

Aplicação de gráficos de controle para o monitoramento do processo de retificação do diâmetro interno de um cilindro de aço

Murilo Thiago da Maia (Universidade do Estado de Santa Catarina) murilot.maia@gmail.com
Elisa Henning (Universidade do Estado de Santa Catarina) dma2eh@joinville.udesc.br
Olga Maria Formigoni Carvalho Walter (Universidade Federal de Santa Catarina) olgaformigoni@gmail.com
Andrea Cristina Konrath (Universidade Federal de Santa Catarina) andrea@inf.ufsc.br

Resumo:

A qualidade de produtos e processos vem se mostrando crucial para que as empresas consigam competir no mercado. O controle estatístico de processo possibilita prever problemas no processo, garantindo assim, a qualidade dos itens fabricados. Este trabalho tem por objetivo principal apresentar uma proposta de monitoramento de um processo de usinagem, com auxílio de ferramentas de Controle Estatístico de Processos (CEP). Esta pesquisa surgiu da necessidade de um processo de usinagem do diâmetro interno de um cilindro, parte componente de um produto fabricado por uma empresa do sul do Brasil. Os parâmetros devem seguir as especificações do projeto para que o produto final não venha a ter problemas de desempenho. Assim, para o monitoramento deste processo aplicou-se o gráfico de controle do tipo Shewhart $\bar{X} - S$ para três medições realizadas em um cilindro, analisando-as separadamente. Para complementar, um gráfico multivariado T^2 de Hotelling é aplicado às três variáveis em conjunto. As duas abordagens são comparadas em termos de desempenho e aspectos de implantação. Os resultados obtidos, em termos de desempenho, foram similares. No entanto, o gráfico de controle de Shewhart apresentava-se mais simples de implantar e de interpretar pelo pessoal do chão de fábrica. Os resultados obtidos permitiram à empresa conhecer a estabilidade do processo, facilitando a tomada de decisões nas ações realizadas para melhoria.

Palavras chave: Controle Estatístico de Processos, Shewhart, T^2 de Hotelling, Processo de Usinagem.

Application of control charts for monitoring the retification process of the internal diameter of a steel cylinder

Abstract

The quality of products and processes has proven to be crucial for companies to compete in the market. The statistical process control enables to foresee problems in the process, thereby ensuring the quality of manufactured items. This paper aims to propose use tools of Statistical Process Control (SPC) for monitoring a machining process. This research arose from the need of monitoring the machining process of an internal diameter of a cylinder, a component part of a product manufactured by a company in southern Brazil. The parameters must follow the design specifications, so the final product will not have performance problems. Thus, for the monitoring of this process were applied Shewhart control charts for three measurements performed in a cylinder, analyzing them separately. To complement, a multivariate chart, Hotelling's T^2 was applied to the three variables together. The two approaches are compared in terms of performance and deployment aspects. The results obtained in terms of performance were similar. However, the Shewhart control chart is easier to deploy and simpler to interpret by staff. The results enabled the company to know the stability of the process, facilitating the decision-making on actions taken for improvement.

Key-words: Statistical Process Control, Shewhart, Hotelling T^2 , Machining process.

1. Introdução

A qualidade de produtos e processos vem se mostrando crucial para que as empresas consigam competir no mercado. O controle estatístico de processo possibilita prever problemas no processo, garantindo assim, a qualidade dos itens fabricados.

A motivação deste trabalho surgiu da necessidade de implantação de controle estatístico de processo (CEP) em uma célula de usinagem de um projeto piloto em uma empresa.

Por se tratar de um item produzido em série pela empresa, e que tem como crítica a característica em estudo, é necessário um acompanhamento estatístico, que propicie rapidez evitando que o processo comece a ser caracterizado como fora de controle estatístico. A peça em estudo é medida em três seções, existindo desse modo, três (3) variáveis para serem analisadas. Cada seção da peça é analisada individualmente, pois caso exista alguma fora do especificado, a peça deve ser refugada ou reprocessada. Isso torna possível a utilização do gráfico $\bar{X} - S$ de Shewhart. Porém, como são três (3) as variáveis em estudo, e elas correlacionadas, possibilitando também a utilização do gráfico de T^2 de Hotelling. Ao utilizar os conceitos de CEP, esta pesquisa visa propor uma maneira de realizar o monitoramento dessas variáveis, podendo assim, garantir a estabilidade do processo.

O objetivo geral desse estudo é apresentar uma proposta de monitoramento das seções do diâmetro interno de peça em estudo, utilizando-se gráficos de controle. Deseja-se também comparar o monitoramento entre os gráficos de Shewhart $\bar{X} - S$ e o gráfico T^2 de Hotelling para este processo.

Este artigo está assim estruturado: na Seção 2, é apresentada a fundamentação teórica sobre gráficos de controle; na Seção 3, a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho; na Seção 4 estão os resultados e discussão; e na Seção 5 as considerações finais.

2. Gráficos de Controle

O CEP e em particular as técnicas de Controle da Qualidade, tais como gráficos de controle, têm sido cada vez mais importantes pelo fato de desempenharem papel primordial na indústria moderna. O objetivo principal do Controle Estatístico da Qualidade é atingir uma garantia da qualidade para tornar-se cada vez mais o fator básico de decisão do consumidor em relação a produtos e serviços (ALVES, 2003).

Os processos devem ser permanentemente monitorados, para detectar a presença de causas atribuíveis. Monitorando as características de um processo, é possível conhecer e atuar nas causas de variabilidade. Conhecendo as causas de variação do processo, é possível propor um plano de ação para eliminar as causas especiais. O gráfico de controle é a principal ferramenta utilizada para monitorar os processos e sinalizar a presença de causas especiais, permitindo sua detecção e a tomada de ações corretivas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2008).

