator será denominado “**Envolvimento**”. Finalizando esta seção, o quadro 6.1 apresenta a codificação dos fatores obtidos na Análise Fatorial.

Quadro 6.1 Resumo dos fatores identificados

Construto	Código do Fator	Denominação
Dimensão Gerencial	Fator 01G	Ações de melhoria
	Fator 02G	Apoio da alta administração
	Fator 03G	Aperfeiçoamento
	Fator 04G	Infraestrutura
Dimensão Metodológica	Fator 01M	Empoderamento
	Fator 02M	Articulação
	Fator 03M	Processo alvo
	Fator 04M	Aplicação
	Fator 05M	Desempenho na medida
Dimensão Estatística	Fator 01E	Atualização dos índices
	Fator 02E	Domínio estatístico
	Fator 03E	Variabilidade
	Fator 04E	Significância prática
Resultado <i>Hard</i>	Fator 01H	Desempenho do produto
	Fator 02H	Desempenho do processo
	Fator 03H	Eficiência
Resultado <i>Soft</i>	Fator 01S	Imagem
	Fator 02S	Solucionador de problemas
	Fator 03S	Envolvimento

Fonte: Elaborado pelo autor

Determinado os fatores, o próximo passo é identificar as correlações existentes entre eles. Para isso foram utilizados os *Scores* do coeficiente fatorial. A próxima seção 6.4 apresenta os procedimentos analíticos utilizados para estabelecer as correlações entre os fatores bem como os resultados obtidos com estes procedimentos.

6.4 Resultados da análise de regressão múltipla entre os fatores

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da análise de regressão múltipla utilizando como referência o modelo conceitual. Os procedimentos estatísticos utilizados para a realização da análise de Regressão Múltipla entre os fatores podem ser observados no Apêndice C desta tese. Sumarizando, buscou-se investigar as seguintes relações de causalidade:

- f) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre as dimensões metodológicas e estatísticas,
- g) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*,
- h) A relação de causalidade entre a dimensão estatística e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*,
- i) A relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard* e
- j) A relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seu efeito sobre a dimensão estatística.

Inicialmente será apresentado na Tabela 6.14 os resultados obtidos com base na análise de regressão múltipla, utilizando simultaneamente todos os fatores da dimensão gerencial como variável independente e os fatores pertencentes às dimensões *Soft*, *Hard*, estatístico e gerencial, separadamente como variáveis dependentes. Neste sentido, serão investigadas as seguintes relações: (a) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre as dimensões metodológicas e estatísticas; (b) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*. Na tabela 6.14 é possível observar que os valores destacados em negrito indicam relações significativas para um nível de significância $< 0,05$.

Tabela 6. 14 Análise de regressão múltipla - Fator Gerencial

Variável independente	Nível de significância	Variável Dependente
Fator 1G - Ações de melhoria	0,190562	Variável dependente: Fator 1E- Desempenho do produto $F(4,32) = 0,90603$ $p < 0,47214$
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,564891	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,249108	
Fator 4G – Infraestrutura	0,731814	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,98183	Variável dependente: Fator 2E - Domínio na medida $F(4,32) = 6,6160$; $p < 0,0053$
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,000068	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,864919	
Fator 4G – Infraestrutura	0,025564	Variável dependente: Fator 3E Variabilidade
Fator 1G - Ações de melhoria	0,014265	
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,559902	

Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,004879	F(4,32) =4,8223, p<0,0370
Fator 4G – Infraestrutura	0,088997	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,733475	Variável dependente: Fator 4E Significância prática F(4,32) =1,1057 p<0,37083
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,076306	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,337157	Variável dependente: Fator 1M Empoderamento F(4,32) =14,098; p<0,0000
Fator 4G – Infraestrutura	0,996579	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,000005	Variável dependente: Fator 2M Articulação F(4,32) =4,5942; p<0,0480
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,018428	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,002429	Variável dependente: Fator 3M Processo alvo F(4,32) =0,56476; p<0,68995
Fator 4G – Infraestrutura	0,005136	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,143366	Variável dependente: Fator 4M Aplicação F(4,32) =0,38376; p<0,81859
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,009797	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,224189	Variável dependente: Fator 5M Desempenho na medida F(4,32) =3,1008; p<0,2895
Fator 4G – Infraestrutura	0,01228	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,640410	Variável dependente: Fator 1H Desempenho do produto F(4,32) =8,3828; p<0,0010
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,561789	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,732803	Variável dependente: Fator 2H Desempenho do processo F(4,32) =1,4003; p<0,25616
Fator 4G – Infraestrutura	0,218675	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,261788	Variável dependente: Fator 3H Eficiência F(4,32) =5,6838 p<0,68740
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,886066	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,766704	Variável dependente: Fator 1S Imagem F(4,32) =5,4776; p<0,00178
Fator 4G – Infraestrutura	0,731632	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,316949	Variável dependente: Fator 2S Solucionador de problemas F(4,32) =3,0450; p<0,087279
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,007937	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,690525	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,083644	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,189394	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,000021	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,111516	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,047290	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,025711	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,987036	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,723529	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,986806	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,257544	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,613115	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,570163	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,555629	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,014046	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,290275	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,045108	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,003943	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,561255	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,785422	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,380540	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,932514	
Fator 1G - Ações de melhoria	0,021852	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 2G - Apoio da alta administração	0,040081	
Fator 3G – Aperfeiçoamento	0,618454	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =3,3152; p<0,02217
Fator 4G – Infraestrutura	0,115486	

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 6.14 é possível visualizar o relacionamento existente entre a dimensão gerencial e as demais dimensões estudadas. Analisando a influência da dimensão gerencial no sistema de condução das atividades do CEP, verifica-se que esta dimensão influencia diretamente os seguintes fatores pertencentes à dimensão estatística: Fator 2E-*Domínio estatístico* e Fator 3E-*Variabilidade*. Existe uma relação de causalidade com os fatores metodológicos tais como: Fator 1M-*Pessoas*, Fator 2M-*Articulação* e Fator 5M-*Indicadores de desempenho*. A dimensão gerencial ainda influencia diretamente no Fator 1H-*Desempenho do produto* pertencentes à dimensão *Hard*, no Fator 1S-*Imagem* e Fator 3S-*Envolvimento* pertencentes ambos os resultados à dimensão *Soft*.

(a) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre as dimensões metodológicas e estatísticas. Os resultados indicam que a o Fator 2E-*Domínio estatístico* é função dos fatores Fator 2G-*Apoio da alta administração* e Fator 4G-*Infraestrutura*. Portanto, baseado na opinião dos entrevistados, é possível inferir que o domínio dos conceitos sobre CEP é função do apoio que a alta administração fornece às iniciativas do programa e também da infraestrutura que os responsáveis encontram para desenvolver suas atividades.

Foi possível também identificar que o Fator 3E-*Variabilidade* é função dependente dos fatores Fator 1G-*Ações de melhoria* e Fator 3G-*Aperfeiçoamento*. Isto indica que a busca pela redução da variabilidade está condicionada aos cursos de treinamento e aperfeiçoamento bem como o desenvolvimento de ações e ou projetos de melhoria. Os usuários do CEP irão buscar a redução da variabilidade na medida em que recebem treinamento apropriado sobre este assunto e conseguirão atingir este objetivo a partir do desenvolvimento de ações de melhoria sistemática.

O Fator 1M-*Pessoas* é função dos fatores Fator 1G-*Ações de melhoria*, Fator 2G-*Apoio da alta administração*, Fator 3G-*Aperfeiçoamento*, Fator 4G-*Infraestrutura*. Dentro do fator 1M-*Pessoas* encontram-se elementos relacionados à coordenação das pessoas. Neste sentido, o apoio da alta administração alinhado aos treinamentos e infraestrutura são cruciais para a articulação das ações se tornarem resultados positivos.

Já o fator 2M-*Articulação* é resultado do Fator 2G-*Apoio da alta administração* e Fator 4G-*Infraestrutura*. É possível inferir que de acordo com os entrevistados, as organizações que investem em infraestrutura tendem a utilizar softwares específicos para o CEP. Neste sentido, a aquisição de softwares específicos

para o CEP é um mecanismo importante para julgar o apoio da alta administração em relação às atividades do CEP.

Outra relação significativa identificada diz respeito ao Fator 5M-*Indicadores de desempenho* do processo ser dependente do Fator 2G-*Apoio da alta administração*. Na opinião dos entrevistados, o apoio da alta administração por meio de ações de melhoria influencia na identificação dos índices de processo. Isto é obtido por meio de ações que visem melhorar o processo tornando-o mais estável, seja por treinamentos em ações claras que visam satisfazer a necessidade de revisão periódica dos índices de desempenho.

(b) A relação de causalidade entre a dimensão gerencial e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*. Foi possível identificar algumas relações significativas que são descritas a seguir:

Inicialmente foi identificado que o Fator 1H-*Desempenho do produto* é função do Fator 2G-*Apoio da alta administração* e Fator 4G-*Infraestrutura*. Portanto, as organizações que não apoiam as iniciativas de melhoria e não dispõem de uma estrutura adequada para o desenvolvimento do CEP, apresentam um desempenho de produto inferior às organizações que apoiam o CEP e dispõem de infraestrutura adequada necessária.

Outra relação identificada que o Fator 2H-*Desempenho do processo* é função do Fator 1G-*Ações de melhoria*. Esta relação indica que o desempenho do processo produtivo, ou seja, sua eficiência e capacidade são consequências do desenvolvimento das ações de melhoria. Assim sendo, ações de melhoria sistemática apoiada pela alta administração se refletem na estabilidade do processo e principalmente em seu desempenho.

Identificou-se que o Fator 1S-*Imagem* é consequência dos investimentos em Fator 1G-*Ações de melhoria*, Fator 3G-*Aperfeiçoamento* e Fator 4G-*Infraestrutura* adequada para o desenvolvimento das ações de melhoria. Neste sentido, observa-se que na visão dos entrevistados, os clientes percebem e valorizam as organizações que investem em treinamento, infraestrutura e ações de melhoria.

O Fator 3S-*Envolvimento* dos colaboradores se relaciona com o desenvolvimento do Fator 1G-*Ações de melhoria* e Fator 2G-*Apoio da alta administração*. Organizações que investem e apoiam as iniciativas do CEP desenvolvendo ações de melhorias constantes apresentam e causam influência positiva no envolvimento dos colaboradores.

A Tabela 6.15 apresenta os resultados obtidos com base na análise de regressão múltipla, utilizando simultaneamente todos os fatores da Dimensão Estatística como variável independente e os fatores pertencentes às dimensões *Soft* e *Hard*. (c) A relação de causalidade entre a Dimensão Estatística e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*. Nesta tabela 6.15 é possível observar que os valores destacados em negrito indicam relações significativas em nível de significância $< 0,05$.

Tabela 6. 15 Análise de regressão múltipla - Fator Estatístico

Variável independente	Nível de significância	Variável Dependente
Fator 01E - Atualização dos índices	0,328530	Variável dependente: Fator 1H Desempenho do produto F(4,32)=7,2433 p<0,0028
Fator 02E - Domínio estatístico	0,000144	
Fator 03E – Variabilidade	0,039453	
Fator 04E - Significância prática	0,036371	
Fator 01E - Atualização dos índices	0,411795	Variável dependente: Fator 2H Desempenho do processo F(4,32)=2,3232 p<0,07785
Fator 02E - Domínio estatístico	0,426156	
Fator 03E – Variabilidade	0,008352	
Fator 04E - Significância prática	0,829426	
Fator 01E - Atualização dos índices	0,740418	Variável dependente: Fator 3H Eficiência F(4,32)=2,3455 p<0,91682
Fator 02E - Domínio estatístico	0,424651	
Fator 03E – Variabilidade	0,824873	
Fator 04E - Significância prática	0,728395	
Fator 01E - Atualização dos índices	0,141629	Variável dependente: Fator 1S Imagem F(4,32) =3,4688 p<0,01835
Fator 02E - Domínio estatístico	0,013899	
Fator 03E – Variabilidade	0,036158	
Fator 04E - Significância prática	0,830811	
Fator 01E - Atualização dos índices	0,287540	Variável dependente: Fator 2S Solucionador de problemas F(4,32) =8,3327 p<0,51411
Fator 02E - Domínio estatístico	0,524860	
Fator 03E – Variabilidade	0,196239	
Fator 04E - Significância prática	0,929698	
Fator 01E - Atualização dos índices	0,754029	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(4,32) =1,6834 p<0,17810
Fator 02E - Domínio estatístico	0,029485	
Fator 03E – Variabilidade	0,327555	
Fator 04E - Significância prática	0,506375	

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a tabela 6.15 é possível observar a relação de causalidade (condicionalidade) ente a Dimensão Estatística e resultados tanto *Soft* quanto *Hard*.

Fator 1H-*Desempenho do produto*, Fator 1S-*Imagem*. Assim é possível afirmar que a Dimensão Estatística influencia diretamente no desempenho do produto e na imagem das organizações que utilizam o CEP.

Foi possível identificar que alguns fatores pertencentes à Dimensão Estatística influenciam nos resultados. A influência dos fatores da Dimensão Estatística, apesar de não serem significativos quando analisados simultaneamente, influenciam significativamente de maneira isolada em certos resultados. Estes resultados estão descritos a seguir.

Observou-se que o Fator 2H-*Desempenho do processo* é função do Fator 3E-*Variabilidade*. Neste sentido, segundo os entrevistados, a busca pela redução da variabilidade está relacionada ao desempenho do processo. Portanto, as organizações que buscam a redução da variabilidade obtêm resultados significativos no desempenho do processo.

Observou-se que o Fator 1S-*Imagem* é consequência de uma relação de dependência entre os fatores Fator 2E-*Domínio estatístico* e Fator 03E-*Variabilidade*. A imagem da organização perante seus clientes depende do domínio das cartas de controle e busca pela redução da variabilidade. As organizações que buscam a redução da variabilidade por meio de ações e projeto de melhoria e que dominam o uso das cartas de controle é valorizada pelos seus clientes como organizações por estas características.

A última relação significativa identificada encontrada refere-se a influência do Fator 2E-*Domínio estatístico* no Fator 3S-*Envolvimento*. Observa-se uma relação de causalidade entre investimentos realizados no desenvolvimento da ferramenta e o envolvimento dos colaboradores com a ferramenta CEP. Portanto, quanto mais as organizações investem em treinamento para alcançarem o domínio da ferramenta, mais os colaboradores se envolveram com o programa de melhoria.

A Tabela 6.16 apresenta os resultados obtidos com base na análise de regressão múltipla, utilizando simultaneamente todos os fatores da dimensão metodológica como variável independente e os fatores pertencentes às dimensões *Soft*, *Hard* e estatística. Portanto, investigam-se as seguintes relações (d) A relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard* e (e) A relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seu efeito sobre a dimensão estatística. Nesta Tabela 6.16 é possível observar que os valores destacados em negrito indicam relações significativas nível de significância $< 0,05$.

