

A PRÁTICA DA IMPLANTAÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE EM EMPRESAS DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

THE PRACTICE OF CONTROL CHARTS IMPLEMENTATION IN AUTOMOBILE COMPANIES

André Luis Korzenowski^{1,*}, Liane Werner², Carla Schwenberger ten Caten²

RESUMO

Esta pesquisa busca identificar as práticas adotadas por engenheiros da qualidade em empresas do setor automobilístico de estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil, na implantação do Controle Estatístico do Processo e confronta esses passos com o sugerido na literatura. Um estudo qualitativo foi efetuado utilizando entrevistas em profundidade realizadas junto a engenheiros de qualidade com experiência prévia na implantação de cartas de controle. Os resultados apresentam que existem diferenças entre o que é sugerido na literatura e as etapas de implantação adotadas pelas empresas. Não são efetuadas avaliações das suposições de normalidade ou independência podendo cartas inadequadas ser implantadas. Estudos de capacidade são efetuados antes mesmo da avaliação da estabilidade do processo por ser requisito demandado pelos clientes para certificação da qualidade.

Palavras chave: Controle estatístico do processo, cartas de controle, setor automobilístico

ABSTRACT

This research seeks to identify the practices adopted by quality engineers in automotive companies in the state of Rio Grande do Sul, southern of Brazil, during the Statistical Process Control implementation and confronts these steps with the literature suggestions. A qualitative study was conducted using in-depth interviews with quality engineers with previous experience in the control charts implementation. The results show that there are differences between what is suggested in the literature and the deployment steps adopted by companies. No inspections are made on assumptions as normality or independence. As result, unsuitable cards may be implemented. Capability studies are made before the assessment of the process stability. This requirement is demanded by customers for quality certification.

Keywords: Statistical process control, control charts, automotive industry

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas/UNISINOS. Av. Unisinos, 950. Bairro Cristo Rei. São Leopoldo - RS - Brasil. CEP 93.022-000. e-mail: akorzenowski@unisinos.br

²Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção/UFRGS.

*Autor para correspondência: akorzenowski@unisinos.br

Recebido: 08.10.2013 Aceitado: 28.07.2014

INTRODUÇÃO

Observa-se o desenvolvimento de procedimentos e técnicas estatísticas cada vez mais apuradas no intuito de monitorar as características da qualidade buscando a produção de itens de consumo que atenda mas normas e especificações, com durabilidade assegurada e garantias de qualidade. Apesar disso, os tradicionais gráficos de Shewhart, propostos em 1924, ainda têm sido amplamente utilizados nas indústrias do Japão e Estados Unidos, especialmente após os anos 80 (Eldin & Hamza, 2009; Serel, 2009). Michel e Fogliatto (2002) destacam que essas cartas de controle (CC) são ferramentas simples e eficazes, sendo muito utilizadas na prática do controle de qualidade.

Basicamente, a literatura apresenta duas estratégias complementares quando aborda o controle estatístico do processo - CEP (Montgomery, 2004; Juran, 1997): a primeira envolve o estudo de estabilidade e a segunda contempla o estudo de capacidade do processo. Os autores apontam ainda que, no que tange a estudos de capacidade do processo, este pode considerar a variabilidade instantânea ou a variabilidade ao longo do tempo. Montgomery (2004) destaca que “um estudo de capacidade de um processo em geral avalia parâmetros funcionais sobre o produto, e não o processo em si”. Segundo o autor, um verdadeiro estudo de capacidade do processo conhece a sequência temporal dos dados gerando inferências sobre a estabilidade do processo ao longo do tempo, isto é, mescla as duas estratégias do CEP.

Qualquer que seja o tipo de CC escolhida, o processo de implantação do estudo de estabilidade do processo apresenta duas fases distintas: a Fase I, de exploração e entendimento do processo, isto é, de análise retrospectiva, e a Fase II, de controle e acompanhamento - fase prospectiva (Caulcutt, 1995; Jones-Farmer, 2009). Na Fase I, diagnósticos sobre independência das observações, distribuição dos dados, média e variabilidade da série de dados observada são efetuados uma vez que as CC são construídas sobre suposições referentes aos modelos matemáticos e estatísticos utilizados. As suposições dos gráficos de Shewhart, que são os mais utilizados, são de que as amostras coletadas sejam provenientes de uma população de dados independentes, com distribuição de probabilidade Normal e identicamente distribuídos – i.n.d. (Montgomery, 2004; Whodall, 2000). Além disso, é necessário verificar uma premissa básica de implantação: o processo precisa estar sob controle estatístico para que sejam obtidas estimativas acuradas dos parâmetros do processo. Esta premissa e suposições são as mesmas se considerarmos o cálculo de medidas de capacidade do processo. Segundo Montgomery (2004), o cálculo destas medidas (C_p e C_{pk}) devem ser efetuados apenas após a verificação da estabilidade do processo via CC pois, no caso do processo estar fora de controle “é inseguro estimar a capacidade do processo” (Montgomery, 2004).

Estudos demonstram que o desempenho das CC fica comprometido quando da violação das suposições, aumentando a probabilidade de resultados equivocados. Considerando a violação de independência entre as observações (presença de autocorrelação) na série de dados observada da característica da qualidade, Alwan (1992) e Mingoti & Yasukawa (2008) mostram resultados indicando que os procedimentos gráficos detectaram um número excessivamente superior ao esperado de pontos fora de controle (alarmes falsos). Além disso, elevaram o número médio de observações necessário para indicar que o processo mudou de um estado sob controle para um estado fora de controle (ARL).

Por outro lado, de acordo com Lin & Chou (2005), frequentemente encontram-se dados não Normais em processo industriais. Segundo esses autores, espera-se que, com amostras suficientemente grandes, a distribuição da média, estatística utilizada num dos principais gráficos de Shewhart, tenha convergência para um modelo de distribuição Normal. Este resultado é esperado devido ao teorema do limite central (TLC). Entretanto, nem sempre é possível obter uma boa aproximação do modelo Normal. Korzenowski & Werner (2012) mostraram que,

dependendo do nível de assimetria das amostras de dados observados, a convergência ao modelo Normal pode ser lenta, levando a um elevado número de alarmes falsos, mesmo com amostras relativamente grandes como 25, por exemplo. Moore (1957) Yourstone & Zimmer (1992) e Lin & Chou (2005) mostraram que a violação a suposição de normalidade também acarreta o aumento do ARL.

Supor dados i.n.d. refere-se também ao fato da sua distribuição possuir média e variância constante ao longo da série. Isto constitui uma importante suposição na construção de CC, uma vez que a maioria das CC prevê limites de controle constantes ao longo do tempo. A violação desta suposição, segundo Chan *et al.* (1998), causa imprecisão na construção dos limites o que também pode elevar o número de alarmes falsos e do ARL (número médio de observações necessários até o sinal).

Segundo Jensen *et al.* (2006), mesmo antes da implantação de CC, é necessário verificar se o processo onde os dados foram inicialmente coletados está sob controle. Havendo causas especiais de variação, as estimativas utilizadas para a construção dos limites acabam por não refletir adequadamente a variabilidade do processo.