Um gráfico de controle é composto por uma linha central, referente à média dos valores amostrais, e outras duas linhas paralelas, chamadas de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Um processo está sob controle estatístico quando a variação apresentada pelas amostras no gráfico é pequena, oscilando em volta do limite de controle central, sem exceder os limites de controle superior e inferior. Essa variação é decorrente de causas aleatórias, intrínsecas ao processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2008). Caso ocorram subgrupos que excedam o LIC e LSC, o processo está sob a ação de causas especiais,

e ações devem ser tomadas para a identificação e supressão das mesmas.

A implantação de gráficos de controle em um processo se dá em duas fases. Na primeira fase é verificado se, através das observações iniciais apresentadas no gráfico, o processo está sob controle. Nesta fase também, é realizado um minucioso estudo verificando se o processo está sob controle estatístico por meio da análise de suas características a fim de verificar se os dados são independentes e identicamente distribuídos (VINING, 2009). Após a verificação dos gráficos de controle, busca-se a identificação de causas especiais. Caso sejam identificadas causas especiais no processo produtivo, busca-se a identificação dessas causas para poder eliminá-las.

Segundo Samohyl (2009), nunca devem ser utilizados os subgrupos que estavam sob a influência comprovada de causas atribuíveis. Sem fazer parte do gráfico de controle, esses subgrupos devem permanecer registrados juntamente com as ações tomadas para remoção das causas que tornaram o processo fora de controle estatístico. Após eliminar os subgrupos que tornam o processo fora de controle, os limites são recalculados, e é feito uma nova análise. Caso não existam causas especiais no processo, passa-se então para a fase II, onde é feito o monitoramento do processo com os limites calculados na fase I. Na fase II, as informações obtidas na fase I são utilizadas na construção dos gráficos de controle que são usados para testar se o processo permanece sob controle quando as observações futuras são monitoradas (HENNING *et al.*, 2011)

O desempenho de um gráfico de controle é comumente medido através de parâmetros relacionados com a distribuição do tempo necessário para o gráfico emitir um sinal. O comprimento médio de corrida (ARL – *Average Run Length*) é um desses parâmetros, representando o número médio de amostras necessário para que seja detectada uma mudança, ocorrida no processo (ALVES; SAMOHYL, 2004). Segundo Samohyl (2009), se o alarme for falso, então é chamado de ARL_0 ; se verdadeiro, é chamado de ARL_1 .

Para que os gráficos de controle do tipo Shewhart sejam efetivos, segundo Montgomery (2004) e Costa, Epprecht e Carpinetti (2008) são necessárias que duas suposições sejam previamente analisadas e validadas. A primeira é de que as observações da característica da qualidade de interesse sejam independentes, não apresentando autocorrelação entre os dados. A segunda é de que as observações sejam normalmente distribuídas.

2.1 Gráfico de Controle $\bar{X} - S$

O gráfico \bar{X} , desenvolvido por Shewhart na década de 1920, é o gráfico de controle mais utilizado no CEP hoje em dia, sendo que sua utilização tem se mostrado eficiente para monitorar o processo e melhorar o resultado numa maneira contínua e permanente (SAMOHYL, 2009).

Os limites de controle são normalmente estabelecidos considerando 3 (três) erros-padrão, a partir da média \bar{X} , para mais e para menos. Costa, Epprecht e Carpinetti (2008) afirmam que com a utilização de 3 desvios-padrão, enquanto o processo estiver sob controle, raramente um ponto cairá na região de ação do gráfico, que visaria a intervenção sob o processo. O ARL_0 , neste caso é de 370, ou seja, é aceito um alarme falso a cada 370 amostras. Para a definição dos limites de controle no gráfico \bar{X} utilizam-se as Equações 2, 3 e 4.

$$LSC_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}}; \quad (2)$$

$$LC_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}}; \quad (3)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}}; \quad (4)$$

onde μ_x corresponde a média de \bar{X} e $\sigma_{\bar{X}}$ corresponde ao desvio-padrão de \bar{X} .

Para facilitar a elaboração dos gráficos de controle no chão de fábrica, Shewhart desenvolveu uma tabela de coeficientes que pode ser utilizada para o cálculo dos limites de controle do gráfico \bar{X} , e do gráfico S. Esta tabela pode ser encontrada em referências tradicionais de CEQ como Montgomery (2004), Costa, Epprecht e Carpinetti (2008) e Samohyl (2009).

Desse modo, ao invés de utilizar a Equação 2 e 4 para definir os limites de controle, segundo Montgomery (2004), é possível utilizar a Equação 5 e 7, respectivamente.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}; \quad (5)$$

$$LC = \bar{\bar{X}}; \quad (6)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}. \quad (7)$$

onde $\bar{\bar{X}}$ corresponde a média da média das amostras, \bar{S} corresponde ao desvio-padrão médio e A_3 corresponde ao fator para construção dos gráficos de controle, tabelado.

Existe um gráfico para o monitoramento da variabilidade do processo, mas na prática é pouco utilizado, o gráfico de variabilidade S baseado diretamente no desvio-padrão dos subgrupos. É mais apropriado quando os subgrupos têm, por exemplo, tamanho > 10 , e é raro isso acontecer na prática. Entretanto, a acurácia do gráfico S é melhor do que o gráfico R, aparecendo menos alarmes falsos, e em situações fabris a sua utilização deve ser considerada em fábricas onde a cultura dos métodos quantitativos é mais evoluída e apreciada (SAMOHYL, 2009).