Tabela 6. 16 Análise de regressão múltipla - Fator Metodológico

Variável independente	Nível de significância	Variável Dependente
Fator 01M – Empoderamento	0,048878	Variável dependente: Fator 1E Atualização dos índices F(5,31) =3,0190 p<0,02470
Fator 02M – Articulação	0,216303	
Fator 03M - Processo alvo	0,188374	
Fator 04M – Aplicação	0,025010	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,173420	
Fator 01M – Empoderamento	0,444127	Variável dependente: Fator 2E Domínio estatístico F(5,31) =3,0232 p<0,02455
Fator 02M – Articulação	0,000945	
Fator 03M - Processo alvo	0,294903	
Fator 04M - Aplicação	0,927623	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,897073	
Fator 01M - Empoderamento	0,000079	Variável dependente: Fator 3E Variabilidade F(5,31) =5,9142 p<0,00060
Fator 02M - Articulação	0,933665	
Fator 03M - Processo alvo	0,033101	
Fator 04M – Aplicação	0,708638	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,060248	
Fator 01M - Empoderamento	0,729782	Variável dependente: Fator 4E Significância prática F(5,31) =3,4397 p<0,88216
Fator 02M – Articulação	0,872104	
Fator 03M - Processo alvo	0,306464	
Fator 04M – Aplicação	0,496165	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,898576	
Fator 01M - Empoderamento	0,001720	Variável dependente: Fator 1H Desempenho do produto F(5,31) =3,9281 p<0,00712
Fator 02M - Articulação	0,038561	
Fator 03M - Processo alvo	0,480764	
Fator 04M – Aplicação	0,716180	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,120366	
Fator 01M - Empoderamento	0,024534	Variável dependente: Fator 2H Desempenho do processo F(5,31) =1,3892 p<0,25547
Fator 02M - Articulação	0,960504	
Fator 03M - Processo alvo	0,491585	
Fator 04M – Aplicação	0,495250	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,534356	
Fator 01M – Empoderamento	0,673486	Variável dependente: Fator 3H Eficiência F(5,31) =8,1699 p<0,54686
Fator 02M – Articulação	0,695056	
Fator 03M - Processo alvo	0,954693	
Fator 04M – Aplicação	0,062294	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,950083	
Fator 01M – Empoderamento	0,009496	Variável dependente: Fator 1S Imagem F(5,31) =4,8198 p<0,00225
Fator 02M – Articulação	0,037026	
Fator 03M - Processo alvo	0,742243	
Fator 04M – Aplicação	0,011213	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,046050	
Fator 01M – Empoderamento	0,070111	Variável dependente: Fator 2S Solucionador de problemas
Fator 02M – Articulação	0,401435	

Fator 03M - Processo alvo	0,896886	F(5,31) =1,8797 p<0,12656
Fator 04M – Aplicação	0,139099	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,102349	
Fator 01M - Empoderamento	0,005927	Variável dependente: Fator 3S Envolvimento F(5,31) =2,1388 p<0,08698
Fator 02M - Articulação	0,387638	
Fator 03M - Processo alvo	0,956654	
Fator 04M – Aplicação	0,695129	
Fator 05M - Desempenho na medida	0,316805	

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a dimensão metodológica foi possível identificar uma relação significativa para predizer fatores pertencentes à dimensão estatística Fator 1E-*Atualização dos índices*, Fator 2E-*Domínio estatístico*, e Fator 3E-*Variabilidade*. Foi possível também identificar uma relação de causalidade entre os fatores pertencentes aos resultados Fator 1H-*Desempenho do produto* e Fator 1S-*Imagem*.

Abaixo estão descritos os resultados que buscam esclarecer a relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seus efeitos sobre os resultados tanto *Soft* como *Hard*. Verificou-se que a dimensão estatística influencia nos seguintes fatores: Fator 1H-*Desempenho do produto* e Fator 1S-*Imagem*. Na visão dos entrevistados a dimensão estatística colabora para o desempenho de campo dos produtos. Uma vez que conhecer as relações de causa e efeito entre as partes que compõe os produtos e controlá-las influencia no desempenho do produto.

A seguir será apresentada a relação de causalidade entre a dimensão metodológica e seu efeito sobre a dimensão estatística. Estes resultados indicam que os fatores pertencentes à dimensão estatística, ou seja, aquelas que estão diretamente relacionadas ao uso da técnica, estão relacionadas ao domínio da ferramenta, em outras palavras, entender os pressupostos estatísticos envolvidos está diretamente relacionado à habilidade em usar a ferramenta corretamente.

A dimensão estatística apresenta uma relevância também para determinar o Fator 3E-*Variabilidade*. Na visão dos entrevistados, dominar os pressupostos envolvidos com o CEP influencia na redução da variabilidade. Portanto, dominar os componentes estatísticos relacionados à técnica auxilia nos projetos de melhoria identificando e eliminando possíveis causas da variabilidade.

Nesta análise identificou-se outras relações de influencia da dimensão metodológica como determinantes para alguns fatores pertencentes à dimensão estatística. As relações a seguir, apesar de não serem significativas do ponto de vista do

conjunto de fatores pertencentes à dimensão metodológica, apenas alguns fatores desta dimensão são determinantes para os efeitos em alguns fatores da dimensão estatística estão descritas a seguir.

O Fator 1E-*Atualização dos índices* é dependente dos fatores: Fator 1M-*Pessoas* e Fator 4M-*Aplicação*. A atualização dos índices de desempenho do processo depende do desenvolvimento de metas e treinamento. Assim, a melhora dos indicadores dos processos é fruto da coordenação das equipes de melhoria, estabelecimento de metas e treinamento adequado.

Observou-se que o Fator 2E-*Domínio Estatístico* depende do Fator 2M-*Articulação*. Atingir o domínio da técnica depende de uma integração e é facilitado pelo uso de programas computacionais.

Com relação ao Fator 3E-*Variabilidade*, este dependendo do desenvolvimento de ações de melhoria (Fator 1M-*Pessoas*) em processos-chaves (Fator 3M-*Processo-alvo*).

Observou-se também que o Fator 1H-*Desempenho do produto* depende do Fator 1M-*Pessoas* e Fator 2M-*Articulação*. Isto significa que, na opinião dos entrevistados, o desempenho de campo do produto é consequência de ações de melhorias em parâmetros que o cliente considera importante.

O Fator 2H-*Desempenho do processo* está ligado por uma relação de dependência com o fator 1M-*Pessoas*. Observa-se nesta relação a necessidade de articular e ações de melhoria.

Outra relação identificada no conjunto de fatores metodológicos diz respeito ao Fator 1S-*Imagem* estar relacionado a fatores tais como: Fator 1M-*Pessoas*, Fator 2M-*Articulação*, Fator 4M-*Aplicação*, Fator 5M-*Indicadores de desempenho*. Sintetizando estes resultados, é possível afirmar que a forma com que seu cliente percebe sua empresa depende da forma com que os gestores articulam as atividades dos grupos de melhoria, estabelecem e cumprem metas de melhoria.

Finalizando estas análises, é possível inferir que o Fator 3S-*Envolvimento* dos colaboradores com o CEP é fruto do desenvolvimento de iniciativas de melhorias apoiadas no uso das cartas de controle e treinamento dado às pessoas da organização (Fator 1M-*Pessoas*).

A Tabela 17 apresenta um resumo das relações significativas encontradas neste estudo e apresentadas nesta seção. Sendo possível visualizar a relação de dependência existente entre os fatores selecionados. As variáveis dependentes

correspondem aos resultados de uma relação de causalidade determinadas por uma combinação de variáveis independentes. Neste sentido, é possível observar nesta tabela quais são as variáveis determinantes para os resultados.

Tabela 6. 17 Resumo das relações identificadas com nível de significância >0,05

VARIAVEL DEPENDENTE (FATORES)	VARIÁVEIS INDEPENDENTES (FATORES)
01M-Empoderamento	1G-Ações de melhoria 2G-Apoio da alta administração 3G-Aperfeiçoamento 4G-Infraestrutura
02M-Articulação	2G-Apoio da alta administração 4G-Infraestrutura
05M-Desempenho na medida	2G-Apoio da alta administração
01E-Atualização dos índices	1M-Empoderamento 4M-Aplicação
02E-Domínio estatístico	2G-Apoio da alta administração 4G-Infraestrutura 2M-Articulação
03E-Variabilidade	1G-Ações de melhoria 3G-Aperfeiçoamento 1M-Empoderamento 3M-Processo alvo
01H-Desempenho do produto	2G-Apoio da alta administração 4G-Infraestrutura 2E-Domínio estatístico 3E-Variabilidade 4E-Significância prática 1M-Empoderamento 2M-Articulação
02H-Desempenho do processo	1G-Ações de melhoria 3E-Variabilidade 1M-Empoderamento
01S-Imagem	1G-Ações de melhoria 3G-Aperfeiçoamento 4G-Infraestrutura 2E-Domínio estatístico 3E-Variabilidade 1M-Empoderamento 2M-Articulação 4M-Aplicação 5M-Desempenho na medida
03S –Envolvimento	1G-Ações de melhoria 2G-Apoio da alta administração 2E-Domínio estatístico 1M-Empoderamento

Fonte: Elaborado pelo autor

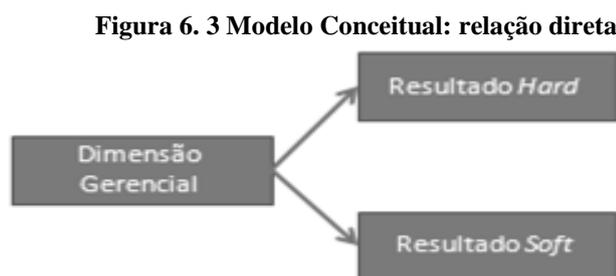
Nesta seção foi possível verificar quais fatores são determinantes para estabelecer a relação de causalidade entre as dimensões propostas pelo modelo conceitual. No próximo tópico serão apresentados os desdobramentos destas análises na forma de validação das hipóteses de pesquisa.

6.5 Validação das hipóteses de pesquisa

Esta seção expõe um resumo das relações discutidas na seção anterior que permitam validar as hipóteses de pesquisa expostas nos capítulos anteriores desta tese (introdução e método de pesquisa). Inicialmente será apresentada a hipótese de pesquisa, uma breve descrição das relações que permitam aceitar ou rejeitar as hipóteses de pesquisa e a validação da hipótese proposta.

H₁ = Existe relação de condicionalidade direta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* como *Hard*.

Para validar as hipóteses de pesquisa se faz necessário observar as relações de causalidade propostas no modelo conceitual. Inicialmente serão apresentadas as bases conceituais que permitam validar a hipótese de pesquisa H₁, ou seja, aceitar ou rejeitar a existência de uma relação causal direta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* como *Hard*, conforme representado pela figura 6.3



Fonte: Elaborado pelo autor

Há evidências estatísticas de que os seguintes resultados (*Soft* e *Hard*) são resultantes de uma relação de causalidade direta com os fatores da dimensão gerencial. O Fator 1H-*Desempenho do produto* é influenciado diretamente pela dimensão gerencial sendo que os fatores 2G-*Apoio da alta administração* e 4G-*Infraestrutura* são os fatores mais significativos dentro da dimensão gerencial para predizer o fator 1H-*Desempenho do produto*.

Os resultados indicam que o desempenho do produto é influenciado pelo investimento da alta administração em ações e projetos que buscam a melhoria dos produtos. Entretanto, este investimento e apoio estão condicionados a estrutura disponibilizada para o desenvolvimento das ações de melhoria. Existe evidência de que os fatores representantes da dimensão gerencial influenciam diretamente no resultado *Hard* (1H-*Desempenho do produto*).

O Fator 1S-*Imagem* apresenta uma relação de causalidade direta com a dimensão gerencial. Destaca-se como fatores mais significativos para sua predição os seguintes: Fator 1G-*Ações de melhoria*, 3G-*Aperfeiçoamento*, e 4G-*Infraestrutura*.

Os resultados obtidos na análise de regressão múltipla mostram que a imagem da organização sofre a influência do desenvolvimento de ações de melhoria, ou seja, a responder prontamente a necessidade de seus clientes, os treinamentos oferecidos pela empresa no que diz respeito à condução das atividades, além da infraestrutura disponível para a realização das ações de melhoria.

Neste sentido observa-se, na opinião dos entrevistados, que a imagem da organização junto aos seus clientes é fruto do atendimento às necessidades dos mesmos, por meio do desenvolvimento de projetos de melhoria por uma equipe treinada e também é percebida por meio da infraestrutura disponível para o desenvolvimento das ações de melhoria. Os resultados acima descritos reforçam a hipótese H₁, pois o fator 1S-*Imagem* está diretamente relacionado aos fatores correspondentes à Dimensão Gerencial.

Finalizando, existem evidências estatísticas de que o Fator 3S-*Envolvimento* é influenciado diretamente pela Dimensão Gerencial. Observa-se que os Fatores 1G-*Ações de melhoria* e 2G-*Apoio da alta administração* são os fatores mais expressivos desta relação causal. A Dimensão Gerencial influencia diretamente no envolvimento das pessoas em relação ao uso da ferramenta.

Portanto, os investimentos que a alta administração faz na implantação das cartas de controle, cobrando e incentivando seu uso é convertido no envolvimento dos colaboradores com a causa da variabilidade. De maneira correlata, o desenvolvimento de ações de melhoria estimulam os envolvidos com o CEP a utilizarem as cartas de controle. Diante das relações apresentadas, conclui-se que não há evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese H₁.

H₂ = Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* quanto *Hard*.

A Hipótese de pesquisa H₂ busca validar a existência de uma relação indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto *Soft* quanto *Hard*, conforme pode ser observado na figura 6.4. Na tentativa de inferir sobre a hipótese de pesquisa H₂ se faz necessário observar a capacidade da dimensão gerencial prever os fatores pertencentes às dimensões Metodológica e Estatística.

Figura 6. 4 Modelo conceitual: relação indireta



Fonte: Elaborado pelo autor

Verifica-se que a dimensão gerencial influencia diretamente os seguintes fatores pertencentes à dimensão estatística: 3E-*Variabilidade* e 2E-*Domínio estatístico*. Foi possível observar também que os resultados 1H- *Desempenho do produto* e 1S- *Imagem* são dependentes dos fatores 2E-*Domínio estatístico* e 3E-*Variabilidade*. Esta relação evidencia uma relação indireta entre os resultados e a dimensão gerencial.

Os resultados da análise discriminante múltipla indicam que a dimensão gerencial influencia também indiretamente benefícios *Soft* e *Hard*. Observando a relação existente entre a dimensão gerencial e a dimensão estatística é possível inferir que os fatores pertencentes à Dimensão Gerencial influenciam na busca pela redução da variabilidade e domínio estatístico. Já a redução da variabilidade e o domínio das cartas de controle estão diretamente relacionados ao desempenho do produto e imagem junto aos clientes.

Em relação a influência da dimensão gerencial na Dimensão Metodológica foi possível estabelecer que existe evidências de que a dimensão gerencial influencia diretamente nos seguintes fatores metodológicos 1M-*Pessoas*, 2M-*Articulação* e 5M-*Indicadores de desempenho*.

Indiretamente os resultados 1H-*Desempenho do produto* e 1S-*Imagem* são determinados pela dimensão metodológica. Sendo que 1H-*Desempenho do produto* é determinado pelos seguintes fatores metodológicos 1M-*Pessoas* e 2-*Articulação*.

Já na Dimensão *Soft* 1S-*Imagem* é determinado pelos seguintes fatores 1M-*Pessoas*, 2M-*Articulação*, 5M-*Indicadores de desempenho* e 4M-*Aplicação*. Apenas esta última dimensão (4M-*Aplicação*) não é influenciada diretamente pela

dimensão gerencial. Diante das relações apresentadas, conclui-se que não há evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese H_2 .

H_3 = Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os fatores pertencentes à Dimensão Estatística.