A maior parte dos custos de produção e da qualidade que o CEP objetiva reduzir são mensuráveis. O sucesso da implantação não depende dos recursos ou do tamanho da empresa, mas sim do apropriado planejamento e avaliação na implantação (AWAJ *et al.*, 2013). De acordo com os autores, as vantagens da aplicação do CEP podem abranger a manutenção de um grau desejado de conformidade especificada em projeto, o aumento da qualidade do produto, a eliminação das verificações desnecessárias de qualidade, a redução do percentual de peças defeituosas compradas de fornecedores, a redução de devoluções de produtos por parte dos clientes, a redução das taxas de sucata e retrabalho, além de permitir a redução de custos e prazos de entrega. Em outras palavras, a implantação do CEP também pode ajudar a realizar e atingir uma consistência de produtos que atendam as especificações do cliente e, assim, satisfaçam as suas expectativas (AWAJ *et al.*, 2013).

Assim, a primeira contribuição deste estudo é descrever, de forma sistemática, quais passos devem ser executados na Fase I de implantação de uma CC da qualidade, desde a avaliação das suposições até a escolha da ferramenta de monitoramento adequada. Um fluxograma de auxílio à tomada de decisão é apresentado por Saravanan *et al.* (2013), entretanto sua contribuição é apenas no sentido de indicar qual carta deve ser adotada. A proposição apresentada neste estudo aponta quais verificações de suposições devem ser efetuadas durante a fase de diagnóstico, indicando o tipo de carta a ser adotado de acordo com a avaliação dos aspectos avaliados. A segunda parte deste estudo buscou identificar quais passos são efetivamente executados na implantação de CC em empresas fornecedoras de peças do setor automotivo instaladas no sul do Brasil. A identificação das diferenças entre o que a literatura sugere e o que é executado configura-se em um relevante tópico a ser estudado, principalmente quando da avaliação de performance percebida pelos responsáveis na implantação e acompanhamento dos processos com o uso destas ferramentas. Os resultados deste estudo mostraram que, em geral, as empresas não adotam as recomendações da literatura quanto ao processo de implantação do CEP. Também não são efetuadas avaliações das suposições apesar dos efeitos relatados na literatura. Os estudos de capacidade do processo são destacados uma vez que atendem ao principal requisito dos clientes, mesmo que estes indicadores sejam obtidos em processos cuja avaliação de estabilidade e pressupostos é inadequada.

Quinino *et al.* (2014) apontam que, na implantação de um CC, dois aspectos podem ser problemáticos: (i) o impacto de equívocos na identificação da distribuição subjacente dos dados observados e, (ii) e o impacto do erro de estimação dos parâmetros desconhecidos do processo. Korzenowski (2009) propôs um *framework* de verificação das suposições para

a construção de gráficos de controle que apresenta os principais procedimentos estatísticos que podem ser utilizados na verificação das suposições das CC. A figura 1 apresenta uma adaptação da proposição do autor.

Após a verificação da premissa, sugere-se verificar a suposição de independência entre as observações. Isto porque, segundo Franco *et al.* (2014), a presença de autocorrelação na série observada aumenta os custos da qualidade. A identificação da presença de autocorrelação se dá, geralmente, através da construção das funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF). Após a construção dessas funções, é possível testar a significância do valor das funções para cada lag e assim, identificar se a série apresenta autocorrelação. Este teste, segundo Enders (2003), utiliza as estatísticas Q de Box-Pierce e Ljung-Box. Além destes procedimentos, Gujarati (2000) destaca o teste de hipóteses das carreiras e o teste de hipóteses *d* de Durbin-Watson para a verificação da não observância de independência entre as observações amostradas. Caso os dados não sejam independentes, deve-se optar pela utilização de gráficos baseados em resíduos, geralmente de modelos do tipo propostos por Box *et al.* (1970) – ARMA. Alternativas a este modelo são propostas por Alwan & Roberts (1988) e Moreira & ten Caten (2004). Ramjee *et al.* (2002) também aborda as questões de autocorrelação, mas apresentando uma solução para séries que apresenta longa correlação serial. Franco *et al.* (2014), propuseram um design econômico para tratar séries com fraca e alta correlação serial e estabelece diferenças na estratégia de coleta dos dados para mitigar os efeitos associados.

Vencida a etapa de verificação da suposição de independência, necessita-se verificar se as amostras selecionadas são valores provenientes de uma população com distribuição normal (ou se os resíduos o são). De acordo com Riaz *et al.* (2013), na maior parte das aplicações práticas são mais frequentes processos com comportamento de distribuição não-normal. Os autores apresentam uma série de abordagens para a estimação dos parâmetros neste contexto. Para verificação de aderência ao modelo Normal os testes de Shapiro-Wilk (1965), para pequenas amostras, e a correção de Lilliefors (1967) para o teste de Kolmogorov-Smirnov, aplicado a grandes amostras são indicados.