Segundo Samohyl (2009), para facilitar o cálculo no chão de fábrica, Shewhart desenvolveu uma tabela de coeficientes d_2 , transformando assim, \bar{R} em desvio-padrão, \bar{R}/d_2 . Para os limites de controle do gráfico do desvio padrão S, utiliza-se as Equações 8, 9 e 10.

$$LSC = B_4\bar{S}; \quad (8)$$

$$LC = \bar{S}; \quad (9)$$

$$LIC = B_3\bar{S}. \quad (10)$$

onde \bar{S} é o desvio-padrão médio, e B_4 e B_3 são coeficientes tabelados.

2.2 Gráficos de controle multivariados

Segundo Montgomery (2004), há muitas situações nas quais é necessário o monitoramento simultâneo do controle de duas ou mais características da qualidade relacionadas, e monitorar essas características independentemente pode ser enganoso.

Para estas situações ferramentas específicas devem ser utilizadas para detectar, identificar e analisar as causas significativas de variabilidade de um processo. Os gráficos de controle multivariados representam uma destas técnicas estatísticas emergentes, utilizadas para controlar simultaneamente várias características correlacionadas que indicam a qualidade de um único processo produtivo (ALVES; HENNING; SAMOHYL, 2008).

O procedimento mais familiar de monitoramento e controle de um processo multivariado é o gráfico de controle T^2 de Hotelling, para monitoramento do vetor média do processo. Ele é um análogo direto do gráfico \bar{X} de Shewhart univariado (MONTGOMERY, 2004).

Entre os gráficos multivariados existentes, o gráfico de controle multivariado T^2 de Hotelling

é o mais conhecido na literatura, e sua aplicabilidade é mais recomendada para processos que apresentam várias características de qualidade. Tais características são fortemente correlacionadas e precisam ser monitoradas conjuntamente. Além disso, o gráfico de controle T^2 de Hotelling apresenta mais sensibilidade do que os gráficos univariados, permitindo ao operador detectar mais rapidamente os possíveis problemas existentes no processo e com isso corrigi-los com mais agilidade (HENNING *et al.*, 2009). A estatística do teste T^2 se baseia na Equação 11,

$$T^2 = n(\bar{X} - \bar{\bar{X}})' S^{-1} (\bar{X} - \bar{\bar{X}})$$

(11)

onde \bar{X} corresponde ao vetor das médias, e S representa a matriz de covariâncias do processo.

A aplicação do gráfico multivariado T^2 de Hotelling se dá também em duas etapas. Para a fase I, os limites são calculados utilizando a Equação 12,

$$LSC = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (12)$$

onde p é o número de variáveis, m o número de amostras, n o tamanho da amostra, e F equivale a estatística da distribuição F de Snedecor com grau de liberdade do numerador igual a α (equivalente a taxa de alarmes falsos), e do denominador igual a $p, mn-m-p+1$.

Para a fase II da aplicação do gráfico multivariado, a equações do limite de controle superior é dada por

$$LSC = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (13)$$

O limite inferior de controle (LIC) para as duas fases é igual a zero. Para a utilização dos gráficos de controle multivariados, também se faz necessário a verificação das suposições de normalidade e autocorrelação entre os dados, para que seja possível a utilização do mesmo.

3. Metodologia

Do ponto de vista de sua natureza, este trabalho pode ser considerado como uma pesquisa aplicada (BARROS; LEHFELD, 2000; GIL, 2010), contribuindo para fins práticos, visando à solução de problemas ou necessidades concretas e imediatas encontrados na realidade. Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, é quantitativa, pois para alcançar os objetivos propostos são analisados os resultados obtidos por meio das informações dos gráficos de controle aplicados.

Como recurso computacional para o monitoramento dos dados, a análise de normalidade e autocorrelação foi utilizado o *software* InfinityQS SPC®, o qual foi implantado na usinagem em estudo. Para a construção dos gráficos de Hotelling, foi utilizado o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

Na Figura 1 são mostradas as etapas utilizadas na implantação do CEP deste trabalho.