A figura 6.5 apresenta o modelo de causalidade proposto pela hipótese de pesquisa H_3 . Nesta figura é possível observar como a dimensão gerencial influencia os fatores representantes da dimensão metodológica e estes por sua vez são resultantes para a dimensão estatística.

Figura 6. 5 Modelo Conceitual: relação causal dimensão estatística



Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente observando-se os fatores pertencentes à dimensão metodológica que influenciam na dimensão estatística é possível inferir que os fatores *1M-Pessoas* e *04M-Aplicação* influenciam o Fator *1E-Atualização dos índices*. A condução das atividades do CEP por meio de uma equipe de melhorias demanda a atualização dos indicadores de processo tais como os limites de controle. Neste sentido, observa-se que os processos se tornam mais estáveis ao longo de consecutivas melhorias.

O Fator *2M-Articulação* da dimensão metodológica influencia no fator *2E-Domínio estatístico*. A utilização de pacotes computacionais, associados a uma intervenção por parte do cliente, em relação aos parâmetros do processo a serem controlados, contribuem para o domínio da ferramenta devido às exigências e expectativas dos clientes.

Já os fatores representantes da dimensão metodológica *1M-Pessoas* e *3M-Processo alvo* influenciam na dimensão estatística *3E-Variabilidade*. A busca pela redução da variabilidade está diretamente relacionada à articulação das pessoas, o desenvolvimento e cumprimento de metas de melhoria. Para tanto, verifica-se que a seleção de um processo chave para a aplicação das cartas de controle auxilia na redução da variabilidade.

Em resumo, há evidências estatísticas de que os fatores *1E-Atualização dos índices*, *2E-Articulação* e *3E-Variabilidade* pertencentes à dimensão estatística são influenciados pelos seguintes fatores metodológicos *1M-Pessoas*, *2M-Articulação*, *3M-*

Processo alvo e *4M-Significância prática*. Finalizando, observa-se também que apenas os fatores *1M-Pessoas* e *2M-Articulação* são influenciados pela dimensão gerencial. Portanto não há evidências de que a hipótese H_3 deve ser rejeitada. O quadro 6.2 apresenta a validação das hipóteses de pesquisa.

Quadro 6. 2 Validação das hipóteses

Hipótese de pesquisa	Descrição da hipótese	Validação da Hipótese
H_1	Existe relação de condicionalidade direta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto <i>Soft</i> como <i>Hard</i> .	Há evidência estatística para aceitar a hipótese
H_2	Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os resultados tanto <i>Soft</i> quanto <i>Hard</i> .	Há evidência estatística para aceitar a hipótese
H_3	Existe uma relação de condicionalidade indireta entre os FCS pertencentes à dimensão gerencial e os FCS pertencentes à Dimensão Estatística.	Há evidência estatística para aceitar a hipótese

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta seção buscou analisar e discutir as hipóteses de pesquisa apresentados nos capítulos iniciais. Realizada a validação de pesquisa se faz necessário apresentar os aspectos limitantes dos resultados. Neste sentido a próxima seção traz um conjunto de limitantes, que foram controlados durante a execução deste trabalho e que podem interferir no resultado desta tese.

6.6 Limitações.

Inicialmente serão apresentados os limitantes conceituais seguidos dos técnicos e metodológicos. Primeiramente destacam-se as limitações conceituais relacionadas à revisão de literatura, pois apesar do esforço em selecionar as principais obras que compõe o arcabouço teórico, alguns materiais importantes e relevantes podem ter sido desconsiderado devido à falha na seleção do material e por não ter acesso.

Apesar da quantidade suficiente de artigos e livros estudados para a elaboração desta tese, uma parte desconhecida do atual estado da arte não pôde ser acessada devido às limitações de tempo e recursos para pesquisar em base de dados que não fazem parte do portal de periódicos CAPES.

Com relação a limitações técnicas, destacam-se as dificuldades no desenvolvimento dos estudos empíricos realizados para a validação do questionário por especialistas empresariais. A limitação de tempo e a falta de adesão das empresas para

realização de estudos desse tipo, dentro de suas dependências, foram determinantes para os resultados obtidos.

Com relação à limitação metodológica, três pontos podem ser apontados como principais limitações. O primeiro deles diz respeito à necessidade de se tratar com populações mais homogêneas. Apesar de selecionar uma área de atuação específica como a autopeças, dentro deste setor encontram-se empresas com portes e características específicas, que interferem na aplicação das cartas de controle tais como volume e variedade de produção. Entretanto, não foram encontradas observações atípicas na amostra de pesquisa, e assim, os dados foram considerados adequados para a realização das análises estatísticas.

A segunda limitação metodológica trata-se da construção do questionário, pois este questionário devido às dimensões que se busca avaliar tornou-se muito extenso, o que pode ter resultado na redução da quantidade de casos válidos. A terceira limitação observada trata-se da pequena amostra de pesquisa utilizada, o que tornou impraticável o uso de ferramentas estatísticas mais sofisticadas como a Modelagem de Equações Estruturais (SEM).

O uso da ferramenta SEM possibilitaria uma análise global da relação de causalidade entre as dimensões pesquisadas. Dois fatores contribuíram para este fato. Em primeiro lugar, a constituição da população de interesse, já reduziu o número de possíveis observações. O segundo fator está relacionado, novamente, com a baixa participação das empresas em responder ao questionário. Ainda que se tenha adotado diversas ferramentas para facilitar o acesso a possíveis respondentes e aumentar a taxa de retorno da pesquisa.

7 IMPLICAÇÕES DOS RESULTADOS ENCONTRADOS NA TESE

Neste capítulo analisam-se as implicações dos resultados encontrados nessa tese, em comparação com a literatura estudada. Infelizmente no Brasil, os métodos estatísticos não são rotineiramente aplicados sobre o controle dos processos, eles são mais aplicados no controle de qualidade dos produtos acabados. Ao contrário, a literatura recomenda que o foco deva estar sobre os processos, para que esses gerem produtos com maior qualidade, melhore assim a produtividade e reduza os custos de fabricação.

Assim, baseado nas hipóteses de pesquisa desta tese, a dimensão gerencial assume um papel central nesse contexto, pois se credita aos investimentos em treinamento e infraestrutura, os efeitos positivos no uso de metodologias estatísticas, com resultados positivos para o desempenho da organização. Com foco nesses aspectos e com base nas análises anteriores, procura-se aqui delinear um conjunto de macro ações que podem nortear uma mudança de foco no uso dos métodos estatísticos para o controle de processos.

7.1 Conjecturas estatísticas, metodológicas e gerenciais.

Inicialmente, são apresentadas neste subitem algumas conjecturas relacionadas aos aspectos relacionados à dimensão estatística no que diz respeito aos seguintes fatores críticos: seleção correta das cartas de controle, observação dos pressupostos estatísticos, conhecimento estatístico sobre o processo e análise da capacidade dos processos. Posteriormente, apresenta-se a conjectura sobre a dimensão gerencial que analisa a articulação dos treinamentos, no qual o alto nível gerencial, que toma decisões estratégicas e se apresenta como o principal agente transformador. Finalizando, será também analisada as dimensões metodológicas, no que se refere ao controle de características de qualidade não críticas funcionais ou que não tenha impacto na segurança do produto, o que leva muitas vezes ao excesso de cartas de controle a altos custos de implantação, falta de atuação nas causas de variação e falta de conhecimento estatístico sobre o processo. Do ponto de vista dos resultados, sejam eles *Soft* ou *Hard*, não foram encontradas contradições em relação à literatura.

7.1.1 Dimensão estatística

Nota-se a partir da pesquisa de campo por amostragem, uma predominância no uso de cartas do tipo X/R e X/S por serem mais difundidas e de simples no uso. As cartas de controle por atributos são menos usadas e as cartas de controle do tipo CUSUM e EWMA são as com intensidade menor de uso. O mesmo ocorre com os gráficos de individuais de Shewart e de pequenos lotes. Esses dados mostram que as empresas pesquisadas apresentam um volume de produção cujo processo justifica o uso das cartas X/R e X/S. Os motivos para a não aplicação das cartas por atributo são desconhecidos e merece a atenção de trabalhos futuros.

Cartas de controle mais sofisticadas, tais como as multivariadas, CUSUM e EWMA, também necessitam uma investigação melhor por meio de estudos de casos que revelem se a baixa utilização destas cartas se deve a um desconhecimento da técnica por parte dos usuários ou, se nestes processos investigados seu uso realmente não é necessário.

Quanto à capacidade do processo, os usuários se preocupam em avaliá-la por meio dos indicadores CP, CPK, PP e PPK. Tal atitude adere-se com o referenciado na literatura. Entretanto, apesar de ser positivo o estudo de capacidade do processo, fazê-lo utilizando uma carta de controle inadequada pode levar a valores distorcidos. Há outros aspectos que surgiram que eram negligenciados ou omitidos, até meados do início do século XX.

Primeiramente, merece destaque a análise do desempenho do processo por meio da análise da distribuição de probabilidade da estimativa dos C_p e C_{pk} , detalhada em seus pormenores por Pearn e Lin (2004). O resultado do artigo produzido por esses autores possibilita testar hipóteses estatísticas H_0 , processo incapaz, contra H_1 , processo capaz para um dado nível de significância. Recentemente, Ali e Riaz (2014) generalizam as estimativas dos índices de capacidade para casos em que há misturas de distribuições de probabilidade. Observa-se um aprofundamento na discussão do tema, cujos avanços metodológicos e estatísticos são apresentados na literatura, porém ainda distantes da realidade das empresas e do ensino tradicional dos cursos de graduação das Universidades brasileiras.

Quanto à literatura, esse trabalho propõe a necessidade de investimentos em treinamento, indicando subliminarmente, em última instância, que a maioria dos gestores acredita que as pessoas envolvidas com o CEP não têm domínio adequado dos métodos estatísticos, e que, em geral, as empresas não analisam cuidadosamente em

quais processos deve-se usar o CEP. Por conseguinte, induz a outra falha, que é a identificação de causas do estado de fora de controle, ou seja, das causas especiais.

A literatura (MONTGOMERY, 2004) recomenda que as informações extraídas dos dados devam ser a base para a construção de planos de ação para estado fora de controle. Esses aspectos, juntamente com os aspectos estatísticos, constituem o amplo espectro de conceitos e ideias que envolvem o CEP que, negligenciadas, levam ao fracasso no uso desse importante instrumento gerencial. Portanto, há que se reforçar que o CEP não é somente os gráficos expostos na máquina, é toda uma sistemática e filosofia gerencial que deve culminar na melhoria contínua dos produtos e processos.

Percepções equivocadas sobre o CEP podem ser revertidas pela implantação de um esforço global da organização alicerçado pela liderança gerencial (em primeiro lugar), abordagem de equipe, educação dos empregados em todos os níveis, ênfase na redução de variabilidade, avaliação do sucesso em termos econômicos e criar mecanismos para comunicar os resultados de sucesso por toda empresa (MONTGOMERY, 2004).

7.1.2 Dimensão gerencial

Na subseção anterior relativizou-se a importância dos estatísticos no CEP. Cabe aqui destacar que os métodos estatísticos são relevantes e merecem a atenção dos gerentes, porém destacou-se na seção anterior que não são os únicos aspectos a serem considerados. Em relação à sua dimensão gerencial, no que se refere à capacitação e treinamento gerencial dos usuários, observa-se uma predominância em treinamentos específicos, uso de consultorias especializadas e sites de internet para a obtenção de conhecimentos sobre o CEP.

O que isso indica? Indica que as empresas tendem a buscar soluções rápidas e diretas no uso das cartas de controle, não querem demandar tempo em outras fontes de informação, em especial em trabalhos científicos, que não são frequentemente acessadas. Uma das razões para isso pode estar no acesso restrito à base de dados, e também ao fato do conteúdo dos trabalhos científicos estar distante da necessidade prática das empresas.

Em Woodall (2000) encontra-se alguns elementos sobre o impacto econômico das decisões e quanto à adaptação do CEP a esses fatos. O Manual do AIAG (2005) considera também os aspectos econômicos nas decisões do CEP. Woodall (2000) introduziu a questão ao considerar que pequenas mudanças no parâmetro

estatístico ao longo do tempo podem ter pouca ou nenhuma importância prática e que os custos de falsos alarmes desencorajam o uso de carta de controle. Em alguns processos isso não é prático do ponto de vista econômico.

No mesmo sentido, Montgomery (2004) argumenta que é comum encontrar indústrias que utilizam processos que têm um valor do índice de capacidade C_p / C_{pk} maior do que dois e que são muito difíceis de ajustar o processo. Neste caso, pequenas mudanças nos parâmetros estatísticos do processo podem não ser de interesse para a sua detecção, e eles recomendam que os usuários desenvolvam designs de gráficos de controle que tenham baixa probabilidade de detectar mudanças que não desejáveis de serem detectadas. Nessa linha de pensamento, Subramani e Balamurali (2012) propuseram novo tipo de gráficos de controle para as variáveis com base no processo de índices de capacidade C_p e C_{pk} necessária, chamado como “*control charts for variables with specified value for process capability indices*”.

Com essas informações, procura-se aqui mostrar que há uma evolução conceitual e metodológica do CEP em marcha, que abarca aspectos econômicos e práticas de fundamental interesse dos gerentes, e que, quando não considerados, são obstáculos intransponíveis para aqueles que se empenham no trabalho de melhorar os processos pelo do CEP.

7.1.3 Dimensão metodológica

O exposto na seção anterior tem conexões com os aspectos metodológicos da implantação do CEP. Do ponto de vista dos aspectos metodológicos, algumas práticas destoam do recomendado pela literatura estudada. Primeiramente, na visão dos praticantes, no que se refere ao uso de pacotes computacionais na condução das atividades do CEP, não é considerado relevante. Como justificativa para este fato, é sugerida que, por ser uma ferramenta para uso no nível operacional de decisão, no qual muitas vezes dispõe-se de formulários impressos, observado na etapa de campo desta pesquisa, torna-se mais simples a tarefa realizar os procedimentos de análise das cartas sem o uso de um sistema computacional com *software* específico.

Uma prática controversa na literatura diz respeito à aplicação das cartas de controle, na qual o CEP deve ser aplicado somente em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos. Observa-se que os respondentes das empresas selecionadas tendem a acreditar que não apenas as características críticas, funcionais e de segurança devem ser aplicadas às cartas de controle. Este resultado

indica que outras características também devem ser observadas para a implantação das cartas de controle. A consequência direta desta ação pode condicionar aos excessos de cartas de controle na fábrica, o que não é recomendado pela literatura. Parece, entretanto, que os gestores estão dispostos a lidar com esse problema de excesso de cartas de controle, em detrimento de um conjunto maior de características a serem controladas por outros meios de controle do processo.

O controle estatístico de processo pode fornecer significativo retorno à empresa (MONTGOMERY, 2004) e há muito mais envolvido no uso do CEP que as técnicas estatísticas. Em tese, é o cliente que decide sobre qual parâmetro do produto / processo deve ser monitorado. A pesquisa de campo indica um quadro mais complexo. A aplicação das cartas de controle pelos usuários aponta que além das solicitações dos clientes, outras características também devem ser observadas; outros, entretanto, concordam que apenas as características solicitadas pelos clientes devem ser monitoradas e o processo controlado.

O CEP não é um programa de uma só vez (MONTGOMERY, 2004) aplicado quando a empresa está com problemas, a melhoria deve se concentrar na redução da variabilidade e deve-se tornar parte da cultura da empresa. Deste modo, é importante medir o progresso e o sucesso em termos quantitativos, ou seja, em termos econômicos. Os custos de implantação não são intensivamente avaliados pelos gestores apesar de ser recomendado pela literatura estudada.