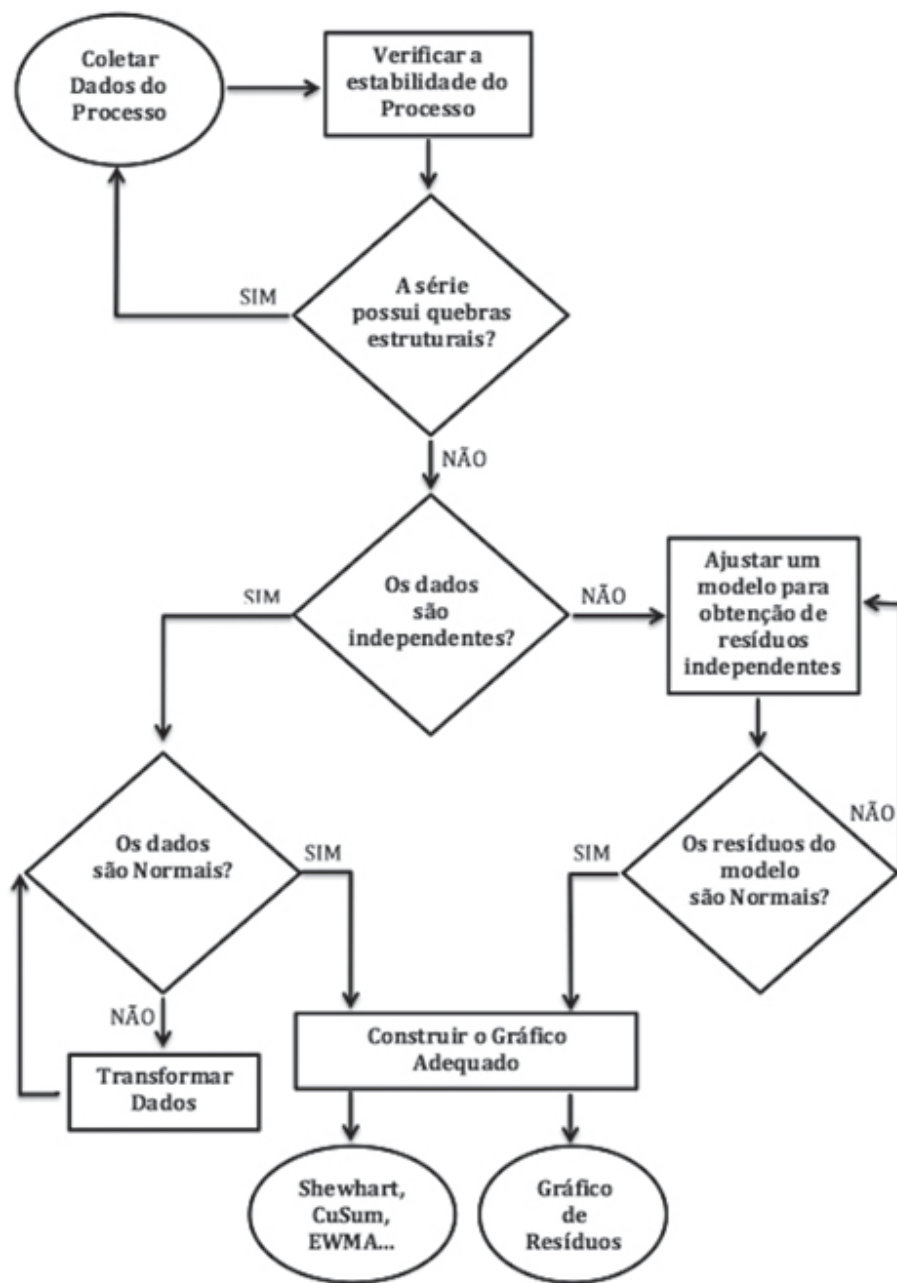


Figura 1. Framework para verificação das suposições na implantação de CC
Fonte: Adaptado de Korzenowski (2009)

No caso dos dados serem independentes, porém não normalmente distribuídos, pode-se aplicar uma transformação nos dados. Bisgaard & Kulahci (2008) sugerem a utilização do procedimento de Box-Cox a fim de que esta suposição seja atendida. Dependendo do nível de assimetria dos dados, pode-se ainda decidir buscar amostras maiores a fim de tentar, através do TLC que a distribuição da média aproxime-se da distribuição Normal, ou, ainda, assumir o aumento do erro do tipo I gerado pela decisão de aplicar os procedimentos gráficos sob a violação desta suposição, conforme Korzenowski (2009), Lin & Chou (2005) e Stowmbos & Reynolds (2000). No caso dos dados i.n.d., gráficos de controle tradicionais de Shewhart

são indicados. Para dados autocorrelacionados são indicadas CCs baseadas em resíduos de modelos ARMA, atentando que, neste caso, os resíduos devem ser i.n.d.

Deste modo, o objetivo do estudo é apresentar um *framework* para avaliação de suposições durante a implantação de cartas de controle em processos produtivos e compará-lo com a seqüência de passos adotados por empresas do ramo automotivo no sul do Brasil. Este objetivo visa responder a seguinte questão de pesquisa: Como são implantadas as cartas de controle estatístico do processo nas empresas do setor automotivo do sul do Brasil? Como hipótese, assume-se que as empresas executem análises retrospectivas e avaliação das suposições dos modelos para a implantação das ferramentas, escolhendo as CC adequadas às características dos dados coletados no processo.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido seguindo uma abordagem qualitativa de natureza exploratória utilizando-se o método estudo de caso múltiplo onde os procedimentos de coleta foram entrevistas semi-estruturadas e observações. Inicialmente foi efetuada, através do levantamento bibliográfico, a organização dos aspectos que necessitam ser verificados e que indicam o tipo de CC adequada a ser implantada sob o ponto de vista teórico. A revisão do referencial teórico também levantou os resultados dos principais problemas associados com o uso de um gráfico inadequado à realidade dos dados.

A segunda etapa do trabalho consistiu na realização de três entrevistas em profundidade com engenheiros de qualidade, com experiência prévia na implantação de CCs em empresas fornecedoras de peças automotivas da região sul do Brasil. Durante a visita aos estabelecimentos, observações foram efetuadas sobre o tipo de ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade. Os entrevistados foram selecionados através de um procedimento de amostragem não probabilístico por conveniência. As entrevistas seguiram um roteiro semi-estruturado.

A análise de conteúdo objetivou verificar: (i) as principais etapas adotadas na implantação de CC; (ii) as principais verificações de suposições efetuadas; (iii) as impressões subjetivas sobre os resultados observados na Fase 2 e; (iv) as fontes de evidências de implementação de gráficos de controle. As anotações realizadas durante as observações foram utilizadas como suporte para a descrição, análise e interpretação dos dados coletados. A última etapa do trabalho consistiu na comparação entre o *framework* teórico e as fontes de evidências coletadas. Buscou-se evidenciar as etapas de implantação em diferentes empresas da indústria automobilística, a fim de identificar diferenças na implantação e uso destas ferramentas.

As principais empresas do setor, localizadas na região do estudo, foram contatadas. Os critérios de seleção envolveram a execução de controle estatístico da qualidade através de CC (eliminatório), participação no mercado dentro do setor, e localização (classificatórios). As empresas selecionadas foram aquelas que se enquadraram nos critérios e atenderam positivamente a participação no estudo. No total, três empresas foram selecionadas e avaliadas quanto aos procedimentos em profundidade. Entrevistas foram conduzidas através de um roteiro de questões e as observações anotadas em formulário próprio. O registro das entrevistas foi efetuado através de gravação digital.

Os dados foram classificados quanto ao conteúdo, etapa da ação e nível de importância. A descrição foi efetuada sob o critério analítico, tendo como base a ordem de desenvolvimento das questões. Os resultados obtidos foram comparados com o modelo teórico identificado na literatura. Procurou-se identificar padrões de implantação entre as empresas destacando

diferenças tanto entre o observado e o padrão quanto entre as próprias empresas. Foram utilizados diagramas, mapas conceituais e tabelas resumos na apresentação dos resultados.

RESULTADOS

Aceitaram participar do estudo três empresas fornecedoras da indústria automobilística do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. As empresas têm como principal ação o fornecimento de peças, sendo estas componentes mecânicos, sensores e componentes eletrônicos. Foram entrevistados os responsáveis pela implantação do controle estatístico do processo no intuito de identificar as ações adotadas para a implantação das CC no segmento de produtos mais importante da planta. A escolha do produto analisado foi efetuada a partir do volume de produção, do número de características críticas a serem controladas além do nível crítico para segurança do componente. Foi relatado que os demais produtos produzidos apresentam etapas de implantação do controle da qualidade similar.

Apesar de possuírem portes diferentes, tanto quanto à faturamento quanto em relação ao número de empregados, os procedimentos observados na implantação e execução do controle da qualidade em todas as empresas observadas foram conceitualmente similares. Os conjuntos de procedimentos adotados incluem verificações quanto ao processo ser capaz e a avaliação da estabilidade do processo. A figura 2 apresenta o fluxograma básico de implantação de Controle Estatístico do Processo (CEP) nas empresas participantes.