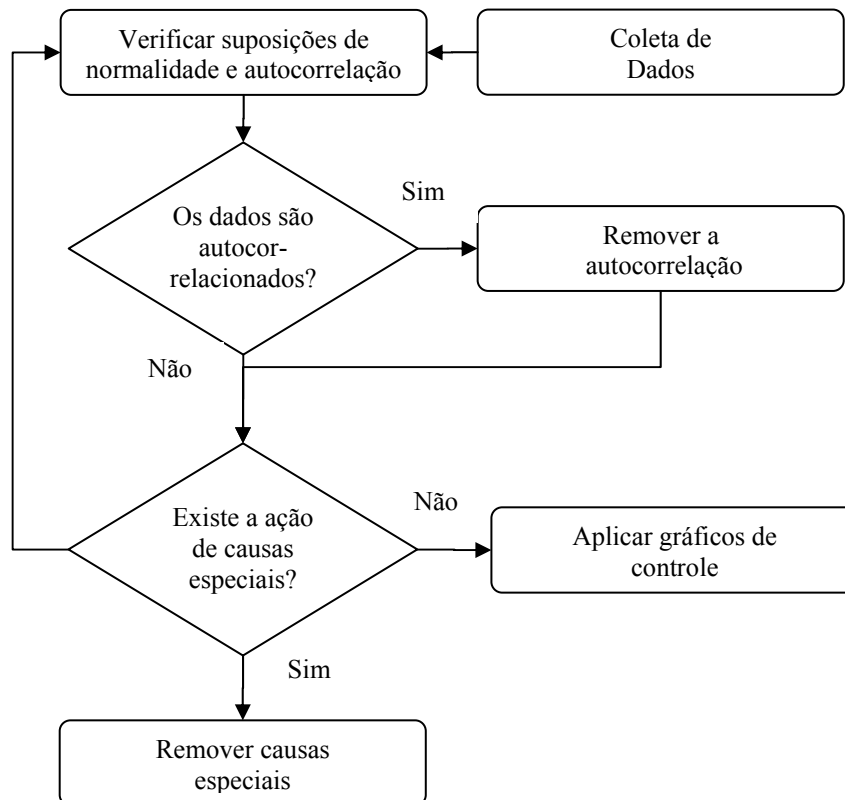


Figura 1 - Fluxograma da implantação do CEQ nos dados das seções do cilindro

A coleta de dados ocorreu no processo de retificação do diâmetro interno do cilindro em aço 1020. A peça é separada em três (3) seções para a medição: Topo, Meio e Saia. Os dados destas seções medidas estão disponíveis no Anexo. A retificação do diâmetro interno é realizada para aumentar o diâmetro e diminuir a rugosidade. Essas são as duas cotas principais para garantir a qualidade do produto neste processo.

4. Análise e Discussão dos Resultados

4.1 Caracterização da Empresa

Por motivos de sigilo, o nome da empresa onde este trabalho foi desenvolvido será referenciado como Empresa. Atuando a mais de 40 anos no mercado, a empresa possui sede no norte de Santa Catarina, além de filiais espalhadas em outros continentes, gerando aproximadamente 10.000 colaboradores no cenário global. A empresa produz um dos principais componentes para a linha branca, e seu produto é responsável pela circulação do gás refrigerante no sistema de refrigeração.

Sempre atenta ao mercado, a Empresa busca oferecer soluções inovadoras, através de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias, podendo assim, oferecer aos clientes, a qualidade exigida em seus produtos. A célula de usinagem em estudo passava por uma transição entre projeto e fábrica. Desse modo, ainda não era utilizado nenhum método para verificar a estabilidade do processo. Apenas era verificado, por meio de medições, se as peças estavam dentro do especificado. Viu-se então a necessidade de implantar o CEP na célula de usinagem. A Empresa já utiliza o *software* InfinityQS SPC em demais setores da planta. Este sistema efetua o monitoramento on-line das características da qualidade importantes para cada processo, além de gerar diversos relatórios e gráficos para auxiliar nas análises.

4.2 Fase de Análise (Fase I)

Inicialmente testou-se a hipótese de normalidade por meio do teste de hipótese de Shapiro-Wilk. O resultado do teste de normalidade para os primeiros 30 subgrupos das seções Topo, Meio e Saia do cilindro é apresentado na Tabela 1. Com exceção da seção Topo, as características encontradas permitem que se utilizem os dados em sua forma original, sem necessidade de qualquer transformação, na aplicação dos gráficos de controle.

Seção	p-valor	Nível de significância	H ₀ : Normalidade
Topo	0,0009	5%	Rejeitada
Meio	0,7305	5%	Aceita
Saia	0,2466	5%	Aceita

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Primeira análise de normalidade dos dados e definição de limites de controle

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os gráficos de autocorrelação das amostras de todas as seções. Mediante as observações dos padrões das funções de autocorrelação verifica-se que nenhuma das seções apresenta dados autocorrelacionados.

Os limites de controle apresentados na Tabela 1 tiveram que ser recalculados uma vez que foram encontradas erros de correção dos parâmetros da máquina por parte dos operadores. Desse modo, os subgrupos 9 e 17 foram retirados da análise. Com a retirada destes subgrupos, foram verificadas novamente as suposições e pôde-se considerar que os dados têm distribuição normal e não são autocorrelacionados. Os novos limites de controle para as seções Topo (LSC=36,636; LC=36,629; LIC=36,623), Meio (LSC=36,636; LC=36,630; LIC=36,623) e Saia (36,636; LC=36,629; LIC=36,622) podem ser verificados nas Figuras 5, 6 e 7 que representam a fase II, ou seja, a fase de monitoramento discutida na sequência.

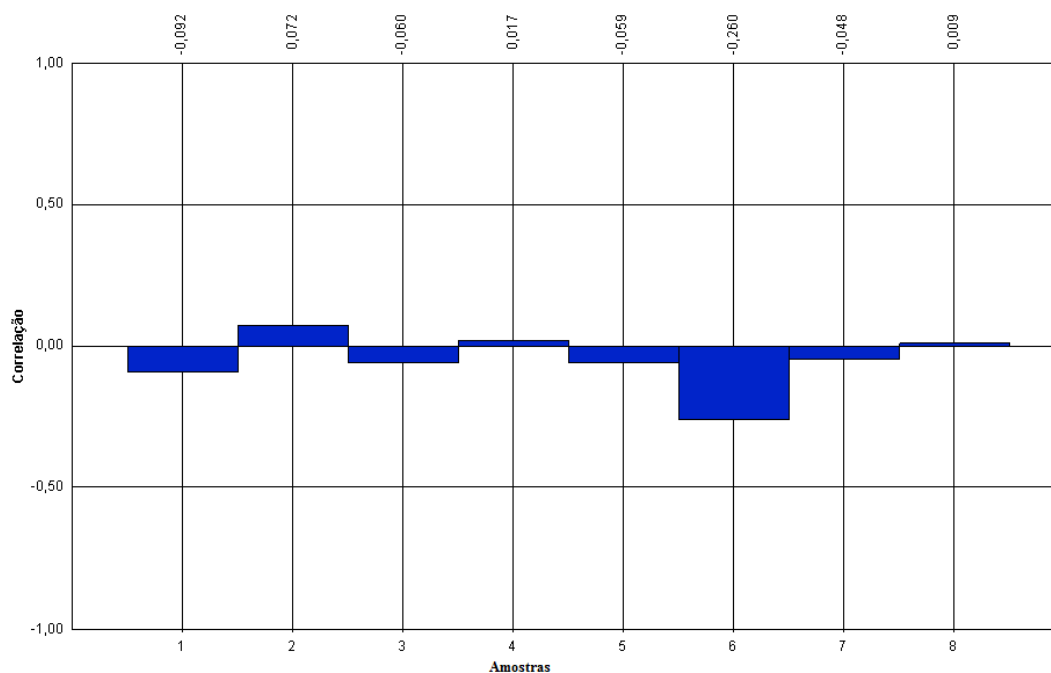


Figura 2 – Gráfico da função de autocorrelação das amostras da seção Topo. Fonte: InfinityQS SPC