Em parte, este resultado pode ser atribuído às necessidades do setor, no qual, para se tornar fornecedor da indústria automobilística, demanda a existência de atividades de melhoria contínua e se prescreve o uso do CEP. Outra possível causa se deve ao fato de serem exaltados na literatura os benefícios econômicos derivados de uma implantação bem sucedida, sem que o custo deste procedimento seja claramente discutido.

7.2 Controvérsias da abordagem clássica e proposições de melhoria

Frente ao exposto na seção anterior, podem-se apontar algumas controvérsias no uso do CEP. A começar pela meta do sistema de controle do processo, que é identificar e orientar ações economicamente viáveis (WOODALL, 2000; AIAG, 2005), o que envolve considerar os custos de ações indevidas e os custos da não tomada de ações quando essas são necessárias.

Aqui há um claro contraponto com a teoria vigente. Por um lado, um processo é dito estar operando em estado de controle quando somente causas especiais estão operando; por outro lado, o cliente está interessado no resultado global do processo e esses atendem os requisitos de projetos.

Do ponto de vista do fabricante, ele não deseja interromper o processo indevidamente, gerando paradas de linhas com efeitos na produtividade e custos de produção; do ponto de vista dos clientes, os produtos tem que atender em alto grau as especificações da engenharia, cuja qualidade é sintetizada pelos índices de capacidade.

As decisões e os riscos a elas associados, envolvem a suposição de uma distribuição de probabilidade, cujas variáveis são independentes e autorregenerativas, e assim, resultados de desempenho futuro podem ser previsíveis. Ações sobre o sistema para reduzir as causas de variação comum envolvem a melhoria da capacidade do processo em atender as especificações de engenharia.

Portanto, antes de estimar os índices de capacidade e atuar nas causas comuns é recomendado agir sobre as causas especiais e obter um processo em estado de controle. Entretanto, considerando os aspectos econômicos, é tolerável em determinadas situações práticas, operar um processo fora de controle desde que os custos das ações sobre causas especiais excedam os benefícios obtidos. Esses argumentos foram apresentados na introdução deste trabalho.

Cabe à gerência promover ações de melhoria, prover recursos, desenvolver metas e estímulo à equipe. A gerência e alta administração fornecem os recursos para obter resultados econômicos. Em relação ao apoio para o CEP, este é bastante enfatizado na literatura e pelos respondentes desta pesquisa de campo, porém não está claro como o CEP traduz-se em resultados econômicos, uma vez que para os autores não há coesões em seus pontos de vista, que em geral são genéricos.

Essa tese considera que o apoio da alta administração pode ser traduzido na forma pela qual ela investe em treinamentos e fornece recursos para o programa. Porém, quais são os resultados esperados? Não há uma resposta objetiva a essa pergunta. Se a alta administração não vê resultados diretos no uso do CEP, qual a sua intensidade de apoio a esse programa?

Na mesma linha, o fator crítico “utilização de infraestrutura adequada”, diz respeito a uma série de recursos tangíveis que devem estar disponíveis para a execução das atividades do CEP. A infraestrutura para o funcionamento do CEP pode ser avaliada pelo fornecimento de recursos adequados.

As organizações têm necessidades diferentes sendo flexível a adoção de práticas tais como, uso de pacotes computacionais e controlar diversas características não solicitadas diretamente pelos clientes. Portanto, só é possível considerar a infraestrutura em termos de adequação às necessidades de cada organização, cabendo aos gestores do programa definir quais elementos são necessários para a melhor execução das atividades cotidianas do programa.

Associado aos aspectos metodológicos, emergem da pesquisa de campo alguns fatores, como o Empoderamento (fomentar a participação das pessoas envolvidas com o Programa CEP), articulação, processo alvo, aplicação e desempenho. Diretamente, poucos trabalhos na literatura recente sobre o uso das cartas de controle abordam o papel fundamental no sucesso do programa. Diante da observação do impacto deste fator sobre os resultados, recomenda-se aos gestores do programa CEP a investirem e se dedicarem a mecanismos que proporcionem o Empoderamento dos envolvidos diretamente com o programa CEP.

O fator articulação está associado à utilização de pacotes computacionais, parâmetros a serem monitorados e avaliação dos custos de implantação. A aquisição de programas computacionais guarda certa relação com a avaliação dos custos de implantação, uma vez que a utilização dos programas depende de recursos financeiros para aquisição do programa. Neste sentido, a determinação pelo cliente de quais parâmetros devem ser controlados demonstra a necessidade de atender prioritariamente às especificações do cliente com baixo investimento.

Observa-se que o fator “processo alvo” é determinado por meio da seleção de características a serem controladas pelas cartas de controle. Na opinião dos entrevistados são levados em consideração a motivação da equipe a controlar as características críticas da qualidade do produto. É possível descrever que a seleção de um processo para a implantação do CEP leva além das características críticas de qualidade o aspecto da motivação da equipe.

A questão da motivação da equipe e o controle das características críticas para a qualidade já haviam sido relatado separadamente pela literatura. Na prática, de acordo com a análise dos dados, observa-se que as empresas estudadas estão conciliando esses dois aspectos para a seleção de um processo para a implantação.

A formação do fator “aplicação” leva em conta questões relacionada ao treinamento e uso das cartas de controle para característica funcional. Neste sentido, observa-se que a preocupação dos gestores em abordarem não somente os conceitos

básicos, mas também o aspecto da aplicação, ou seja, em quais situações as cartas de controle devam ser aplicadas. Este fator mostra que as empresas estudadas se preocupam com o excesso de cartas de controle como um fator crítico para o sucesso do programa.

O outro fator identificado agrupa questões que se referem ao desempenho na medida. É possível observar a existência de uma tendência das empresas em preocuparem-se com a análise do sistema de medição e com o cumprimento de metas da qualidade. Esses resultados apontam que quando o CEP está sendo implantado, não é somente para atender às demandas do cliente, mas sim como uma parte do programa de melhoria.

No tocante a dimensão estatística, há muitos aspectos descritos na literatura, muitos deles já mencionados nas seções anteriores. Observa-se a manifestação de fatores já relatados diretamente na literatura relacionada à implantação das cartas de controle como, por exemplo: atualização dos índices, domínio na medida, variabilidade, significância prática.

O fator atualização dos índices, mostra um agrupamento das variáveis que se referem à revisão dos limites de controle e estimação dos limites de controle. Segundo a visão dos respondentes, essas são atividades correlatas, ou seja, há uma tendência das empresas, ao revisarem os limites de controle dos gráficos, de também realizarem o estudo de capacidade do processo. A literatura estudada referente aos manuais da qualidade e normas específicas do setor automobilístico alerta para a importância da realização adequada destas atividades em conjunto. Infelizmente, o uso de parâmetros estimados pode levar a erros de estimativa dos limites de controle na fase I degradando o desempenho do gráfico de controle na Fase II (EPPRECHT *et al*, 2015; SALEH *et al*, 2015).

O desempenho de um gráfico de controle é avaliado de acordo com a sua capacidade de detectar causas especiais e com o menor erro de tipo I. Este desempenho na Fase II é obtido através do valor esperado da extensão de execução (RL), ou seja, como comprimento médio até a detecção de um ponto fora dos limites (ARL) e desvio-padrão de comprimento médio (SDRL), influenciada pelos parâmetros estimados. Portanto, os artigos têm mostrado os efeitos parâmetros estimados na fase I sobre o desempenho do CEP na fase II, para diferentes combinações de m (Número de amostras) e n (tamanho da amostra).

Entretanto, os estudos indicam um número de amostras na fase I superior a 1200, para que as estimativas dos limites de controle se aproximem do resultado de ARL quando os parâmetros são conhecidos, o que é inviável do ponto de vista prático. Recomenda-se a leitura do trabalho de Saleh *et. al.* (2015) para aprofundar nesta questão, cujos resultados do artigo apontam a discrepância significativa entre os valores teóricos do ARL para um processo sob controle com parâmetros conhecidos.

Assim, sabe-se que os limites de controle e o ARL são variáveis aleatórias decorrentes dos erros de estimativas. Uma saída apontada é acumular as amostras coletadas ao longo do tempo de modo a minimizar os erros de estimativa. Fica então a pergunta: por que recalculamos os limites de controle? A proposta desta tese é que se acumulem as amostras para que ao longo do tempo os erros de estimativa dos limites de controle sejam minimizados.

Aproveitando-se da ideia inicial de Woodall (2000), considerando também os aspectos econômicos envolvidos nas decisões tomadas sobre o processo de acordo com a AIAG (2005), e também a utilização de uma abordagem integrada do índice de capacidade de processo em conjunto com os gráficos de controle estatístico é possível encontrar o melhor design de controle do gráfico em termos de número de amostra na primeira fase, e tamanho da amostra (n) na fase I e II, para melhorar o desempenho na detecção de causas especiais e para reduzir a probabilidade de efeito de falsa rejeição de causas especiais de modo mais econômico possível.

Feitas essas considerações, o fator que diz respeito ao domínio na medida, agrupa aspectos estatísticos que se referem ao domínio adequado da técnica e a correta tomada de decisão. Os resultados da pesquisa de campo mostram que caso as pessoas tenham um domínio adequado da estatística, elas intervêm no processo com maior assertividade. Portanto, investimentos em treinamentos devem ser oferecidos constantemente aos envolvidos com o CEP, para que estes tenham um domínio estatístico melhor buscando o empoderamento da equipe, para a obtenção de melhores resultados.

O fator variabilidade é composto pelas variáveis relacionadas à estabilidade do processo, pressupostos estatísticos e atuação nas causas de variação. Neste sentido, observações dos pressupostos estatísticos auxiliam nas tomadas de decisões sobre a estabilidade do processo. A busca pela redução da variabilidade passa pelo processo de mensuração da variabilidade. Assim, cabe aos gestores intensificar os treinamentos no ferramental estatístico vinculados ao uso das cartas de controle tais

como: normalidade, tamanho amostral, formação de subgrupos amostral, capacidade e capacidade do processo dentre outros para que se tenha uma avaliação precisa da variabilidade.

O último fator identificado na dimensão estatística se refere à significância prática. Observa-se que este fator não se agrupa aos demais, indicando um comportamento diferenciado. É possível inferir por meio da análise descritiva que a maior concentração de respostas está nos níveis mais elevados.

Sendo assim, em sua maioria, os gestores realizam intervenções no processo apenas quando julgam ser economicamente viável, mesmo em se tratando de uma causa especial. A combinação entre a falta de domínio adequado da ferramenta e significância prática pode causar problemas por não intervir no processo quando necessário, uma vez que a confiança em medidas de estabilidade equivocada pode levar ao mascaramento da necessidade de intervir de imediato no processo causando perdas financeiras.

A relação entre custo e benefício deve ser avaliada antes da tomada de decisão sobre uma possível intervenção no processo. Apesar de a literatura enfatizar a necessidade de intervir no processo quando ocorrer causas especiais vale lembrar que é estatisticamente possível aparecer uma causa especial nos gráficos de controles gerados por alarmes falsos. Desta forma, não sendo necessárias intervenções no processo produtivo para que o mesmo volte a sua estabilidade.

No que se refere aos benefícios *Hard*, observa-se a manifestação de fatores já relatados diretamente na literatura relacionada às cartas de controle como, por exemplo: melhoria no desempenho do produto e processo além da eficiência. O primeiro fator identificado diz respeito ao desempenho do produto. Na constituição deste fator, as variáveis presentes são a utilização das cartas de controle como ferramenta para avaliar as características de desempenho no que se refere à decisão de compra de equipamento, ganhos de produtividade e desempenho do produto. Neste sentido, pode-se observar que a estabilidade do processo está relacionada ao desempenho dos produtos.

Um ponto pouco discutido na literatura diz respeito à utilização do CEP como ferramenta para decidir sobre o desempenho do equipamento a ser adquirido. Esta tese propõe que esta prática deva ser adotada como critério objetivo na compra de equipamentos. Pois, em um comparativo entre equipamentos para a escolha de compra,

não considerar a variabilidade do item produzido poderá acarretar em perda de eficiência e custos de produção maiores.

O segundo fator observado diz respeito ao desempenho do processo. Os resultados indicam que a redução da variabilidade por meio do programa CEP traz o retorno financeiro esperado na opinião dos respondentes. Na dimensão *Hard* o fator eficiência nos mostra que a relação entre a redução dos prazos de entrega e o retorno esperado com o programa.

No que se refere aos benefícios *Soft*, observa-se a manifestação de fatores tais como: imagem, solucionar problemas, envolvimento. É observado o agrupamento de algumas variáveis para compor o fator Imagem. Neste fator o CEP fortalece a relação entre os elos da cadeia produtiva. Neste sentido, as empresas que utilizam bem as cartas de controle e sabem divulgar para seus clientes esse resultado, são mais bem vistas que seus concorrentes diretos.

Cabe mencionar que um dos principais indicadores utilizados pelas montadoras automotivas para avaliar a qualidade de seus fornecedores diz respeito à estabilidade e conformidade dos itens produzidos. Uma das melhores maneiras de se checar estas informações é por meio das cartas de controle. Outra forma de se relacionar às cartas de controle a melhoria da imagem está na utilização eficiente desta ferramenta para projetos de melhoria. Desta forma, as cartas de controle podem comprovar a estabilidade do processo bem como auxiliar na identificação das causas de variação.

Os resultados apontam a importância de utilizar o CEP no contexto das abordagens de melhoria como um instrumento auxiliar na resolução de problemas, é possível verificar que o uso correto das cartas de controle possibilitam uma melhoria na capacidade dos envolvidos para resolver problemas e apresentar soluções criativas para solucionar problemas. Recomenda-se aos gestores utilizarem as cartas de controle intensivamente como ferramenta para desenvolver seus projetos de melhorias, assim como a literatura também enfatizar as cartas de controle como ferramentas dentro de abordagens de melhorias tais como: Seis Sigma, Lean Sigma, Lean Manufacture, TPM, TQM e Kaizen.

Observaram-se também pelos resultados apresentados, que a utilização das cartas de controle auxilia na motivação das pessoas por meio do aprimoramento da capacidade das pessoas em resolverem problemas. Diante desta constatação, cabe aos gestores observarem boas práticas e fomentarem a participação e o envolvimento das pessoas no programa CEP. Apesar de ser considerada uma ferramenta estatística, é

necessário que os níveis mais elevados de decisão observem e tenham plena consciência de como essa ferramenta será manuseada, uma vez que aspectos ligados a relações humanas se apresentam como um dos principais componentes na utilização correta da carta de controle.

7.3 Proposições de melhoria para a aplicação das cartas de controle

Nas seções precedentes deste capítulo procurou-se mostrar algumas das constatações observadas na pesquisa de campo por amostragem. Por exemplo, a predominância no uso de cartas do tipo X/R e X/S e o pouco uso cartas de controle por atributos, e com intensidade ainda menor o uso das cartas de controle do tipo CUSUM e EWMA. Observou-se também uma predominância em treinamentos específicos, e uso de consultorias especializadas e sites de *internet* para a obtenção de conhecimentos sobre o CEP. Do ponto de vista dos aspectos metodológicos, constatou-se que algumas práticas destoaram do recomendado pela literatura estudada.

Nesta subseção é apresentada proposições de melhoria para que os gestores do programa CEP aprimorem suas práticas de condução das atividades de um programa institucionalizado. A base das presentes recomendações está nos resultados das análises das relações de causalidade identificadas no capítulo precedente.