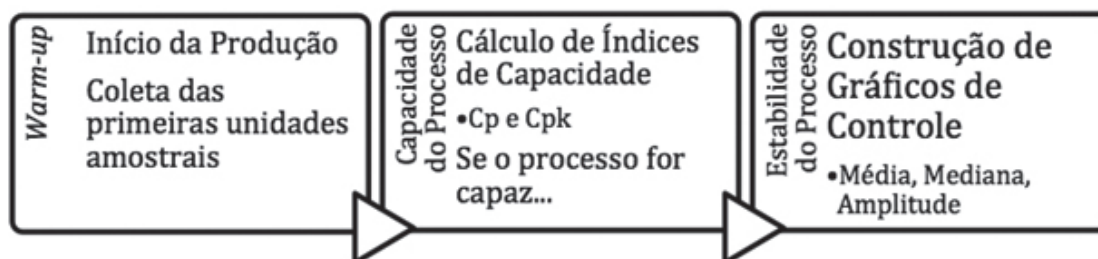


Figura 2. Fluxograma do processo de implantação do CEP nas empresas observadas

Verificou-se que, antes de iniciar a produção, a preocupação inicial das empresas é efetuar um estudo da capacidade do processo, visando verificar se será possível produzir dentro dos limites de especificação determinados pelo cliente e/ou projeto. Para ser efetuada esta verificação, é executado um lote piloto, onde as primeiras unidades amostrais (de 50 a 300, dependendo da empresa) são produzidas e os índices de capacidade Cp e Cpk são determinados. Sendo o processo capaz (usualmente $Cpk > 1,33$), a produção é programada e inicia-se o controle de estabilidade do processo através da construção das CC.

Para controle do nível da série observou-se junto às empresas participantes a utilização de três tipos de CC: gráfico de média, gráfico de mediana e gráfica de medidas individuais. Para o controle de variabilidade observou-se a utilização dos gráficos de amplitude e de média móvel. Observou-se que a variabilidade não era controlada através de nenhum tipo de ferramenta em uma das empresas participantes. Vale destacar que, em uma das empresas de maior porte, o controle inicia através da avaliação em 100% das unidades produzidas o que não ocorre nas demais empresas participantes. Esta avaliação em 100% é exigência tanto do cliente, quanto da equipe de projeto. Nesta empresa, a avaliação, na totalidade das peças produzidas, ocorre durante as primeiras 5000 peças, durante três meses ou por três *setups*, o que ocorrer primeiro. O objetivo é não haver peças fora das especificações durante este período. Não houve

relato da exigência deste rigor de avaliação nas demais empresas participantes. Note que não há avaliação de estabilidade do processo ou estudo sobre as causas de variação especial. Apenas que as peças produzidas atendam as especificações.

Uma vez implantada uma CC, verificou-se que o intervalo de seleção e coleta de amostras é realizado em um intervalo de tempo fixo. Não houve relatos de seleção de amostras por um intervalo de peças produzidas. Por tempo, a amostragem ocorria a cada uma, duas ou até 4 horas de produção, dependendo da empresa ou etapa do processo de avaliação. Entretanto, um dos entrevistados (da Empresa C) relatou que também é efetuada uma checagem nas primeiras unidades produzidas a cada troca de *setup*.

Por outro lado, diferenças foram observadas quando do planejamento da implantação e controle do processo. Nas empresas A e C (as de maior porte), com CEP implantado a cerca de 25-30 anos, algumas diferenças interessantes foram observadas. Ressalta-se que nestas empresas o controle estatístico do processo é efetuado desde o início dos anos 90 e sua implantação deu-se por exigência do cliente. Na empresa A, em particular, a gestão é projetizada e o processo de implantação e controle de novos produtos, bem como as estratégias de ação quando da identificação de causas de variação especial, nascem junto com o produto dentro do processo de gestão do projeto. Nesta empresa, assim como na empresa C, é utilizada a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA). A utilização da FMEA pela equipe da qualidade auxilia o processo de controle, pois, além de conhecer os aspectos críticos da produção sob o ponto de vista do cliente e do projeto, obtém-se para o trabalhador na célula de produção a definição das ações que devem ser executadas em caso de ocorrência de alarmes pelas ferramentas de qualidade. Isto faz com que as decisões de alterações no processo sejam efetuadas de forma mais controlada, tendo em vista que o trabalhador necessita apenas executar as atividades propostas para a resolução dos problemas observados na produção.

A determinação prévia de ações corretivas, para quando as cartas apresentarem alarmes, não ocorre na empresa B (de menor porte). Apesar das estruturas de produção estar em organizadas do mesmo modo nas três empresas participantes, isto é, em células produtivas, na empresa B o trabalhador faz ajustes no *setup* dos equipamentos baseado em sua experiência prévia e não a partir de uma documentação formal de ações corretivas.

Considerando a localização das CC, nas empresas A e C os gráficos ficam junto aos equipamentos produtivos, de modo que os trabalhadores possam, após ter o produto acabado, medir as características da qualidade e grafar a estatística na CC. Isto ocorre pois, em cada equipamento ou célula, há instrumentos de medição disponíveis. Destaca-se que na empresa C alguns equipamentos possuem dispositivos computacionais que geram as CC. Ainda nesta empresa há computadores em outras bancadas para a confecção dos gráficos. Na empresa B, por sua vez, há uma célula de controle e, a cada amostra coletada, o trabalhador deixa o seu posto, levando as amostras até este ponto onde ele procede as medições e grava as estatísticas em suas respectivas CC. Nesta empresa em particular há instrumentos limitados que são compartilhados por todos os trabalhadores. Em nenhuma das entrevistas foi relatado haver algum tipo de fiscalização sobre os procedimentos de controle de qualidade efetuado pelos funcionários, apesar de, na empresa A, haver premiação aos trabalhadores que apresentarem durante determinado período o menor número de perdas na produção. Por outro lado, na empresa B foi relatado que acredita-se que os funcionários alterem as informações para que as cartas não apontem que o processo encontra-se fora de controle.

A empresa B utiliza a carta de medidas individuais para cada característica da qualidade, independentemente de quantas sejam e quantos sejam os produtos produzidos em cada célula. Assim, certos equipamentos (ou células) possuem mais de 10 cartas distintas de controle estatístico do processo. Na empresa A e C foi relatado que, em alguns casos, quando diferentes

características ou a mesma característica em diferentes produtos são avaliadas na mesma célula, utiliza-se a mesma CC para mais de um produto ou característica. No caso da empresa C, como a confecção da CC é computacional, junto com a medição, é informado o código do produto. Destaca-se que não há nenhum tratamento especial aos dados nas empresas A e C para efetuar a construção conjuntada múltiplos itens na mesma CC.

Nenhum dos entrevistados relatou que seja efetuado um estudo diagnóstico do processo durante a implantação de CC. Observou-se que a Fase I é completamente negligenciada durante a implantação das cartas nas empresas. Questões como presença de autocorrelação e desvios da normalidade, apontados na literatura como geradores de alarmes falsos e consequente prejuízo por paradas desnecessárias na produção são desconsiderados.