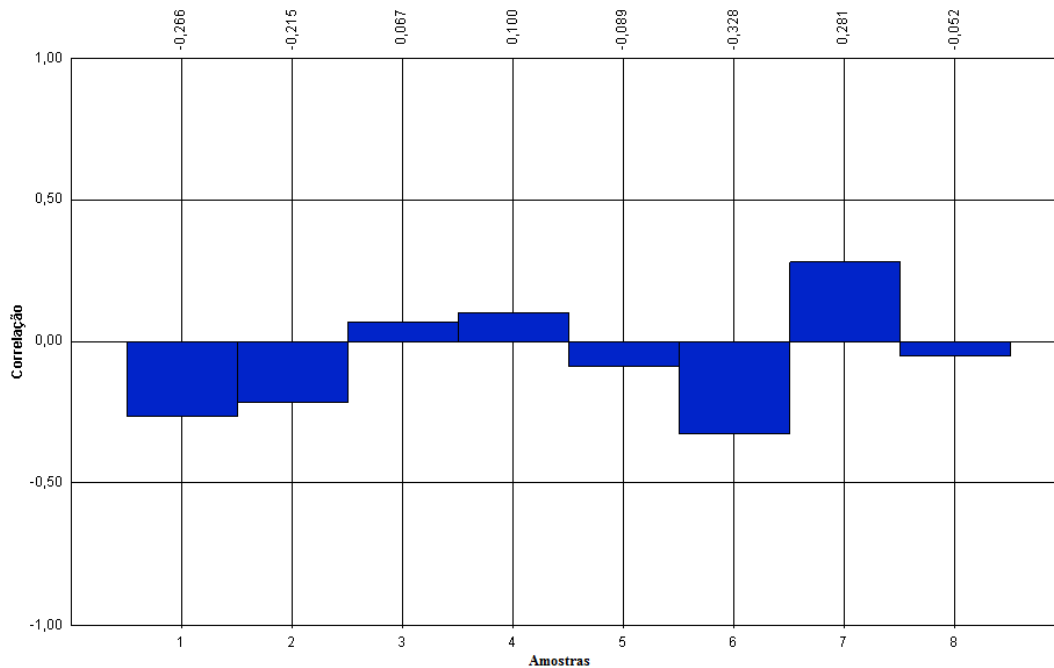


Figura 3 - Gráfico da função de autocorrelação das amostras da seção Meio. Fonte: InfinityQS SPC

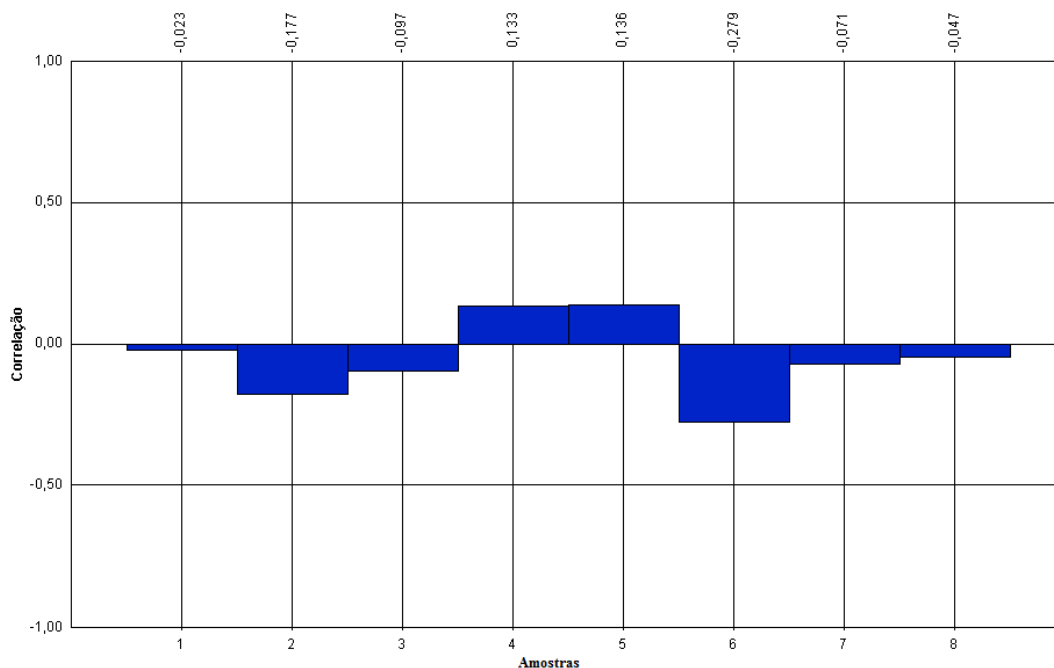


Figura 4 - Gráfico da função de autocorrelação das amostras da seção Saia. Fonte: InfinityQS SPC

4.3 Fase de Monitoramento (Fase II)

4.3.1 Monitoramento por $\bar{X} - S$

As Figuras 5, 6 e 7 demonstram que todas as seções medidas e também para a média, o processo se manteve sob controle estatístico. Com relação a variável Topo, alguma ação pode ser realizada, pois o valor de LC ainda não corresponde ao valor alvo, embora esteja muito próximo. O processo, no entanto, se encontra estável, apenas sob ação da variabilidade natural do processo, com as medições dentro das especificações.