Primeiramente, é fato conclusivo que os resultados aqui obtidos apontam que o Empoderamento dos envolvidos possa ser obtido por meio do desenvolvimento de ações de melhoria juntamente com o apoio da alta administração. A recomendação aos gestores indicada pela literatura a essa constatação é investir no desenvolvimento de projetos de melhoria apoiados pela alta administração por meio de treinamentos focados em métodos, técnicas e ferramentas de suporte à solução de problemas. Uma ação desta natureza contribui para a motivação da equipe envolvida com o CEP.

Constatou-se também que a articulação das atividades do CEP está condicionada ao apoio da alta administração no suporte as atividades em termos de infraestrutura. Entretanto, constatou-se o uso limitado de software específico. A justificativa é que, por ser uma ferramenta para uso no nível operacional de decisão, no qual muitas vezes dispõe-se de formulários impressos, torna-se mais simples a tarefa realizar os procedimentos de análise das cartas, sem o uso de um sistema computacional com *software* específico.

A partir desta constatação, e discordando da mesma em parte, recomenda-se que, dado que nos tempos atuais há disponibilidade de tecnologia da

informação para armazenar e analisar os dados em tempo real, a operacionalização do programa CEP seja feita por meio da utilização de pacotes computacionais. Os investimentos em infraestrutura para o funcionamento adequado das atividades do programa estão vinculados ao apoio financeiro e aos investimentos que a alta administração está disposta a realizar para o sucesso do programa. Se isso não ocorrer ou for feita, pode-se afirmar que o sucesso do programa é comprometido.

Observou-se que o fator determinante para se alcançar as atualizações periódicas dos limites e na análise da capacidade do processo está no Empoderamento e na aplicação e seleção eficiente da carta de controle. Neste sentido, as revisões periódicas dos índices de capacidade do processo estão correlacionadas à tomada de decisão e pró-atividade da equipe de melhoria. Porém, isso só vai ocorrer se a equipe for treinada e motivada no uso do CEP. Portanto, esse fato é condição para o sucesso do programa.

Do mesmo modo, o domínio estatístico é condicionante para o sucesso do CEP, visto que o uso das cartas de controle é obtido quando a alta administração realiza investimentos em infraestrutura e articulação metodológica das técnicas e ferramentas. Assim, o apoio da alta administração, associado ao investimento em infraestrutura, além de treinamento adequado das pessoas envolvidas, são condicionantes para a obtenção da estabilidade do processo.

Em relação à redução da variabilidade, observou-se que este resultado pode ser alcançado por meio de investimentos em ações de melhoria em processos específicos e aperfeiçoamento técnico no ferramental estatístico dos participantes do CEP. Além destes fatores já mencionados, o empoderamento assume um importante papel dentro desta sistemática de busca pela redução da variabilidade, bem como a definição a seleção de processos nos quais as cartas de controle devem ser aplicadas.

Um dos objetivos do programa é melhorar a qualidade dos produtos e processos, e isso também está relacionado ao apoio da alta administração por meio de investimento em infraestrutura, domínio estatístico sobre o processo, busca sistemática pela redução da variabilidade, busca pela significância prática, Empoderamento e articulação das técnicas e ferramentas.

Já o avanço sistemático no desempenho do processo está correlacionado ao desenvolvimento de ações de melhoria orientadas pela redução da variabilidade e empoderamento dos funcionários envolvidos com o CEP. Observou-se também que a

melhoria no desempenho do processo está diretamente relacionando ao apoio da alta administração no sentido de propor metas de desempenho para o processo.

Do mesmo modo, a melhoria na imagem da organização, no que diz respeito à sua relação com a montadora, depende de um conjunto de fatores, tais como: i) o desenvolvimento de ações de melhoria, treinamentos; ii) Infraestrutura adequada para o desenvolvimento das atividades do CEP; iii) domínio estatístico sobre o processo, busca pela redução da variabilidade, empoderamento dos funcionários, articulação da ferramenta, aplicação da técnica e desempenho na medida. O que depende do envolvimento dos colaboradores com o programa.

Essas constatações, amplamente conhecidas e comentadas e discutidas pelos denominados Gurus da Qualidade (Juran, Deming, dentre outros), não são *a priori* praticadas pelas organizações nas quais os respondentes desenvolveram suas atividades profissionais relacionadas ao CEP. O que indica certa “decepção” no que de fato se pratica no Brasil, em termos das atividades do controle estatístico do processo. E onde está o gargalo? O principal gargalo está no desenvolvimento de ações de melhoria, no apoio da alta administração em relação às iniciativas do programa, na obtenção do domínio estatístico.

O Quadro 7.1 mostra a síntese dos problemas encontrados na aplicação das cartas de controle adotadas pela maioria das empresas pesquisadas que, de certa forma, não estão alinhados às recomendações da literatura e que necessitam ser reavaliadas. As recomendações estão listadas na última coluna do quadro.

Quadro 7. 1 Síntese dos problemas identificados e recomendações

NÍVEL DE DECISÃO	DIMENSÃO	PROBLEMAS IDENTIFICADOS	RECOMENDAÇÕES
TÁTICO	ESTATÍSTICA	Baixa utilização de cartas de controle por atributo, CUSUM e EWMA	A alta administração deve investir em treinamentos que demonstrem situações práticas a utilização de cartas de controle adequada.
		Análise de capacidade do processo em cartas inadequadas	Devem ser demonstrados nos treinamentos os impactos da seleção equivocada das cartas de controle.
	METODOLÓGICA	Utilização de pacotes computacionais	Este fator crítico deve em parte ser revisto, pois muitas vezes as organizações menores não necessitam de tal investimento. Observações práticas denotam que o nível operacional utiliza planilhas impressas.
		Não analisar corretamente o processo para a implantação do CEP	Aplicar as cartas de controle apenas em situações que os gestores consideram importantes, mesmo na fase de piloto. O programa CEP deve ser utilizado de forma intensiva nas empresas
		Avaliação do custo &	Recomenda-se aos gestores avaliarem

		benefício	corretamente os custos de implantação. Entre os principais custos envolvidos estão à necessidade de consultorias, treinamentos e licença de pacotes computacionais.
		Excesso de cartas de controle	Inicialmente os gestores devem atender integralmente às solicitações de seus clientes. Feito isso a segunda pergunta que os gestores devem se fazer é se ele dispõe de todas as informações de que gostaria para a tomada de decisão sobre o processo. Finalmente os gestores devem se perguntar se tem condições de trabalhar de maneira eficiente com estas informações.
ESTRATÉGICO	GERENCIAL	Acesso a fontes de informações confiáveis	Os gestores devem repensar os critérios de busca de informações pelos gestores que devem buscar fontes de informações mais confiáveis
		Infraestrutura e Disponibilidade de recursos	A infraestrutura necessária para o funcionamento do programa CEP pode variar substancialmente em função do que é produzido e tamanho da empresa e número de funcionários. Portando cabe aos gestores decidirem a respeito da infraestrutura necessária e principalmente é necessário que a alta administração disponibilize e cobre resultados realistas do programa
		Empoderamento do nível operacional	Este é o componente de maior impacto nos resultados do programa, cabe aos gestores fomentarem o Empoderamento dentro de sua organização de forma sistemática e contínua.
		Treinamento estatístico, metodológico e gerencial.	Os treinamentos devem ocorrer de forma constante dentro das organizações evidenciando na pratica o uso das cartas de controle. Nestes treinamentos todos os fatores críticos devem ser abordados. Obviamente cabe um treinamento direcionado em aspectos estatísticos e metodológicos ao nível de decisão operacional e também cabem ao nível gerencial treinamentos em aspectos gerenciais e metodológicos
		Domínio inadequado da ferramenta	O domínio adequado das cartas de controle passa por treinamentos específicos para o nível operacional em aspectos estatísticos e metodológicos.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

8 CONCLUSÃO

Esta tese pontuou como os FCS distribuídos nas dimensões propostas por Firka (2011) interagem e são responsáveis pela obtenção dos benefícios esperados com o programa CEP. Para isso, conduziu-se uma pesquisa de campo com os gestores responsáveis pelo programa CEP de empresas do setor de autopeças observando as tendências de práticas que são adotadas a fim de identificar como alguns FCS são operacionalizados, salientando os problemas enfrentados no uso dessas técnicas e como as descobertas decorrentes podem contribuir para avanços no uso das cartas de controle.

O delineamento do referencial teórico clássico sobre os métodos estatísticos para o monitoramento, controle e melhoria dos processos revelou a existência de 45 FCS que devem ser lembrados pelos gestores para o sucesso de seus programas possibilitando aos gestores uma ampla visão da complexidade da implantação eficiente das cartas de controle.

Ao longo desta tese, em especial no capítulo anterior, buscou-se apontar por meio da literatura os avanços conceituais sobre CEP e estabelecer os fatores condicionantes para o sucesso do controle estatístico do processo e proposições de algumas recomendações, tendo como pano de fundo o referencial teórico clássico.

Partindo desse ponto, observaram-se fatos controversos à prática do CEP. Segundo a literatura, o CEP é uma abordagem bem estabelecida e tem a finalidade de compreender, monitorar, controlar e melhorar o desempenho dos processos produtivos ao longo do tempo (BURR, 1976; FLORAC *et. al.*, 2000; WOODALL, 2000; JALOTE; SAXENA, 2002); portanto, sua utilização é fundamental para a estabilização do processo, por meio da identificação das causas de variação. Por outro lado, há autores que afirmam que a meta do sistema de controle do processo é identificar e orientar ações economicamente viáveis (WOODALL, 2000; AIAG, 2005), o que envolve considerar os custos de ações indevidas e os custos da não tomada de ações quando essas são necessárias. O que conclui-se, considerando esses dois pressupostos teóricos, é que o uso da abordagem clássica do CEP sem levar em conta os custos do processo operacional é inviável. Essa percepção de custos foi recentemente introduzida nas novas teorias sobre o CEP, e deve ser levada em conta pelos praticantes e nos treinamentos que esses recebem.

Constatou-se nesta tese que esse aspecto é crítico para o sucesso. Pois, do ponto de vista do fabricante, esse não deseja interromper o processo indevidamente,

para não gerar paradas de linhas economicamente inviáveis, com efeitos na produtividade e custos de produção. Esse fato é fundamental para o apoio da alta gerência, em que sem esse apoio é quase que certo o fracasso do programa CEP.

Em razão do fraco apoio institucional, o otimismo com o uso do CEP não é compartilhado por todos os especialistas na área. Há contestações bem observadas por Woodall (2000) que foram também observadas neste trabalho de pesquisa de campo. É inegável, entretanto, que, no ponto de vista desta tese e com base na literatura, o CEP, pautado na redução da variabilidade e na padronização dos processos, contribuiu significativamente para a qualidade total dos produtos e redução de custo. O conceito de variabilidade está difundido na manufatura; e o pensamento estatístico é uma filosofia de aprendizagem baseada no princípio de que a melhoria da qualidade é fruto da redução da variabilidade dos processos produtivos (MAKRYMICHALOS, 2005), de modo que se reconhece a existência das variações nos processos. Para alguns autores, eliminar as causas de variação no processo possibilita a melhoria da qualidade dos produtos (DEMING, 1996; JURAN e GODFREY, 1999; MONTGOMERY e RUNGER, 2003; MONTGOMERY, 2010). Cabe citar também Bessant, Caffyn e Gallagher (2001), que destacam a importância do comprometimento de todos os níveis hierárquicos da organização com a melhoria da qualidade e da produtividade. Assim, é a gestão o elemento central do processo do CEP, é não simplesmente focar a técnica sem considerar a estrutura e contexto organizacional, que envolve uma ampla gama de fatores centrado nos indivíduos. Essa é uma discussão que precisa ser aprofundada em futuras pesquisas: colocar o homem no centro do processo e não a técnica.

Devido à quantidade elevada de FCS e benefícios relatados na literatura foi necessário se concentrar em alguns tipos como mais relevantes e recorrentemente citados. Após esta primeira seleção, observou-se características semelhantes entre, alguns FCS e benefícios possibilitando seu agrupados por meio de Análise Fatorial resultando assim em um número menor de fatores, sem perda significativa de informações.

A Análise Fatorial possibilitou ainda evidenciar comportamentos e tendências sutis. O Empoderamento se apresenta como um dos Fatores mais relevantes que foram gerados e que merecem uma atenção especial por estar fortemente relacionado à obtenção dos Benefícios (*Hard e Soft*). Embora este fator seja descrito e presente dentro das abordagens de melhoria como condicionante para o sucesso dos

projetos de melhoria, por muitas vezes é negligenciado pelos gestores em especial pelos que enaltecem e se concentram nos aspectos da Dimensão Estatística.

Com base nos resultados da Análise Fatorial, determinaram-se quais FCSs são decisivos para a obtenção dos benefícios. Assim por meio da Análise de Regressão Múltipla foi possível concluir que todas as diferentes dimensões estudadas (Estatística, Gerencial e Metodológica), atuando em conjunto, são importantes para compor os benefícios dos programas CEP. Cabe aos gestores não priorizar apenas um das dimensões e sim reconhecer a múltiplos fatores e níveis de decisão que envolve a implantação e manutenção das atividades do programa nas organizações.

Com base nos resultados da análise de Regressão Múltipla é possível concluir que a Dimensão Gerencial assume um papel central que além de ser diretamente influente nos benefícios também assume uma relação indireta com os benefícios por meio da influencia direta nas dimensões Estatística e Metodológica. A dimensão Metodológica influencia diretamente a dimensão Estatística e os benefícios *Hard* e *Soft* do programa. Finalizando, a Dimensão Gerencial também influencia indiretamente os benefícios do programa por meio da influencia direta na Dimensão Estatística.

Em outras palavras, o apoio da Alta administração materializado pelo desenvolvimento de ações de melhoria, disponibilidade de recursos e infraestrutura para o funcionamento do CEP assume um papel central no sucesso do programa CEP. Esses elementos da dimensão Gerencial são determinantes para a condução eficiente das atividades do programa tais como seleção do processo e características de qualidade a serem controladas. Portanto a maneira pela qual a empresa conduz suas atividades além de ser condicionante para os benefícios do programa também reflete nas atividades Estatísticas que por sua vez também reflete nos benefícios sejam eles *Hard* ou *Soft*.

Confirmou-se que todas as dimensões são igualmente importantes para a obtenção dos benefícios sejam eles *Soft* ou *Hard*. Os resultados desta tese podem auxiliar os gestores do CEP no fomento dos resultados dos programas da organização. Sendo que os resultados desta tese possibilitam aos gestores devem observar quais benefícios necessitam ser fomentado dentro de suas organizações e assim verificar quais FCS são mais influentes para o benefício esperado.

Com base no objetivo estabelecido e resultados alcançados é possível ainda concluir que esta tese contribuiu para a literatura demonstrando o relacionamento

existente e a influência da dimensão gerencial nas dimensões metodológica, estatística, além de sua influência nos resultados *Soft e Hard*.

A principal conclusão deste trabalho é que o uso das cartas de controle deve fazer parte do cotidiano das empresas, não apenas para atender as exigências legais as quais as empresas estão sujeitas, como é o caso da indústria automobilística. Esse é um resultado que deveria ser óbvio, porém o contrário é praticado pelas empresas pesquisadas. Se as cartas de controle devem ser utilizadas como método de melhoria, o seu uso irracional não contribuirá para isso.