A figura 3 mostra um resumo dos aspectos relevantes apontados em cada empresa participante quanto ao controle estatístico do processo. Segundo os relatos, não são percebidos alarmes falsos com frequência elevada, de modo que a falta de verificação das suposições não é considerada um fator importante. Aparentemente, o entrevistado não tem a percepção do aumento de alarmes falsos apontado pela literatura quando da violação das suposições. O entrevistado da empresa A relata que, na ocorrência de alarmes, as peças são separadas para uma re-avaliação. Caso seja confirmada a produção de itens não-conformes, o processo é interrompido e os engenheiros da qualidade e projeto são acionados. Na empresa C, a produção é interrompida apenas após a ocorrência de um número pré-determinado de alarmes, independente de serem alarmes falsos ou não.

Empresas	A: Grande Porte	B: Médio Porte	C: Grande Porte
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Produto	<input type="checkbox"/> Componente Mecânico	<input type="checkbox"/> Sensor de Velocidade	<input type="checkbox"/> Componente Eletrônico
<input type="checkbox"/> 1a. Etapa	<input type="checkbox"/> Estudo de Capacidade	<input type="checkbox"/> Estudo de Capacidade	<input type="checkbox"/> Estudo de Capacidade
<input type="checkbox"/> 2a. Etapa	<input type="checkbox"/> Estudo de Estabilidade	<input type="checkbox"/> Estudo de Estabilidade	<input type="checkbox"/> Estudo de Estabilidade
<input type="checkbox"/> Gráficos utilizados	<input type="checkbox"/> Mediana e Amplitude	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Média e Amplitude
<input type="checkbox"/> Exigência Cliente	<input type="checkbox"/> Zero defeitos no 1o. lote de 300 peças	<input type="checkbox"/> Não relatado	<input type="checkbox"/> Não relatado
<input type="checkbox"/> Caract. Críticas	<input type="checkbox"/> 3 em um dos segmentos críticos	<input type="checkbox"/> 5 no total	<input type="checkbox"/> 3 no total
<input type="checkbox"/> FMEA	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sim
<input type="checkbox"/> Gráficos / Características	<input type="checkbox"/> Um por grupo	<input type="checkbox"/> Um por cada	<input type="checkbox"/> Um por grupo

Figura 3. Quadro-resumo das informações levantadas em cada empresa participante

Nas empresas A e C, existe uma sistematização voltada para o controle do processo. Apesar disto, a implantação, sob o ponto de vista teórico, pode ser considerada falha. O próprio entrevistado da empresa A relata: *“Nós sabemos que não verificamos a normalidade e outras coisas necessárias, mas estamos fazendo o melhor possível”*. Na empresa C, apesar do entrevistado ter relatado a execução de estudos preliminares, também observou-se que a verificação das suposições não é realizada. Por outro lado, uma falha ainda maior foi detectada na empresa B. É adotada a CC de média de Shewharts em a avaliação de variabilidade. Além disso, são utilizados os limites de especificação e não os limites de controle tradicionais, determinados a partir da variabilidade dos dados, aos quais é associada a probabilidade desejada de ocorrência de alarmes falsos. Segundo o engenheiro da qualidade entrevistado, a justificativa para a utilização de limites de especificação ao invés dos limites de controle

baseados na variação comum do processo é que o objetivo é a produção de zero peças defeituosas. Entre as demais empresas que utilizam os limites tradicionais, a empresa C efetua um controle do volume de peças defeituosas através da determinação dos índices Pk e Ppk.

Durante a análise das falas das entrevistas, observou-se maior ênfase no discurso dos entrevistados ao relatar os aspectos apresentados na figura 4. Tanto na empresa A quanto na empresa C, foram destacados como fundamentais a utilização do FMEA como método estruturado para identificação de aspectos críticos no processo produtivo. A gestão projetizada adotada pela Empresa A facilita a determinação de estratégias de ação no FMEA, para serem aplicadas quando da identificação de algum tipo de problema no processo, apesar de que, geralmente, estas ações estão identificadas em um manual desenvolvido pelo cliente, e não pelos desenvolvedores do produto. Na empresa C, as estratégias são discutidas com o cliente, mas são definidas posteriormente, pelos engenheiros de produto e processo.

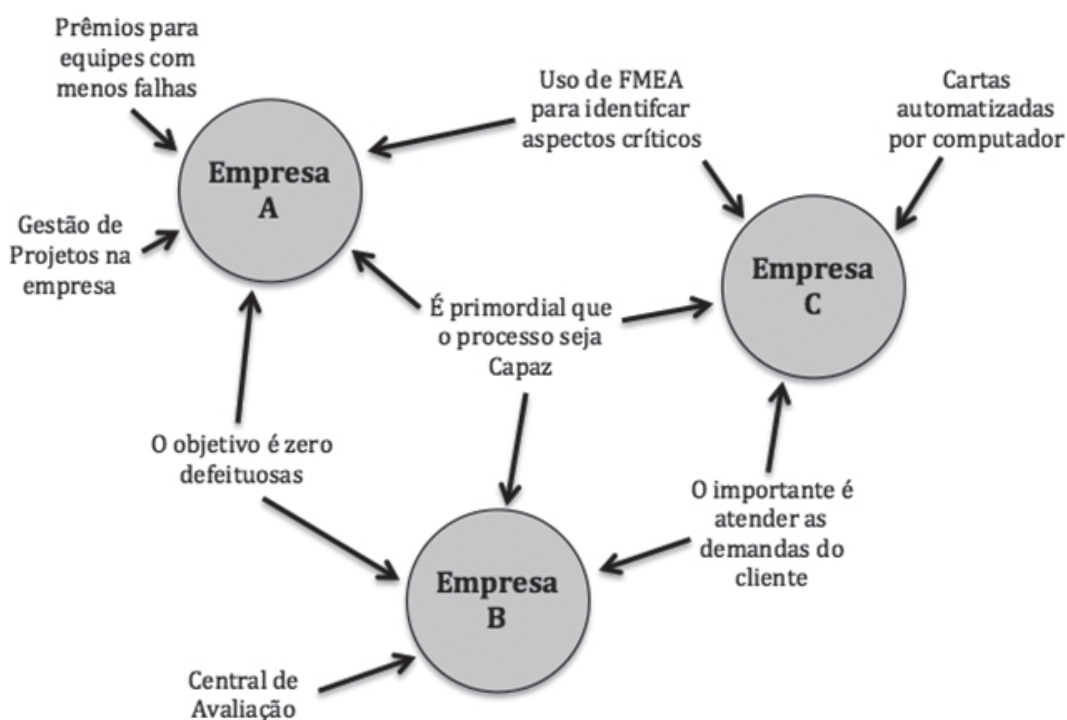


Figura 4. Aspectos de maior relevância levantados em cada empresa participante

Outro aspecto relevante enfatizado no relato do entrevistado da Empresa B é a cobrança da diretoria quando da ocorrência de devolução de peças por mau funcionamento. Geralmente, quando isto ocorre, equipes são realocadas para o atendimento desta demanda, a fim de promover a troca "o mais rapidamente possível". Esta preocupação também foi relatada pelo entrevistado da empresa C, porém com menor destaque.