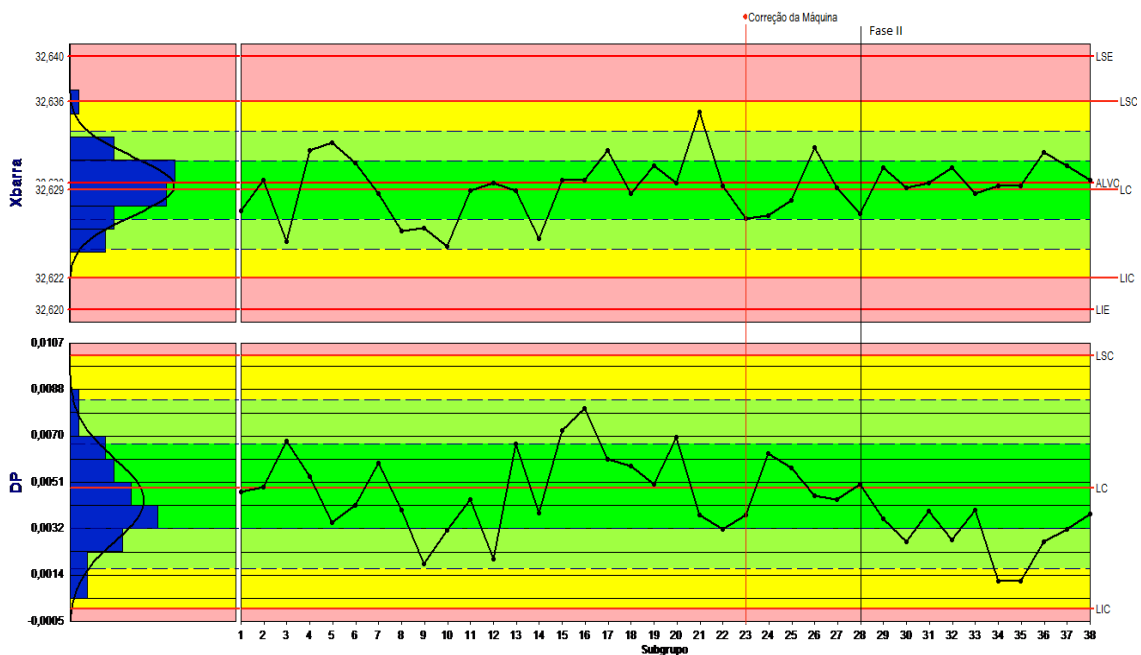


Figura 5 - Gráfico Xbar-S da seção Topo durante a fase de monitoramento do processo Fonte: InfinityQS SPC

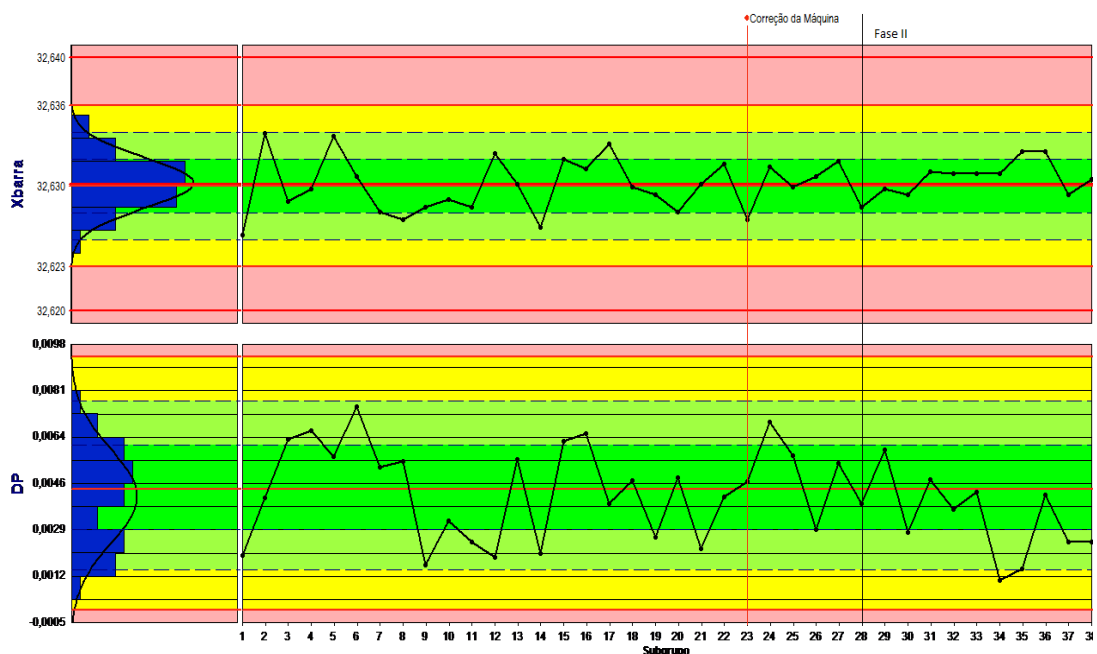


Figura 6 - Gráfico Xbar-S da seção Meio durante a fase de monitoramento do processo Fonte: InfinityQS SPC