Como já mencionado no início deste capítulo, delineou-se um conjunto de FCS relacionados ao CEP, e de benefícios obtidos a partir deste. Neste sentido, cabe aqui propor trabalhos futuros complementares ao desta tese, no sentido estudar de forma quantitativa, certos FCS ainda não abrangidos. Porém, que possam contribuir na obtenção de resultados melhores aqueles observados na pesquisa de campo.

Com base nas limitações apresentadas, e no entendimento de que o fenômeno estudado não se esgota neste trabalho. Fica como sugestão um estudo mais profundo, com um número amostral que permita generalizações, envolvendo outros FCS não utilizados nesta tese, com o objetivo de verificar qual é o tipo de impacto (positivo ou negativo) sobre os benefícios *Soft e Hard* do programa.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. F. *et. al.* Relationship of TQM and business performance with mediators of SPC, lean production and TPM. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 65, p. 186-191, 2012.
- AHMED, A.; KHAN, I.; GHOSH, M. K. SPC Implementation in Pharmaceutical Industry for Material Flow Management. **Interscience Management Review (IMR)**, ISSN, p. 2231-1513, 2012.
- ALI, S.; RIAZ, M. On the generalized process capability under simple and mixture models. **Journal of Applied Statistics**, v. 41, n. 4, p. 832-852, 2014.
- ANFAVEA. Guia setorial da indústria automotiva. Disponível em <http://www.autodata.com.br/arquivos/bag2014/files/assets/common/downloads/BAG_2014_200dpi.pdf> Acesso em Dez. 2014.
- ANGHEL, C. *Statistical Process Control Methods from the Viewpoint of Industrial Application*. **Economic Quality Control**, v. 16, n. 1, p. 49-63, 2001.
- ANTONY, J.; BALBONTIN, A.; TANER. Key ingredients for the effective implementation of statistical process control. **Work study**, v. 49, n. 6, p. 242-247, 2000.
- ANTONY, J; TANER, T. A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. **Business Process Management Journal**, v. 9, n. 4, p. 473-489, 2003.
- ASQ/AIAG **Measurement Systems Analysis Reference Manual**, Third Edition, 2002
- ASQ/AIAG **Statistical Process Controls (SPC) Reference Manual**, ed. 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ISO/TS 16949:2009: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2008 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes. Rio de Janeiro, 2009. 45 p.
- BASILEVSKY, A. *Statistical Factor Analysis and Related Methods: Theory and Applications*. New York: Wiley Interscience, 1994.
- BEER, M.; EISENSTAT, R. A.; SPECTOR, B. Why change programs don't produce change. **Harvard business review**, v. 68, n. 6, p. 158-166, 1989.
- BEER, M.; NOHRIA, N. Cracking the code of change. **Harvard business review**, v. 78, n. 3, p. 133, 2000.
- BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. *An evolutionary model of continuous improvement behavior*. **Technovation**, v. 21, p. 67-77, 2001.
- BESTERFIELD, D. H.. **Quality control**. 2 ed. Englewood Cliffs: Prentice-hall, c1986. 358 p.

BEVILACQUA, M. *et. al.* Implementation of a quality procedure based on Delphi method and the ISO/TS 16949: 2009 in the production of stainless steel tubes for automotive exhaust systems. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 28, n. 8, p. 841-866, 2011.

BHOTE, K. R. SPC Made Easier, Simpler, More Statistically Powerful. **Target**, v. 3, 1987.

BURR, I. W. **Statistical quality control methods**. New York: Marcel Dekker, c1976. 522 p.

CASTRO, B. H. R.; BARROS, D. C.; VAZ, L. F. H. Além da engenharia: panorama do capital nacional na indústria automotiva brasileira e insights para uma política pública rumo ao desenvolvimento de tecnologia automotiva no Brasil. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 40, p. 385-425, 2014.

CASTAGLIOLA, P. et al. Monitoring the coefficient of variation using control charts with run rules. **Quality Technology and Quantitative Management**, v. 10, n. 1, p. 75-94, 2013.

CASTAGLIOLA, P. et. al. The exact run length distribution and design of the S2 chart when the in-control variance is estimated. **International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering**, v. 16, n. 01, p. 23-38, 2009.

CASTAGLIOLA, P.; MARAVELAKIS, P. E. A CUSUM control chart for monitoring the variance when parameters are estimated. **Journal of Statistical Planning and Inference**, v. 141, n. 4, p. 1463-1478, 2011.

CAUCHIK-MIGUEL, P. A. *et. al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CHAMPAGNE, M.; DUDZIC, M. *Industrial use of Multivariate Statistical Analysis for process monitoring and control*. In: **AMERICAN CONTROL CONFERENCE**, 2., 2002, Alasca. **Anais...** Alasca: IEEE, 2002. p. 594-599.

COLIN, J.; VANHOUCHE, M. Setting tolerance limits for statistical project control using earned value management. **Omega**, v. 49, p. 107-122, 2014.

COSTA, A. F. B. *et. al.* Gráfico de controle MCMAX para o monitoramento simultâneo do vetor de médias e da matriz de covariâncias. **Gestão & Produção**, v. 17, p. 149-156, 2010.

COSTA, A. F. B. et .al. *Monitoring the process mean and variance using synthetic control chart with two-stage testing*. **International Journal of Production Research**, v. 47, p. 5067-5086, 2009.

DEMING, W. E. How to go out of the crises. **PS Grmeč, Beograd**, p. 30, 1996.

DUNCAN, A. J.. **Quality control and industrial statistics**. 4 ed. Homewood: Richard D. Irwin, 1974. 1047 p.

DZULINSKI, A. C. **Análise teórica da aplicação do CEP para atendimento à norma ISO TS 16949: estudo de caso em uma fundição de alumínio localizada na região dos Campos Gerais no Paraná.** 2012. 40 f . Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

ECKES, G. A **Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros.** Rio de Janeiro: Campos, 2001.

EPPRECHT, Eugenio K. Statistical Control of Multiple-Stream Processes: A Literature Review. In: **Frontiers in Statistical Quality Control 11.** Springer International Publishing, 2015. p. 49-64.

EVANS, J. R.; LINDSAY, W. M. **The management and control of quality.** 1999.

FÁVERO, L. P.; *et. al.*. **Análise de dados: modelagem multivariada para a tomada de decisões.** Rio de Janeiro: Campus, 2009.

FIRKA, D. *Statistical, technical and sociological dimensions of design of experiments.* **The TQM Journal**, v. 23, n. 4, p. 435-445, 2011.

FLORAC, W. *et. al.* Statistical process control: analyzing space shuttle onboard software process. **Software, IEEE**, v. 17, n. 4, p. 97-106, 2000.

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

GALUCH, L. Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle estatístico do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras. **Tese (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina**, 2002

GARCIA, J. *Análise de la información mercadológica através de la estadística multivariante.* Ciudad de Mexico, Alhambra Mexicana, 235p., 1995.

GONZALEZ, P. S. M. U. **Índices de capacidade do processo para distribuições não normais: uma aplicação na indústria metalúrgica.** 2013. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GORDON, M. E. et al. Factors associated with the success of the implementation of statistical process control. **The Journal of High Technology Management Research**, v. 5, n. 1, p. 101-121, 1994.

GRAÇA *et. al.* The role of TQM in strategic product innovation: an empirical assessment. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 10, p. 1307-1337, 2014.

GRAHAM, M. A.; HUMAN, S. W.; CHAKRABORTI, S. A Phase I nonparametric Shewhart-type control chart based on the median. **Journal of Applied Statistics**, v. 37, n. 11, p. 1795-1813, 2010.

GRIGG, N.; WALLS, L. The role of control charts in promoting organizational learning: New perspectives from a food industry study. **The TQM Magazine**, v. 19, n. 1, p. 37-49, 2007.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. Prentice Hall Press, 2007.

HACK, P.S. **Influência da incerteza de medição no uso de cartas de controle**. 2012. Tese (Doutorado em engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2012.

HAIR, J. F. *et. al.* **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 688p.

HAYES, G. E.; ROMIG, H. G. **Modern quality control**. Encino: Bruce, c1977. 849 p.

HEIFETZ, R. A.; LINSKY, M. A survival guide for leaders. **Harvard business review**, v. 80, n. 6, p. 65-74, 2002.

HOERL, R. W.; SNEE, R. D. Closing the gap. **Quality Progress**, v. 43, n. 5, p. 52-53, 2010.

HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade: guia pratico para a implementação do controle estatístico de processos-CEP**. McGraw-Hill, 1989.

IMAI, M. **Gemba Kaisen: A common sense, low-cost approach to management**. McGraw-Hill, New York, 1997.

JALOTE, P.; SAXENA, A. Optimum control limits for employing statistical process control in software process. **Software Engineering, IEEE Transactions on**, v. 28, n. 12, p. 1126-1134, 2002.

JENSEN, W. A. *et. al.* Effects of parameter estimation on control chart properties: a literature review. **Journal of Quality Technology**, v. 38, n. 4, p. 349-364, 2006.

JOBSON, J. D. **Applied multivariate data analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1992. 731 p.

JORGENSEN, F.; BOER, H.; GERTSEN, F. *Jump-starting continuous improvement through self-assessment*. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 10, p. 1260-1278, 2003.

JURAN, J.M.; GODFREY, A.B. **Juran's quality handbook**. 5 ed. New York: McGraw Hill, 1999. 1872 p

KOLARIK, W. J. **Creating quality: concepts, systems, strategies, and tools**. New York: McGraw-Hill, 1995.

KORZENOWSKI, A. L. **Controle estatístico do processo aplicado a ambientes customizados**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

- KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Gente, 1993. 245 p.
- LAM, A. **Organizational innovation**. In: FAGERBERG, J; MOWERY, D. C; NELSON, R. R. *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2005. 656 p.
- LEAVENWORTH, R. S.; GRANT, E. L. **Statistical quality control**. Tata McGraw-Hill Education, 2000.
- LEVINSON, W. A. **Statistical Process Control for Real-World application**; CRC Press, 2011.
- LIM, S. A. H.; ANTONY, J.; ALBLIWI, S. Statistical Process Control (SPC) in the food industry—A systematic review and future research agenda. **Trends in Food Science & Technology**, v. 37, n. 2, p. 137-151, 2014.
- LIM, S.A.H.; ANTONY, J. A conceptual readiness framework for statistical process control (SPC) deployment. In: **Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2013 IEEE International Conference on**. IEEE, 2013. p. 300-304.
- LU, I.Y.; KUO, T.; LEE, W.P. *Examining the Effects of Information Quality on Behavioral Intention of Knowledge Management System*. **Journal of Quality**, v. 17, n. 4, p. 297-309, 2010.
- MADANHIRE, I.; MBOHWA, C. Application of total quality management (TQM) and statistical process control (SPC) in improving business competitiveness for manufacturing organizations. International Conf. on Chemical, Integrated Waste Management & Environmental Engineering, 2014.
- MAHANTI, R.; EVANS, J. R. Critical success factors for implementing statistical process control in the software industry. **Benchmarking: An International Journal**, v. 19, n. 3, p. 374-394, 2012.
- MAKRYMICHALOS, M.; *et. al.* *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.
- MANLY, B. F. J. **Statistics for environmental science and management**. CRC Press, 2008.
- MANYIKA, J. *et. al.* **Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity**. McKinsey Global Institute, 2011. 156 p. relatório publicado.
- MONTGOMERY, D. C. *A modern framework for achieving enterprise excellence*. **International Journal of Lean Six**, v. 1, n.1, p. 56-65, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6 ed. New York: John Wiley, 2005. 643 p.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 463 p.

MONTGOMERY, D. C.; WOODALL, W. H. Research issues and ideas in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v. 31, n. 4, p. 376-387, 1999.

MUJTABA, S.; FELDT, R.; PETERSEN, K. Analyzing strategy and processes for product customization in large-scale industrial settings. In: **Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2011 37th EUROMICRO Conference on**. IEEE, 2011. p. 369-373.

NOSKIEVICOVA, D.; PAUCHOVA, A.; KELBLEROVA, M. Analysis of effective implementation of SPC. **Annals of DAAAM & Proceedings**, 2011.

OAKLAND, J. S. **Statistical process control**. Routledge, 2008.

PEARN, W. L.; LIN, P. C. Testing process performance based on capability index C_{pk} with critical values. **Computers & Industrial Engineering**, v. 47, n. 4, p. 351-369, 2004.

PHYANTHAMILKUMARAN S.Z.; FERNANDO Y. The role of cultural change in the relationship between critical factors with the success of Statistical Process Control (SPC) projects. **Proceedings of Annual London Conference on Money, Economy and Management**, 3-4 Temmuz 2008, Imperial College, London.

PUTRI, N. T.; YUSOF, S. M. Critical success factors for implementing quality engineering tools and techniques in malaysian's and indonesian's automotive industries: An Exploratory Study. In: **Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists**. 2009. p. 18-20.

RANTAMÄKI, J.; TIAINEN, E. L.; KÄSSI, T. A case of implementing SPC in a pulp mill. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, n. 3, p. 321-337, 2013.

ROHANI, J.M.; YUSOF, S.M.; MOHAMAD, I. The Development of a Survey Instrument for Measuring a Relationship Between Statistical Process Control Success Factors and Performance. **Jurnal Mekanikal**, n. 30, p. 1-16, 2010.

ROTONDARO, R. G. Método Básico: Uma visão Geral. In: ROTONDARO, Roberto G.(Org) **Seis Sigma –Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

RUNGASAMY, S.; ANTONY, J.; GHOSH, S. Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: some key findings from a survey. **The TQM Magazine**, v. 14, n. 4, p. 217-224, 2002.

RUPA M., EVANS, J.R. Critical success factors for implementing statistical process control in the software industry, **Benchmarking: An International Journal**, v. 19, n. 3, p. 374 – 394, 2012.

SALEH, N. A. *et al.* The difficulty in designing Shewhart X and X control charts with estimated parameters. **Journal of Quality Technology**, v. 47, n. 2, p. 127, 2015.

SANTANA Jr. M.B. **Pesquisa ação sobre os fatores de sucesso para a implantação e continuidade do uso de cartas de controle estatístico de processo em uma planta química no Brasil.** 2014. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Engenharia de Produção) UFSCar, São Carlos, 2014.

SHAININ, D. Cartas de controle vs Pré-controle: carroças vs Avião a Jato. In: BHOTE, Keki R.. *Qualidade de classe mundial.* Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 183-208.

SHARMA, R.; KHARUB, M. Attaining competitive positioning through SPC—an experimental investigation from SME. **Measuring Business Excellence**, v. 18, n. 4, p. 86-103, 2014.

SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: quatro revoluções na gestão da qualidade.** Porto Alegre: Bookman, 1997. 409 p.

SHINGO, S; FARIA L.C.Q. **kaizen e a arte do pensamento criativo: o mecanismo do pensamento científico.** Porto Alegre: Bookman Companhia, 2010. 252p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

SMITH, G. M. **Statistical Process Control and Quality Improvement,** Prentice Hall Inc., 1998.

SNEE, R. D. Statistical thinking and its contribution to total quality. **American Statistician**, p. 116-121, 1990.

SORIANO, F. R.; LIZARELLI, F. L.; OPRIME, P. C. Identificação dos fatores críticos para a aplicação de técnicas multivariadas em projetos Seis Sigma: Estudo de casos. **Espacios**. v. 36, n. 9, p.11, 2015.

SORIANO, F. R.; OPRIME, P. C. **Utilização de técnicas multivariadas em projetos Seis Sigma.** 1ed. São Paulo-SP: NEA, 2014. 180.