Tanto a empresa A quanto a empresa B afirmaram que utilizam as CC em pranchetas de papel, sendo uma folha para cada produto produzido na célula. Foi observado na planta da Empresa que, muitas vezes, o trabalhador acaba gastando certo tempo procurando a folha correta para a marcação da medida realizada. Observou-se também erros no cálculo da mediana ou da amplitude, gerando marcações equivocadas na CC. Já na empresa C, as CC estavam implantadas em sistemas computacionais, em micro-computadores sobre uma bancada, ou no próprio equipamento. No caso do uso do micro-computador, o trabalhador inseria o código

do produto seguido das medições e os cálculos necessários eram efetuados aparecendo o ponto grafado na CC, o que podia ser visualizado na tela do terminal. O código do produto era utilizado para a identificação da CC onde deveriam ser gravadas as informações, sendo, neste caso, utilizada também uma CC para cada produto produzido.

DISCUSSÕES

Observou-se nas empresas observadas que há uma inversão entre os passos que são sugeridos na literatura e os passos identificados nas empresas entrevistadas. Segundo Antony *et al.* (2000) o objetivo do CEP é eliminar as causas especiais de variação no processo e, assim, alcançar a estabilidade do processo. Uma vez que a estabilidade do processo é atingida, a capacidade do processo pode então ser melhorada reduzindo as causas comuns de variação. Segundo Montgomery (2004), não sendo capaz, deve-se verificar se o processo está centrado, se existem causas especiais de variação ou se a variabilidade por causas comuns está demasiadamente elevada. Isto só é possível de ser verificado se tem-se, *a priori*, o estudo de estabilidade dado pela implantação adequadas das CC.

Montgomery (2004) afirma que as medidas de razão da capacidade do processo (C_p e C_{pk}) são calculadas com base nas suposições de que a característica da qualidade tem distribuição normal e que o processo está sobre controle estatístico. Entretanto estas verificações não são efetuadas pelas empresas avaliadas para o cálculo destes indicadores. Awaj *et al.* (2013) destaca que o CEP deve ser utilizado para monitorar a variação comum de um processo e minimizar os desvios em relação ao alvo. Em um processo estável, as determinações dos índices de capacidade do processo auxiliam no principal papel do CEP: ser um indicador para a melhoria contínua.

A inversão das tarefas observadas traz um questionamento: Como identificar quais as causas de um processo não capaz se não efetuou-se a implantação das CC *a priori*? A implantação das CC com a perspectiva adotada pelas empresas parecem estar prioritariamente voltadas ao cumprimento de pré-requisitos para a conquista de certificações de qualidade e não para aproveitar o seu papel principal de acompanhamento e melhoria do processo.

A figura 5 apresenta o resumo comparativo entre as principais etapas apontadas na literatura para a implantação do CEP+estudo de capacidade e aqueles passos observados nas empresas participantes.

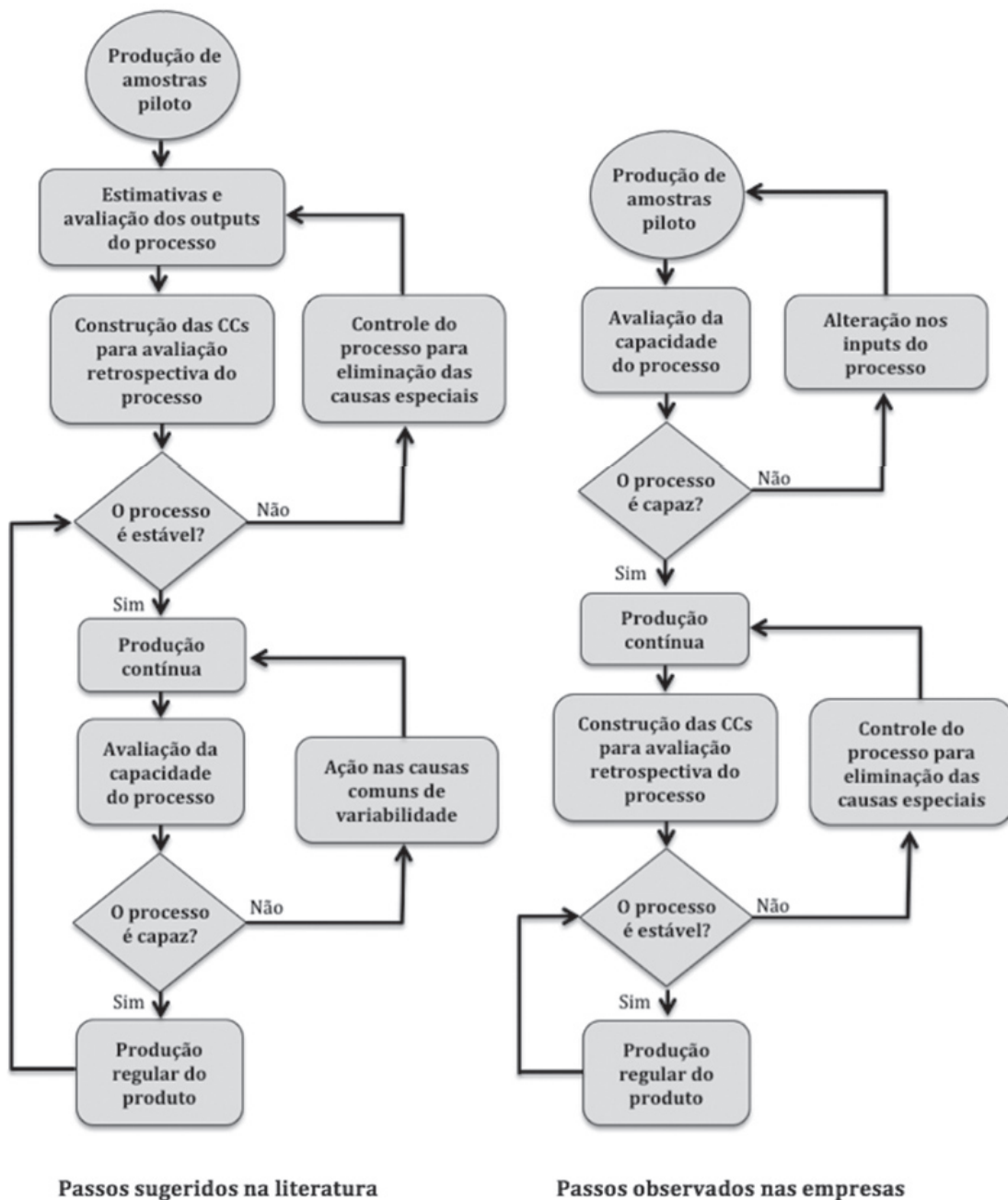


Figura 5. Etapas da implantação indicadas na literatura e observadas na prática das empresas pesquisadas

Enquanto a literatura apresenta uma série de passos para a implementação das CC, tendo esta implantação como pré-requisito para estudos de capacidade do processo (que consideram os limites de especificação), as empresas elaboram suas CC (que verificam a estabilidade) somente após terem efetuado o estudo de capacidade. Esta inversão aponta claramente que o objetivo principal não é verificar se o processo é estável, e conseqüentemente atacar as causas comuns de variação promovendo a melhoria contínua como preza as normas certificadoras, mas sim verificar se ele é conforme, isto é, se a produção está dentro das especificações.