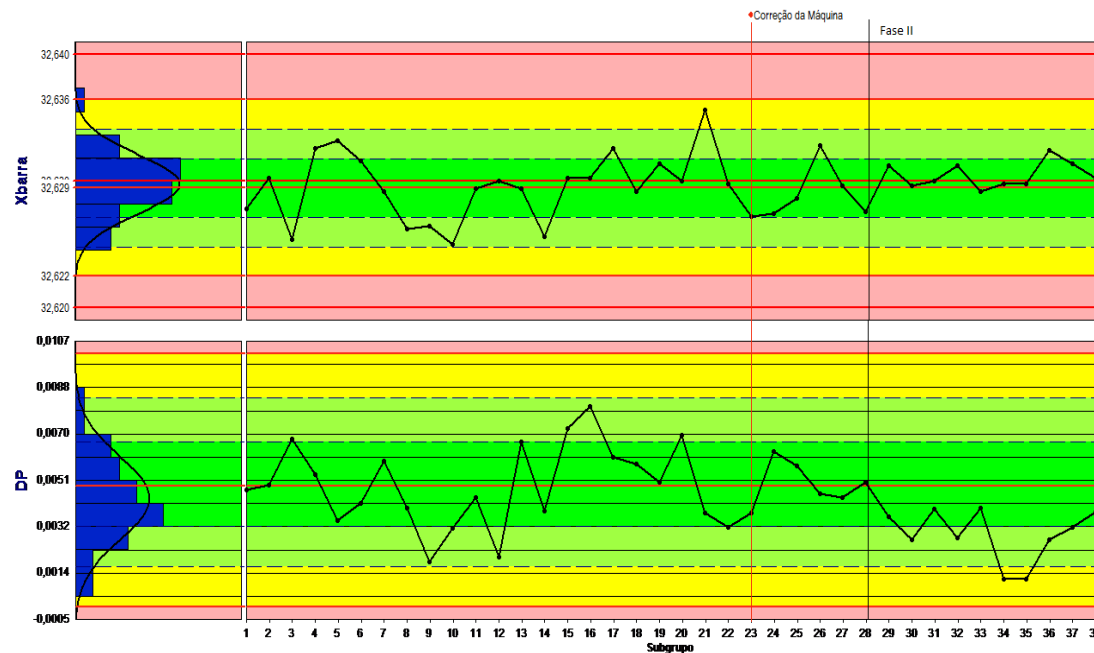


Figura 7 - Gráfico Xbar-S da seção Saia durante a fase de monitoramento do processo Fonte: InfinityQS SPC

A partir do desenvolvimento deste trabalho é possível iniciar o processo de CEP nesta célula. É recomendável, após algum tempo recalculer os limites de controle. Além disso, um *feedback* do cliente, quanto à qualidade do produto, é sempre desejável.

4.3.2 Monitoramento por T^2 Hotelling

Nesta análise foram consideradas as três variáveis em estudo (Topo, Meio e Saia) com um número inicial de 30 subgrupos. Assim como no gráfico de controle de Shewhart, o tamanho do subgrupo foi igual a 5 (cinco) e foi adotado o ARL_0 de 370. Conforme foi relatado, nos gráficos individuais, os subgrupos 9 e 17 apresentaram causas especiais, e estes foram desconsideradas após a análise inicial. No, entanto nesta análise apenas a amostra 17, onde também foi relatada uma causa especial, ficou acima do limite de controle superior. Todavia, optou-se por retirar esses subgrupos, e recalculados os limites, o processo se mostrou sob controle estatístico.

Para a verificação da normalidade entre os dados, foi realizado um teste para a normalidade multivariada – teste de Mardia – do pacote QRMLib do R (MCNEIL; ULMAN, 2011). Com a análise, obteve-se o p -valor de assimetria = 0,1044016 e o p -valor de curtose = 0,4504732. Para estimar a matriz de covariâncias aplicou-se o estimador de diferenças sucessivas.

Após verificar a estabilidade do processo na fase I, passou-se então para a fase de monitoramento (fase II), utilizando então, os dados das amostras durante o acompanhamento do processo. Foram utilizados, além dos 28 subgrupos iniciais, mais 10 subgrupos coletados após a fixação dos limites de controle. Assim como na fase I, foram considerados 5 amostras por subgrupo. Os limites de controle da fase II foram $LPL = 0$ e $UPL = 15,85587$. A Figura 8 mostra o gráfico T^2 de Hotelling durante a fase II de monitoramento.