STOUMBOS, Z. G.; *et. al.* “The State of Statistical Process Control as We Proceed into the 21st Century” **Journal of the American Statistical Association**, v. 95, n. 451, p. 992-998, 2000.

SUBRAMANI, J.; BALAMURALI, S. Control Charts for Variables with Specified Process Capability Indices. **International Journal of Probability and Statistics**, v. 1, n. 4, p. 101-110, 2012.

TAGUCHI, Genichi. Quality engineering in Japan. **Communications in Statistics-Theory and Methods**, v. 14, n. 11, p. 2785-2801, 1985.

TALIB, M. A.; MUNISAMY, S.; AHMED, S. Retrospective Hotelling’s T2 Control Chart for Automotive Stamped Parts: A Case Study. 6, n. 1, 2014.

TRENTIN, M. G. **Monitoramento e Controle Estatístico Integrado ao Controle de Engenharia de Processo.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TRINDADE, A. L. G. **Contribuições para o controle on-line de processos por atributos**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

VASSILAKIS, E.; BESSERIS, G. The use of SPC tools for a preliminary assessment of an aero engines' maintenance process and prioritisation of aero engines' faults. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 16, n. 1, p. 5-22, 2010.

WESTERN ELECTRIC “**Statistical quality Control Handbook**”, AT&T Indianapolis, 1958.

WHEELER, D. J. **Advanced Topics in Statistical Process Control** (Knoxville, TE, SPC Press Inc). 1995.

WHEELER, D. J.; CHAMBERS, D. S. **Understanding statistical process control**. Knoxville, TN: SPC press, 1992.

WOODALL, W. H. Controversies and contradictions in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v. 32, n. 4, p. 341-350, 2000.

APÊNDICE A – Questionário –Pesquisa sobre fatores críticos de sucesso para o Controle Estatístico de Processo (CEP)

Apresentação do questionário

Essa pesquisa examina os motivos, objetivos e meios que sua organização encontrou para promover, apoiar e sustentar atividades relacionadas ao CEP. Este questionário deve ser respondido pelos responsáveis do Controle Estatístico de Processo de sua empresa (Gestores, Gerentes).

Historicamente o CEP tem sido utilizado de modo intensivo na indústria manufatureira como uma das técnicas para a prevenção de defeitos e melhoria da produtividade. Neste momento, gostaríamos de identificar como o CEP está sendo usado pelas empresas, especialmente por aquelas que desenvolvem algum programa de melhoria da eficiência operacional, por exemplo, TPM.

Termo de Confidencialidade

Todas as respostas aos questionários serão tratadas como confidenciais. Informações geradas através da análise dos questionários estarão disponíveis para todos os participantes da pesquisa mais rápido possível. Sua identificação e de sua empresa não serão reveladas sem sua aprovação. Os resultados serão usados de forma reunida em publicações científicas. Para cada pergunta, por favor, indique a resposta assinalando o quadrado correspondente, ou preenchendo as respostas no local indicado. As perguntas deste questionário tem o objetivo de captar sua percepção sobre a teoria e a prática do CEP nas empresas.*Obrigatório

Seção 01 - Características gerais do entrevistado

Q1- Nome do entrevistado: (opcional)

Q2- Há quantos anos atua profissionalmente com o CEP? *assinale sua experiência profissional! Esta pergunta é obrigatória

Q3 - Qual o Segmento de atuação profissional Esta pergunta é obrigatória.

Seção 02 – ASSINALE ABAIXO QUAIS AS CERTIFICAÇÕES, PRÊMIOS E PROGRAMAS DE QUALIDADE ADOTADOS PELA EMPRESA. *Neste item são apresentadas algumas certificações, prêmios e programas para a gestão da qualidade. PODE SER SELECIONADO MAIS DE UMA OPÇÃO (1) SIM (2)NÃO

Q4- ISO 9001

- Q5- ISO/TS 16949
- Q6- OHSAS 18000
- Q7- ISO 14001
- Q8- PNQ (Premio Nacional da Qualidade)
- Q9-Lean Manufacture
- Q10-Seis Sigma
- Q11-TQM (Total Quality Management)
- Q12-TPM (Total Productive Maintenance)
- Q13-CEP (Controle Estatístico de Processo)
- Q71-Kaizen

Seção 03 - QUESTÕES REFERENTES AO CEP * Esta pergunta é obrigatória Esta parte contém algumas técnicas estatísticas relacionadas ao CEP. Por favor, selecione a opção apropriada sobre o grau de execução da cada uma das seguintes técnicas. Use as seguintes diretrizes abaixo para classificar o grau de aplicação/uso: 1-Raramente usada /2-Pouco aplicada/ 3-Aplicada/ 4-Bastante aplicada/5-Intensivamente aplicada.

- Q14- Carta de controle por atributo (p, np, c, u)
- Q15- Carta de controle por variáveis (x-bar and R, x-bar and s)
- Q16- Gráfico de controle de soma acumulada (CUSUM)
- Q17- Gráfico de controle de médias móveis exponencialmente ponderadas (EWMA)
- Q18- Gráficos de controle multivariados
- Q19- Gráfico de controle individual de Shewhart
- Q20- Gráfico de controle pequenos lotes
- Q21- Estudo de capacidade do processo (Cp, Cpk, Pp, Ppk)
- Q22- Análise do sistema de medição Repetibilidade & Reprodutibilidade (GR&R).
- Q23- Amostragem por aceitação lote a lote
- Q24- Amostragem contínua
- Q25- Plano de amostragem Skip-Lot

Seção 04 - IMPACTO DO CEP APLICADO EM QUALIDADE E NO DESEMPENHO DA EMPRESA *Por favor, indique marcando o número apropriado, a sua concordância com as seguintes afirmações que caracterizam o impacto da implantação e uso do CEP (1-Impacta Negativamente 2-Não Impacta 3- Indiferente 4-Impactante 5-Impacto Muito Alto). Digite uma resposta por linha

- Q50- O CEP Aumenta substancialmente a satisfação dos clientes
- Q51- Aprimora a capacidade de estudo de problema
- Q52- O CEP trouxe melhoria na imagem da empresa
- Q53- O CEP é parte importante do TPM
- Q54- O CEP é parte importante do Lean Manufacturing
- Q55- O CEP contribui para a redução da variabilidade do processo
- Q56- O CEP contribui na decisão sobre compra de equipamento
- Q57- A velocidade de entrega do produto tem melhorado ao longo dos últimos anos
- Q58- O Programa CEP traz o retorno financeiro esperado
- Q59- O CEP é parte importante da ISO 9000
- Q66- As empresas que usam o CEP tem percebido impactos positivos na redução de defeitos e ganhos de produtividade
- Q67- As empresas que utilizam o CEP tem profissionais mais motivados
- Q68- O CEP tem contribuído para o aprimoramento técnico das pessoas
- Q69- O CEP tem contribuído para o desempenho de campo dos produtos
- Q70- O CEP tem contribuído para o sucesso de programas como o TPM, kaizen e Seis Sigma.
- Q80- O CEP traz melhoria na imagem da empresa junto aos clientes.

Seção 05 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO DA IMPLANTAÇÃO DO CEP *Esta parte do questionário contém itens sobre os problemas e dificuldades que você julga importante na condução das atividades relacionadas ao CEP. Com base na sua experiência. Por favor, aponte o grau de importância das praticas abaixo relacionadas ao CEP. Digite uma resposta por linha (1-Desprezível, 2-Muito pouco importante, 3-Indiferente, 4-Importante, 5-Muito importante)

- Q26- A alta administração deve liderar regularmente os esforços de melhoria da qualidade
- Q27- A alta administração deve fornecer os recursos adequados para facilitar os esforços do CEP
- Q28- Os problemas de qualidade devem ser analisados em reuniões com os grupos de gestão do CEP
- Q29- A alta administração deve monitorar o cumprimento de metas para o desempenho de qualidade com base em indicadores de desempenho e capacidade do processo

Q30- Os grupos de melhoria devem ser constituídos por equipes multifuncionais que se reúnem regularmente.

Q31- A equipe de gestão do CEP deve ser reconhecida pelo seu desempenho na melhoria da qualidade.

Q32- Treinamento básico em CEP devem ser dado aos trabalhadores diretamente ligados a produção

Q33- Os conhecimentos adquiridos sobre CEP nos treinamentos devem ser aplicados imediatamente após o treinamento

Q34- Cursos de aperfeiçoamento na aplicação de ferramentas CEP devem ser realizados regularmente

Q35- Gráficos de controle adequados devem ser usados para monitorar a estabilidade do processo

Q36- Sempre que o processo está fora de controle, as causas especiais devem ser identificadas e removidas imediatamente

Q37- Devem ser utilizado pacotes computacionais na condução das atividades do CEP tais como: Minitab, Statistica, Statgraphics, Excel.

Q38- O CEP deve ser aplicado somente em características críticas, funcionais e de segurança dos produtos e processos.

Q39- É o cliente que decide sobre qual parâmetro do produto / processo deve ser monitorado.

Q40- Deve haver suporte gerencial na condução de ações de melhoria.

Q41- Análise de repetibilidade e reprodutibilidade (GR & R) deve ser feito antes de realizar as atividades do CEP

Q42- A alta administração deve criar uma estrutura de suporte para o CEP

Q43- Todos os processos/características críticas devem ser controladas pelo CEP

Q44- Os Resultados do CEP devem ser discutidos entre os funcionários

Q45- Os procedimentos do CEP devem ser aplicados por equipes de melhoria, tais como: círculos de controle de qualidade, grupo *kaizen* e etc.

Q46- Devem ser observados todos os pressupostos estatísticos (tamanho amostral, normalidade, dentre outros) no uso das cartas de controle.

Q47- Os limites de controle devem ser revisados periodicamente

Q48- Devem ser calculados os índices de capacidade e capabilidade do processo (cp, pp, cpk, ppK).

Q49- Os processos para a implantação do CEP devem ser selecionados corretamente pois se aplicados incorretamente podem desmotivar os funcionários.

Q60- A alta administração deve comprar a ideia do CEP e tenta implementá-la.

Q61- A alta administração deve em geral promover e dar o suporte gerencial em termos de treinamentos, estrutura, e incentivos para o uso do CEP

Q62- Em geral as pessoas envolvidas com o CEP tem domínio adequado dos métodos estatísticos.

Q63- Os custos de implantação devem ser calculados adequadamente

Q64- Devem ser tomadas ações com base nas cartas de controle

Q65- Em geral as empresas analisam cuidadosamente os processos onde as cartas de controle são mais adequadas seu uso

Q78- O CEP não deve ser aplicado em todas as características de qualidade. Somente deve ser aplicado quando realmente adequado mesmo sendo uma característica funcional ou de segurança.

Q79- A significância prática deve ser considerada na tomada de decisão sobre o processo. Por exemplo, uma causa especial identificada na carta pode não ser economicamente viável uma tomada de ação.

Seção 06 - ACESSOS ÀS FONTES DE INFORMAÇÃO SOBRE O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO. * Neste item assinale a frequência com que você acessa as fontes de informação listadas a seguir: (1-Nunca acessada, 2-Raramente acessada, 3-Eventualmente acessada, 4-Frequentemente acessada)

Q72 - Revistas científicas internacionais

Q73- Revistas científicas nacionais (por exemplo: Gestão & Produção,Produção, Produção on line)

Q74- Revistas não científicas (por exemplo Banas qualidade)

Q75- Sites da internet

Q76- Aquisição do serviço de consultorias especializadas

Q77 - Cursos e treinamentos específicos

APÊNDICE B – Questionários válidos respondidos utilizados para análise dos dados

No conteúdo das Tabelas A, B e C é possível observar a tabulação dos dados referentes aos questionários válidos respondidos. As questões estão codificadas podendo ser observada sua descrição bem como escala de medida utilizada no APÊNDICE-A desta tese. A primeira coluna “denominada Sequencial” corresponde ao número de questionários válidos (totalizando 37 questionários respondidos e válidos). As questões **Q1**- “*Nome do entrevistado: (opcional)*” e **Q3**- “*Qual o Segmento de atuação profissional. (Esta pergunta é obrigatória)*” foram intencionalmente removidas desta tabela em consideração ao termo de confidencialidade, preservando assim a identidade do entrevistado e a identificação da empresa.

Tabela A - Questionários válidos utilizados para análise dos dados (Questões de 02 a 30)

Sequencial	Q2	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	Q30
1	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
2	3	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	4	5	1	1	1	3	1	5	5	1	4	1	5	5	4	4	5
3	10	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	5	4	1	1	2	1	3	5	5	4	3	5	4	4	4	4	4
4	10	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	3	3	3	3	2	3	3	3	4	3	1	4	5	4	5	5
5	10	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5	2	4	5	5	5	5
6	4	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	5	1	2	3	2	5	5	5	1	1	2	5	5	5	5	5
7	10	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	4	4	4	4	4
8	10	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	2	3	4	1	1	2	4	5	5	5	5
9	10	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5
10	10	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3	3	2	2	2	4	2	3	2	2	5	5	5	4	5
11	10	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	4	1	2	2	2	4	5	4	5	4	5	4	4	3	4	4
12	7	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2	2	2	4	5	2	4	2	5	4	3	5	5
13	4	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4
14	6	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	3	3	4	3	3	5	5	4	5	5
15	5	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	4	1	1	4	1	1	4	4	2	4	2	5	5	5	5	5
16	10	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	3	1	1	1	1	1	3	4	3	1	3	5	4	4	5	5
17	10	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	4	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5
18	10	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	4	3	3	5
19	10	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	5	4	3	4	3	3	5	3	3	4	4	5	4	4	4	5
20	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	5	5	4	2	2	5	5	5	1	3	4	4	4	4	4
21	7	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	5	4	4	5	4
22	10	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	3	3	2	2	4	3	4	5	5	5	4	4	5	5	5
23	10	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4
24	10	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	4	5	4	5	5	2	2	3	3	2
25	10	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	5	4	4	5	4	2	5	5	1	5	1	5	5	4	4	5
26	10	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	3	3	1	1	1	1	2	5	5	3	3	4	4	5	4	5	5
27	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	3	5	1	1	1	1	1	5	5	3	3	3	5	5	4	4	4
28	3	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
29	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	5	4	5	5	5	5	4	5
30	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	3	5	3	3	4	2	4	5	5	4	4	3	5	4	5	5	4
31	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	5	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	4	5	4	5	5
32	10	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	5	2	3	3	2	3	5	5	3	3	2	5	4	5	5	5
33	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	5	4	4	5
34	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	4	2	2	2	2	2	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5

35	10	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	3	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	5	5	5	5	4
36	7	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	4	1	1	2	1	1	4	4	3	4	4	5	5	4	5	4
37	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	1	1	1	3	2	4	3	1	2	3	5	5	5	5	5

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela B - Questionários válidos utilizados para análise dos dados (questões de 31 a 60)