A preocupação apresentada com maior destaque diz respeito a produção com os menores volumes possíveis de peças defeituosas. Isto ficou demonstrado na preocupação das Empresas quando da ocorrência de devoluções. De fato, a exigência dos clientes de que o processo seja capaz, isto é, tenha a produção de peças conformes, faz com que não haja a preocupação de melhoria do processo, mas sim de promover o atendimento do desejo dos clientes. Este desejo dá-se através da exigência de valores específicos nos índices de capacidade, sendo esta a tônica da ação produtiva: buscar alcançar os índices de capacidade exigidos.

Como a preocupação principal no controle estatístico do processo é que o processo seja capaz, não há uma análise efetiva dos alarmes gerados pelas CC utilizadas. Devido a despreocupação com a correta implantação das cartas, associado à necessidade do processo ser capaz, não há percepção pelos entrevistados de aumento do número de alarmes falsos ou do ARL, medidas de avaliação de desempenho das CC relatados freqüentemente na literatura. Não se percebeu desconhecimento junto aos entrevistados sobre a correta implantação de CC, sendo inclusive relatado que aspectos como normalidade e independência deveriam ser observados. Neste sentido, a apresentação do *framework* contribui para que a premissa e suposições sejam verificadas. Uma vez que se tenha um fluxo sistematizado, complementado pela indicação dos testes adequados para avaliação, disponível para consulta, a implantação das CC de forma adequada pode ser mais facilmente aplicada.

Sob o ponto de vista econômico, o raciocínio observado nas três empresas é de que se o processo não é estável, mas a produção está dentro dos limites de especificação, não haverão devoluções e não ter-se-ão custos adicionais com perdas ou retrabalho. Além disso, atacar as causas de variação especiais pode demandar recursos que poderiam estar sendo utilizados na produção. No mesmo sentido, atacar as causas comuns de variação a fim de minimizar a variabilidade exige investimentos que, muitas vezes, não são bem vistos pelo corpo diretor que objetiva maximizar os lucros para os acionistas.

A figura 6 apresenta um resumo comparativo entre o que foi observado nas empresas em termos da cultura da qualidade e o que é defendido na literatura.

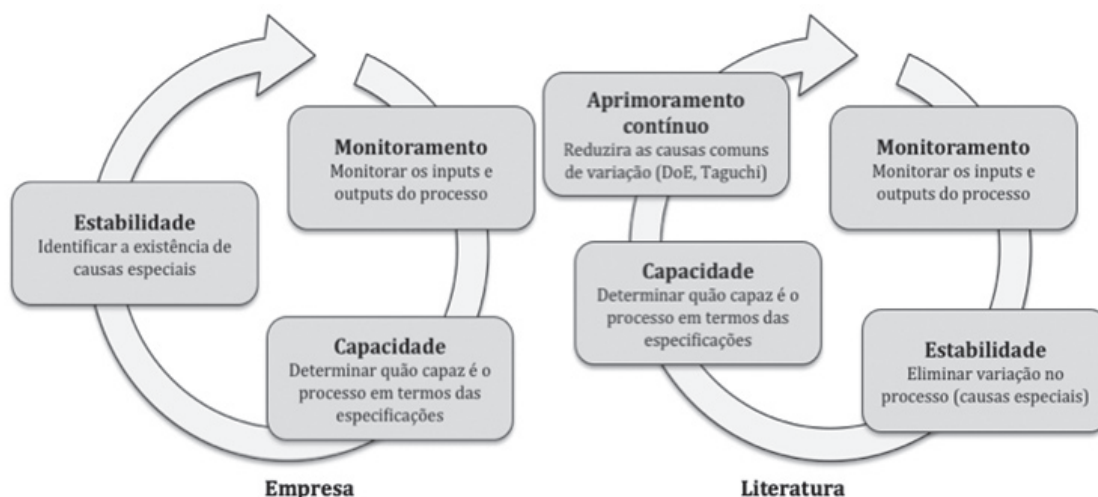


Figura 6. Raciocínio observado nas empresas e Raciocínio defendido pela cultura da qualidade

Fonte: Adaptado de Mason & Antony (2000)

Deming (1986) e Taguchi (1981) explicam com clareza que esse raciocínio é equivocado: processos instáveis exigem maiores investimentos em controle (atividade que não agrega valor) e variabilidade, mesmo que dentro dos limites de especificação podem representar perdas consideráveis como, por exemplo: maior variabilidade pode acarretar em dificuldades de montagem ou em menor vida útil do produto. Em função disso, o cliente pode abruptamente decidir trocar de fornecedor, se o fornecedor concorrente apresentar variabilidade menor. De fato, o que pode ser observado foi a necessidade de implantar uma cultura organizacional verdadeiramente voltada para a qualidade. Isso implicaria em uma atitude efetivamente preocupada com o conhecimento e controle dos processos produtivos, visando a redução da variabilidade, uma atitude gerencial que não se satisfaz apenas por produzir itens que estão dentro das especificações.

Estudos sobre os efeitos das violações nos índices de capacidade podem ser conduzidos, principalmente no que tange a violação da normalidade. A execução de um *survey* para avaliar se o comportamento verificado na implantação do CEP da forma verificada nesta pesquisa deve ser conduzido, objetivando coletar dados em empresas fornecedoras de componentes críticos, devido ao risco a segurança dos clientes finais, usuários destes produtos. Ainda como sugestão de pesquisas futuras, destaca-se que os profissionais não perceberam variações em relação ao volume de alarmes falsos ou dificuldade das CC de identificar que o processo saiu de controle, o que contradiz o que é apresentado na literatura sobre a violação das suposições destas ferramentas. Deste modo, estudos de caso que apontem não somente o efeito nas medidas de *desempenho* das cartas em ambientes que violem suas suposições, mas os impactos econômicos destas alterações seriam de grande relevância junto à comunidade empresarial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi apresentar um *framework* para avaliação de suposições durante a implantação de cartas de controle em processos produtivos e compará-lo com a sequência de passos adotados por empresas do ramo automotivo no sul do Brasil. Apoiado em um estudo qualitativo pode ser verificado que em geral, as empresas não adotam as etapas de implantação apresentadas na literatura. Foi possível estabelecer de forma crítica que a implantação de CC apresenta falhas em relação as suas etapas de implantação. Nas empresas participantes, foi observado que o CEP inicia com o estudo de capacidade, através do cálculo de índices como C_p e C_{pk} . Após verificar que o processo é capaz, as empresas participantes efetuam a construção das CC, invertendo a ordem sugerida na literatura e, mesmo assim, sem a verificação das suposições de normalidade e independência das observações da característica da qualidade. Destaca-se que estas suposições também são exigidas para determinação dos índices de capacidade. Entretanto, os entrevistados não relataram distorções observáveis no desempenho das cartas de controle.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a CAPES pelo auxílio financeiro (Processo BEX 5337/11-9).