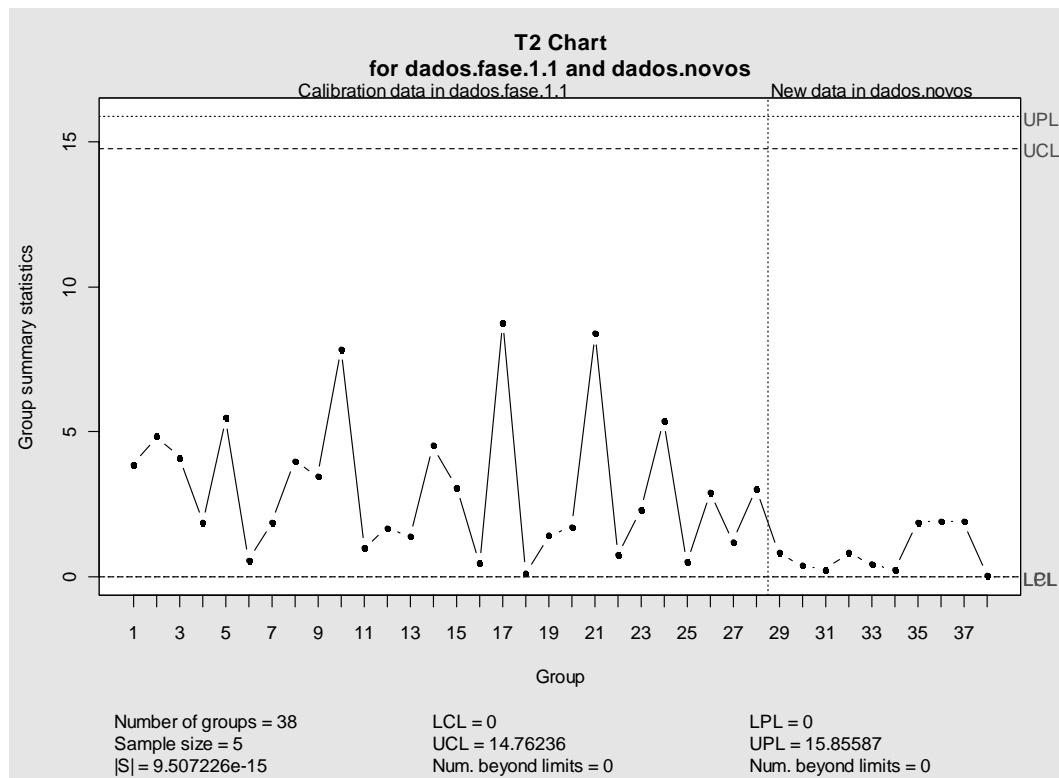


Figura 8 - Gráfico de controle T^2 Hotelling (fase I e fase II). Fonte: *Software R*

Assim, pode-se perceber que as duas abordagens, univariada, a partir dos gráficos do tipo Shewhart e multivariada, a partir do gráfico T^2 de Hotelling (Figura 8), tiveram resultados similares, em termos de desempenho. Mas, como a empresa estava em processo de implantação de CEP naquela célula, a aplicação dos gráficos do tipo Shewhart é mais simples de interpretar pelo operador do chão de fábrica. Além disso, existe a limitação do *software*, pois o Infinity é aplicado em outros processos da empresa. Mas o Gráfico de T^2 Hotelling pode ser uma opção a ser analisada no futuro.

5. Considerações Finais

O objetivo principal deste trabalho era propor a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para o monitoramento de retificação do diâmetro interno de um cilindro de aço. Foram aplicados gráficos de controle univariados do tipo Shewhart e multivariado T^2 de Hotelling. Tanto o gráfico de controle de Shewhart, quanto o T^2 de Hotelling tiveram praticamente o mesmo desempenho da análise da estabilidade do processo, mostrando-se eficientes na análise do processo estudado. Sendo assim, foi possível verificar a estabilidade deste processo em torno das especificações de projeto.

O gráfico de controle de Shewhart mostrou-se adequado para a análise do processo. Como ele está dentro do pacote do Infinity já utilizado pela empresa, é viável a sua utilização no chão de fábrica.

O gráfico T^2 de Hotelling também se mostrou adequado na análise do processo. Porém, o Infinity não possibilita a aplicação desse gráfico, somente os gráficos de Shewhart. Desse modo, no chão de fábrica da Empresa, ele ainda não é possível ser implementado, somente para uma análise utilizando outro *software*. Mas a aplicação de gráficos multivariados é uma opção para trabalhos futuros, principalmente de pesquisa. Pode-se avaliar seu desempenho, confrontando-os com os gráficos individuais, a partir da simulação de situações fora de controle estatístico.

Referências

- ALVES, C.C.;** *Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos.* 2003. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ALVES, C.C.; HENNING, E. & SAMOHYL, R.W.** O desenvolvimento de gráficos de controle MCUSUM e MEWMA em ambiente R como um procedimento alternativo para análise estatística de processos multivariados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2008.
- ALVES, C.C.; SAMOHYL, R.W.** A utilização dos gráficos de controle CUSUM para o monitoramento de processos industriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, UFSC, 2004.
- BARROS, A.J.S. & LEHFELD, N.A.S.** *Fundamentos de Metodologia: um Guia para a Iniciação Científica.* 2.ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT, E.K. & CARPINETTI, L.C.R.** *Controle estatístico de qualidade.* 2.ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIL, A.C.** *Como elaborar projetos de pesquisa.* 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HENNING, E.; ALVES, C.C.; KONRATH, A.C. & SAMOHYL, R.W.** Uma proposta no R para o Gráfico de Controle T2 de Hotelling. In: 54º. Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria e 13º. Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica, 2009, São Carlos. *Anais...* São Carlos, UFSCar, 2009.
- HENNING, E.; WALTER, O.M.F.C. ; SOUZA, N.S. & SAMOHYL, R.W.** Um Estudo Para a Aplicação de Gráficos de Controle Estatístico de processo em Indicadores de Água Potável. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Niterói. *Anais...* Niterói, UFF, 2011.
- MCNEIL A. & ULMAN S.** *QRMLib: Provides R-language code to examine Quantitative Risk Management concepts. R package version 1.4.5.1.* Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=QRMLib>>. Acesso em: 20 set. 2011.
- MONTGOMERY, D. C.** *Introdução ao controle estatístico da qualidade.* 4. ed. São Paulo: LTC, 2004.
- MOREIRA, F.J.J. & CATEN, C.S.T.** Proposta de uma carta de controle estatístico de dados autocorrelacionados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, UFSC, 2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM.** *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2010. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 set. 2011.
- SAMOHYL, R.W.** *Controle Estatístico de Qualidade.* São Paulo: Elsevier Campus, 2009.
- VINING, G.** *Technical Advice: Phase I and phase II control charts.* Quality Engineering, v. 21, n. 4, p. 478-479, 2009.