Sequencial	Q31	Q32	Q33	Q34	Q35	Q36	Q37	Q38	Q39	Q40	Q41	Q42	Q43	Q44	Q45	Q46	Q47	Q48	Q49	Q50	Q51	Q52	Q53	Q54	Q55	Q56	Q57	Q58	Q59	Q60
1	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5	4	
2	5	5	4	5	5	3	3	3	2	5	3	4	4	4	4	5	5	5	4	3	4	5	4	3	2	4	3	4	3	4
3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	5	4	3	3	4	4
4	4	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4	5	5	4	4	5	4
5	5	4	5	5	5	5	5	1	3	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	4	3	4	3	2	4	4	4
6	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	3	4	5	4
7	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4
8	4	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4	3	4	5	4
9	4	4	4	4	4	5	3	3	3	5	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	3	5	4	2	4	3	2
10	5	5	5	4	4	4	5	5	3	4	3	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5
11	4	5	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	5	5	4	4	3	2	2	5	5	4	4	4	2
12	4	5	5	4	4	5	4	3	3	5	5	3	4	5	4	4	5	5	3	5	4	5	4	4	5	5	3	3	4	5
13	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3
14	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	3	3	4	5	1
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4
16	5	4	3	3	4	4	4	4	1	4	5	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	5	4	4	4	4	3
17	5	5	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	2
18	4	4	4	4	5	5	3	4	2	3	3	2	4	4	5	5	4	4	5	4	4	3	4	4	5	4	3	3	3	4
19	5	5	4	4	5	5	3	3	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4
20	4	5	5	4	4	3	3	4	2	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	5	4	5	4	4	3	5	4	4	2
21	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	1	4	4	4	4	4	5	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	2
22	5	4	4	5	5	5	3	3	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5	5	5	4
23	4	5	5	3	5	5	3	5	2	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	5	3	3	4	5	4	2	4	4	3	
24	2	2	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	1	3	2	3	2	5	3	2	3	2	3	3	3	2	3	2	2	2
25	5	5	5	4	4	5	3	3	3	4	4	4	1	4	4	4	5	5	5	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4
26	4	4	5	4	5	4	3	3	4	5	5	5	4	4	3	4	4	4	3	5	4	4	3	4	2	4	4	2	4	2
27	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	4	5	4	3	3	5	5
28	5	5	5	5	5	5	4	4	3	5	5	3	5	5	5	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	3	3
29	5	5	4	3	4	5	3	3	3	5	3	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	2	4	4	5	4	4	4	5	3

30	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5	3	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4	4	
31	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	3	4	5	5	4	4	4	5	4	5	5	3	3	4	5	4	4	4	4	4	5
32	5	5	5	4	5	4	4	4	4	5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	3	4	
33	4	4	4	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	3	
34	4	5	4	5	5	5	3	3	3	5	5	4	3	5	3	5	3	5	4	5	5	5	4	5	5	4	3	5	5	2	
35	4	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	2	
36	4	4	4	4	4	5	4	3	4	4	4	5	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	
37	5	4	4	4	4	5	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	5	5	3	3	3	3	

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela C - Questionários válidos utilizados para análise dos dados (questões de 61 a 80)

Sequencial	Q61	Q62	Q63	Q64	Q65	Q66	Q67	Q68	Q69	Q70	Q71	Q72	Q73	Q74	Q75	Q76	Q77	Q78	Q79	Q80
1	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	1	3	3	3	4	4	4	5	5	5
2	4	2	3	4	2	3	3	4	4	4	1	3	3	1	4	4	4	4	4	5
3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	1	2	2	2	3	2	3	3	4	4
4	4	4	4	5	3	4	4	4	4	5	1	3	4	2	3	3	4	5	4	4
5	5	4	4	5	4	5	4	4	5	5	1	1	3	3	4	3	2	1	3	4
6	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	1	2	2	3	4	2	3	4	2	5
7	4	2	4	4	2	2	2	4	2	3	1	1	3	3	3	1	2	4	4	3
8	4	4	2	4	4	5	4	4	4	5	1	2	1	2	3	3	4	1	3	5
9	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	1	1	2	3	3	2	2	3	4	4
10	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	1	3	4	2	3	3	3	4	5	5
11	2	1	1	1	2	3	1	3	4	4	1	3	3	2	3	3	4	4	4	4
12	5	4	4	5	4	5	3	4	5	5	1	2	3	2	4	4	4	3	5	5
13	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4
14	1	1	5	5	1	1	1	5	5	5	2	2	3	3	4	2	3	5	4	5
15	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	1	2	2	2	3	3	3	5	5	4
16	3	3	2	3	2	3	4	4	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	5
17	2	2	2	4	2	4	3	4	4	4	2	3	3	2	4	2	2	5	2	5
18	4	2	2	2	2	4	1	2	4	4	1	2	3	3	3	3	3	2	4	3
19	4	2	4	4	4	4	3	4	4	4	1	3	4	3	3	3	3	4	4	5
20	3	2	2	4	2	4	4	4	4	4	1	2	3	3	3	2	3	4	4	3
21	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	2	2	2	2	2	2	3	1	5	3
22	4	2	3	4	4	4	3	3	4	4	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
23	3	4	2	4	4	4	3	4	2	3	1	2	1	2	4	1	3	4	4	3
24	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	4	4	4	3	3	1

25	4	4	4	5	4	4	3	4	4	4	2	3	3	3	4	4	4	5	5	3
26	3	2	2	4	4	4	2	4	4	4	1	3	2	2	3	2	4	4	4	4
27	5	4	4	4	5	5	4	5	5	4	2	3	3	3	3	4	4	4	5	4
28	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	1	2	3	3	4	3	3	4	4	4
29	3	1	2	3	4	3	3	3	4	3	1	2	2	3	3	1	1	2	3	4
30	4	5	5	5	4	5	5	5	4	4	1	3	4	3	4	3	2	4	4	5
31	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	2	1	2	1	4	4	4	4	4	4
32	4	2	2	2	2	4	3	4	4	4	1	1	2	2	4	4	4	5	5	4
33	2	2	2	4	2	4	4	4	3	2	1	2	3	3	4	3	3	4	4	3
34	2	2	2	5	2	2	2	4	4	2	1	1	3	1	4	3	4	5	4	5
35	3	2	2	2	2	3	3	4	4	4	1	1	2	3	3	2	3	5	4	4
36	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	1	1	1	3	3	1	3	4	4	4
37	5	2	3	4	3	3	3	4	4	4	2	1	2	3	4	4	4	3	4	4

Fonte: elaborada pelo autor

APÊNDICE C-Revisão sobre os métodos de Análise de dados utilizados nesta tese

Procedimentos para análise Fatorial dos dados

A Análise Fatorial foi desenvolvida em 1904. Este método tem objetivo de agrupar as variáveis por fator. A ideia básica desta técnica é descrever um conjunto de variáveis por meio de um número menor de fatores e assim obter uma melhor compreensão do relacionamento entre as dimensões estudadas. No entanto, a ênfase na análise fatorial é relativa à identificação dos fatores subjacentes que podem explicar as mútuas relações correlativas (MANLY, 2008). A Análise Fatorial é dada pela equação:

$$X_i = a_i F + \epsilon_i$$

sendo:

X é o escore da variável analisada,
F é o Fator comum,
C é um componente aleatório,
a é uma constante.

O quadrado de a representa a proporção da variância de X explicada pelo fator comum. De outro modo, a é denominada de carga fatorial (*loading*), é uma medida de correlação entre as variáveis originais e os fatores.

Na análise fatorial há dois tipos de modelos de fator: uma é a análise dos componentes principais, o outro é a análise de fator comum. Nesta tese espera-se extrair os fatores ocultos que contribuem para a maior parte da variação, portanto selecionou-se a análise dos componentes principais conforme recomenda a literatura (MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

Estes fatores são dimensões representadas por um conjunto de variáveis altamente correlacionadas podendo ser considerados como novas variáveis (MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

A Análise Fatorial é uma técnica estatística versátil que pode ser utilizada como ferramenta de pesquisa e também pode ser utilizada em conjunto com outras técnicas, contribuindo para a compreensão dos dados. Portanto, seu desígnio não se trata da exclusão de certas variáveis ou apontar a representatividade, mas sim, considerar as correlações existentes entre as variáveis, podendo ser utilizada como ferramenta em pesquisas de caráter exploratória ou confirmatória. No sentido de ser exploratória, ajuda na redução dos dados. Ao passo que pode ser utilizada de maneira confirmatória quando se trata da validação de hipóteses (JOBSON, 1992; HAIR *et. al.*, 2010).

Independente do caráter da pesquisa, esta técnica não é tão objetiva quanto as demais técnicas estatísticas por envolver a formação dos fatores não explícitos, já que a quantidade de fatores irá depender do observador. Todavia seus resultados contribuem para estabelecer a compreensão sobre a estrutura de dados multivariados.

Foram analisados e não apresentaram violações significativas os pressupostos para a condução desta análise e restrições estatísticas, tais como: os desvios da normalidade, homecedáscidade, variância e linearidade e tamanho amostral. Foram ainda identificados na literatura alguns critérios que ajudam na seleção do número de fatores apropriado, são eles:

- a) raiz latente: este método considera que apenas os autovalores ≥ 1 sejam considerados como significante, é recomendada esta técnica quando o número de variáveis estiver entre 20 e 50;
- b) critério *a priori*: neste método o pesquisador já tem em mente o número de fatores a ser formado;
- c) critério de porcentagem de variância: esta é uma abordagem baseada no significado prático dos fatores e que estes expliquem um montante de variação. De certa forma este montante irá depender basicamente da qualidade dos dados, porém de maneira geral deve-se considerar no mínimo 60% da variação total;
- d) critério do teste de *scree*: é utilizado para identificar o número ótimo de fatores com base no critério de estabilização dos autovalores, este método permite um número maior de fatores que o critério de raiz latente.

Segundo Hair *et. al.* (2010), depois de formado os fatores, a base conceitual sólida fornece uma chance maior de interpretar os resultados com sucesso. Entretanto o refinamento de tais resultados fornece uma melhor compreensão dos fatores formados. Este processo de interpretação fatorial pode ser dividido em:

- a) estimativa da matriz fatorial – este processo consiste na observação da carga fatorial que indicam a correlação de cada variável para a formação do fator, essas cargas são meios de se interpretar a contribuição da variável na formação de cada fator;
- b) rotação de fatores - Soluções fatoriais não-rotacionados não atingem o resultado de redução de dados, além disso, fatores rotacionados facilitam a interpretação pela redução das ambiguidades;

- c) interpretação e reespecificação dos fatores. Desta forma, pode-se eliminar uma ou mais variáveis do modelo e ainda reespecificar o número de fatores ou método de extração de fatores o que muitas vezes o leva ao estágio anterior.

A rotação de fatores são as ferramentas mais importantes da interpretação da análise preliminar, pois simplificam as linhas e colunas da matriz fatorial. Qualquer método de rotação deve levar em conta a carga dos fatores e devem estar próximas a zero ou muito diferente de zero. Um método para calcular os escores de fator para indivíduos está baseado nos componentes principais. A rotação dos fatores pode ser classificada em oblíquas ou ortogonais. Na rotação ortogonal, novos fatores não são correlacionados com os fatores provisórios. Os métodos de rotação ortogonal muitas vezes são chamados de rotação *varimax*. Já a rotação oblíqua relaciona com os fatores provisórios.

Métodos De Rotação Ortogonais - Quartimax: Concentra-se na simplificação das linhas, este método não se mostra eficiente na produção de estruturas mais simples, sua principal dificuldade é gerar um fator inicial como o primeiro fator na qual a maioria das variáveis, se não todos, apresentam cargas altas. **Varimax:** Não existe uma regra básica para a seleção dos métodos rotacionais. Entretanto, o método mais aceito é a rotação **Varimax** que se concentra na simplificação das colunas, este método maximiza a soma das variâncias fornecendo uma interpretação mais clara dos fatores. **Equimax:** apresenta um meio termo entre as outras duas abordagens. Entretanto, os autores salientam que este método é pouco utilizado. **Métodos de rotação oblíqua:** São semelhantes às ortogonais, entretanto sua diferença básica consiste na concessão dos fatores correlacionados. Sua limitação refere-se à disponibilidade nos pacotes computacionais estatísticos. Hair *et. al.* (2010), alerta para a perda de generalização, particularmente devido ao número pequeno de observações e proporção de casos por variáveis.

Julgamento da significância prática: seu propósito principal é definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise por meio das cargas fatoriais. As cargas fatoriais $\pm 0,30$ a $\pm 0,40$ atendem a um nível mínimo para a interpretação das estruturas, $\pm 0,5$ são tidas como praticamente significantes. As cargas que excedem $\pm 0,7$ são a meta de qualquer análise fatorial. (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; FÁVERO *et. al.*, 2009; HAIR *et. al.*, 2010).

Procedimentos para a análise de Regressão Múltipla entre os fatores e dimensões

A análise de regressão múltipla é uma técnica estatística pertencente ao grupo das técnicas multivariadas, que examina relações de dependências e que pode

fornecer previsões e explicações por meio do desenvolvimento de modelos estatísticos. Esta técnica é uma importante ferramenta estatística que permite examinar a relação entre uma única variável dependente e múltiplas variáveis independentes e, é dada pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

sendo:

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ Coeficientes associados

X_1, \dots, X_p As variáveis independentes

Este método é apropriado quando o problema estudado possui apenas uma métrica determinante para ser relacionada com duas ou mais variáveis independentes. O uso comum desta análise estatística é utilizar apenas variáveis métricas. Entretanto, é possível ser aplicada para analisar variáveis não-métricas adequadamente transformadas. Neste sentido, foram utilizados como entrada para essa análise os *scores* obtidos na análise fatorial, ou seja, valores transformados em uma escala normal com média igual a 0 e desvio padrão igual a 1. (JOBSON, 1992; MANLY, 2008; HAIR *et. al.*, 2010).

O objetivo é utilizar as variáveis independentes cujos valores são conhecidos para prever as chances de ocorrência nas variáveis dependentes. O primeiro objetivo é maximizar o poder de predição geral das variáveis dependentes. Desta forma, a precisão é vital para a eficiência do modelo, que pode ser alcançada por meio da validade do conjunto de variáveis adotadas como independentes no modelo. Desta forma, a interpretação da variável estatística possibilita ainda examinar as inter-relações entre as variáveis independentes, o que possibilitará checar argumentos empíricos e/ou teóricos.

A função do coeficiente de correlação (r).

O valor do r indica a força entre as variáveis, já o sinal (+ ou -) indica o sentido desta relação, (+) indica uma relação positiva, (-) uma relação negativa, já o (0) indica não haver relação entre as variáveis dependente e independente.

O coeficiente de regressão populacional ($\rho_{x,y}$) representa a quantia de mudança na variável dependente devido às mudanças na variável independente. Esta característica ajuda a prever o valor da variável dependente com certo nível de confiança e precisão. O coeficiente de correlação é dado pela equação:

$$\rho_{x,y} = \frac{cov[X,Y]}{\sigma_x \sigma_y}$$

sendo:

$cov[X, Y]$ a matriz de variâncias – covariâncias de X e Y,
 σ_x e σ_y o desvio padrão de X e de Y, respectivamente.

Quando a matriz de covariância da população apresenta esta configuração (matriz identidade) isto indica não haver correlação entre as variáveis estudadas (JOHNSON e WICHERN, 1982).

$$cov(X_{ik}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$cov(X_i, X_k) = 0$ (X_i e X_k são independentes)

Na fase inicial, a necessidade de se avaliar as variáveis individuais deve-se a que violações nas suposições dificultam a interpretação das relações existentes entre as variáveis. Foram verificados pressupostos como normalidade multivariada, linearidade e não foram encontradas violações significativas, dispensando a necessidade do desenvolvimento de ações corretivas para as violações. Checando as violações de pressupostos, é possível ratificar que os resultados têm significância estatística. Recomenda-se que o nível de significância deva ser inferior a 0,05 para inferir sobre a importância estatística.