REFERÊNCIAS

ALWAN, L.C. Effects of autocorrelation on control chart performance. *Communications in Statistics – Theory Methods*, 1992, vol.21, no. 4, p. 1025-1049.

ALWAN, Layth C., and ROBERTS, Harry V. Time-series modeling for statistical process control. *Journal of Business & Economic Statistics*, 1988, vol. 6, no 1, p. 87-95.

ANTONY, J., BALBONTIN, A., and TANER, T. Effective implementation of statistical process control. *Work Study*, 2000, vol.49, no. 6, p. 242-247.

AWAJ, Y. M., SINGH, A. P., and AMEDIE, W. Y. Quality improvement using statistical process control tools in glass bottles manufacturing company. *International Journal for Quality Research*, 2013, vol.7, no. 1, p.107-126.

BISGAARD, S., and KULAHCI, M. Box-Cox Transformations Time Series Modeling – Part I. *Quality Engineering*, 2008, vol.20,p. 376-388.

BOX, G., JENKINS, G. M., and REINSEL, G.C. *Time series analysis: forecasting control*. San Francisco: Holden-Day, 1970.

CAULCUTT, R. The Rigths Wrongs of Control Charts. *Applied Statistics*. 1995, vol. 44, no.3, p.279-288.

CHAN, L. K., HAPUARACHCHI, K.P., and MACPHERSON, B. D. Robustnes of \bar{X} R chart. *IEEE Transactions on reability*, 1988, vol.37, no. 1, p.117-123.

DEMING, W.E. *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, Mass, 1986.

ELDIN, S., and HAMZA, A. Monitoring controlling design process using control charts process sigma. *Bussiness Process Management Journal*, 2009, vol.15, no. 3, p. 358-370.

ENDERS, W. *Applied Econometric Time Series*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2003.

FRANCO, B.C., CELANO, G., CASTAGLIOLA, P., and COSTA, A.F.B. Economic design of Shewhart control charts for monitoring autocorrelated data with skip sampling strategies. *International Journal of Production Economics*, 2014, vol. 151, p.21-130.

GUJARATI, D. N. *Econometria Básica*. São Paulo: MAKRON Books Ltda. 2000.

JENSEN, W. A., JONES-FARMER, L. A., CHAMP, C.W., and WHOODALL, W.H. Effects of Parameter Estimation on Control Chart Properties: A Literature Review. *Journal of Quality Technology*, 2006, vol. 38, no. 4, p. 349-364.

JONES-FARMER, L. A., JORDAN, V., and CHAMP, C. W. Distribution-Free Phase I Control Charts for Subgroup Location. *Journal of Quality Technology*, 2009, vol. 41, no. 3, p. 304-316.

JURAN, J. M. *A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços*. São Paulo: Pioneira, 1997.

KORZENOWSKI, A. L. *Premissas e suposições para construção de gráficos de controle: um framework para verificação*. Dissertação. Mestrado em Engenharia de Produção – UFRGS, 2009.

KORZENOWSKI, A. L., WERNER, L., and MORAIS, I. A.C.D. Control graphs Bai & Perron test comparisons for the identification of structural changes in time series. *Book of Abstracts*. Praha: ISBIS, 2008.

KORZENOWSKI, A. L., and WERNER, L. Probabilidade do erro do tipo I nas cartas X e S de Shewhart sob não normalidade. *Revista Produção*, 2012, vol.22, no. 4, p.807-816.

LILLIEFORS, H. On the Kolmogorov–Smirnov test for normality with mean variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 1967, vol.62, 399–402.

LIN, Yu-Chang., and CHOU, Chao-Yu. On the design of variable sample size and sampling intervals charts under non-normality. *International Journal of Production Economics*, 2005, vol. 96, no 2, p. 249-261.

MASON, B., and ANTONY, J. Statistical process control: an essential ingredient for improving service manufacturing quality. *Managing Service Quality*, 2000, vol. 10, no. 4, p. 233-238.

MICHEL, R., and FOGLIATTO, F. Projeto econômico para cartas adaptativas para monitoramento de processos. *Revista Gestão & Produção*, 2002, vol.9, no. 1, p.17-31.

MINGOTI, S. A., and YASUKAWA, F. R. S. Uma comparação de gráficos de controle para a média de processos autocorrelacionados. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, 2008, vol. 3, no. 1, p.55-73.

MONTGOMERY, D. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOOD, A. M., GRAYBILL, F. A., and BOES, D.C. *Introduction to the Theory of Statistics*, New York: Mc-Graw-Hill, Inc, 1974.

MOORE, P. Normality in Quality Control Charts. *Applied Statistics*, 1957, vol.6, no. 3, p.171-179.

MOREIRA JUNIOR, F. de J., and TEN CATEN, C. S. Proposta de uma carta de controle estatístico de dados autocorrelacionados. *XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Florianópolis, SC, Brazil, 2004.

QUININO, R. C., HO, L.L., and TRINDADE, A. L. G. Estimation in X-bar control charts: effects corrections. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, p. 1-6.

RAMJEE, R., CRATO, N., and RAY, B.K. A note on moving average forecasts of long memory processes with an application to quality control. *International Journal of Forecasting*, 2002, vol.18, p. 291-297.

RIAZ, M., MEHMOOD, R., AHMAD, S., and ABBASI, S. A. On the Performance of Auxiliary-based Control Charting under Normality Non normality with Estimation Effects. *Quality Reliability Engineering International*, 2013, vol. 29, no. 8, p.1165-1179.

SARAVANAN, A., and NAGARAJAN, P. Implementation of Quality Control Charts in Bottle Manufacturing Industry. *International Journal of Engineering Science Technology*, 2013, vol.5, no. 2) p.335-340.

SEREL, D.A. Economic design of EWMA control charts based on loss function. *Mathematical Computer Modelling*, 2009, vol. 49, p. 745-759.

SHAPIRO, S.S., and WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 1965, vol.52, no. 3-4, p.591–611.

STOWMBOS, Z. G., and REYNOLDS, M. R. Robustness to non-normality autocorrelation of individuals control charts. *Journal of Statistical Computation Simulation*, 2000, vol.66, p.145-187.

TAGUCHI, G. On-Line Quality Control During Production. Japanese Standards Association, Tokyo, Japan, 1981.

WHOODALL, W.H. Controversies Contradictions in Statistical Process Control. *Journal of Quality Technology*, 2000, vol.32, no. 4, p. 341-350.

YOURSTONE, S.A., and ZIMMER, W.J. Non-normality design of control chart averages. *Decisions Sciences*, 1992, vol.23, p.1099-1113.