

## **Compressão de pastilhas de granulado de açúcar: estabilidade e capacidade do processo**

Liane Werner (UFRGS) [liane@producao.ufrgs.br](mailto:liane@producao.ufrgs.br)  
Luis Frederico Cauduro(UFRGS) [luiscauduro@yahoo.com.br](mailto:luiscauduro@yahoo.com.br)

### **Resumo:**

O presente estudo foi conduzido em uma empresa de porte médio que produz confeitos. A referida empresa é líder nacional na produção e venda de pastilhas em açúcar e tem como um de seus objetivos a consolidação de sua posição no mercado. Para tanto, será resolvido um problema real, realizando um estudo sobre a estabilidade e a capacidade do processo em uma linha de produção de pastilhas em grânulos de açúcar, avaliando a compressão das pastilhas. A medida a ser analisada é a espessura, de onde se verificou que, inicialmente, o processo apresentava uma causa especial, referente ao desgaste excessivo nas guias que fazem a movimentação vertical dos punções e conseqüentemente fazem a dosagem incorreta do granulado dentro da matriz. Após, tomadas ações efetivas e estabilizado este processo, passou-se a análise da capacidade do processo, que por não ser normalmente distribuído, utilizou-se o método de Box-Cox para transformar os dados e assim verificar com os índices  $C_p$  e  $C_{pk}$  que a medida de espessura não é capaz.

**Palavras chave:** pastilhas de açúcar, compressão, CEP, capacidade do processo.

## **The compression of tablet granulated sugar: stability and capability process**

### **Abstract**

This study was conducted in a medium-sized company that produces confectionery. This company is a national leader in the production and sale of tablet sugar and has as one of its aims to consolidate its market position. Thus, a real problem will be solved by conducting a study on the stability and capability process in a production line of tablet granules of sugar, evaluating the compression of tablets. The measure to be analyzed is the thickness, where it was found that, initially, the process had a special cause, relating to excessive wear on the guides that make the vertical movement of the punches and consequently make the incorrect dosage of granules within the matrix. After taken effective action and stabilized this process, was passed the analysis of process capability, which is not normally distributed, was used the Box-Cox method to transform the data and thus check with the  $C_p$  and  $C_{pk}$  indices that the thickness measurement is not capable.

**Key-words:** tablet granules of sugar, compression, SPC, process capability.

---

## 1. Introdução

Faz-se cada vez mais necessário, no ambiente de competição empresarial, a obtenção de produtos que satisfaça os consumidores, pois assim a empresa terá bons resultados de lucratividade, para que esta possa ter condições de manter seus níveis de investimento, e com isso garantir a sua permanência no mercado.

O segmento de confeitos é bastante importante na área industrial de alimentos, assim como nas demais áreas produtivas, o processo deve ser o mais eficiente possível para minimizar o gasto dos recursos disponíveis e com isso garantir a competitividade do produto e consequentemente de empresa.

Levantamento inédito da ABICAB (Associação Brasileira da Indústria de Cacau, Chocolate, Amendoim, Balas e Derivados), revela que, nos últimos cinco anos, a produção nacional de *confectionery*, incluindo chocolates, balas, confeitos e produtos de amendoim, acumulou um salto de 33,8%. A alta no consumo aparente foi ainda maior, cravando 45,8% de avanço no período (DOCE REVISTA, 2012).

A empresa de porte médio, onde o estudo foi conduzido, prima pela melhoria contínua de seus processos e produtos e produz confeitos. É a maior produtora de pastilhas de açúcar da América Latina e a segunda no ranking de balas de goma no Brasil. É líder nacional na produção e venda de pastilhas em açúcar, além de apresentar um portfólio com 160 produtos entre: balas de goma, pastilhas, refrescos em pó, gomas de mascar e balas de gelatina. A produção é voltada, principalmente para o mercado interno, mas há um aumento considerável nas exportações nos últimos anos, visto que o percentual do faturamento oriundo do mercado externo, antes inferior a 10 %, hoje está próximo a 20 %.

Em virtude do crescimento do mercado e de sua colocação neste, a empresa tem como um de seus objetivos a consolidação de sua posição neste segmento. Sendo assim, com a intenção de resolver um problema real, será realizado um estudo sobre o controle estatístico de processo em uma linha de produção de pastilhas de açúcar, com o interesse de melhorar a competitividade da linha.

No estudo em questão serão avaliadas, a estabilidade e a capacidade do processo de compressão de pastilhas à base de açúcar, pois o não cumprimento das especificações resultará em interrupções no processo subsequente, gerando redução da produtividade da linha e consequente perda de competitividade no mercado.

## 2. Referencial Teórico

O controle estatístico de processo (CEP) consiste em um conjunto de técnicas estatísticas que, uma vez aplicadas à produção, permitem a solução de problemas e a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e na redução do custo dos produtos manufaturados.

Segundo Montgomery (2004), o controle estatístico de processo é um sistema que opera ao longo do processo, com o objetivo de verificar a presença de causas especiais, ou seja, causas que não são naturais ao processo e que podem prejudicar a qualidade do produto manufaturado. Uma vez identificadas causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos de produção e a qualidade do produto final.

Uma ferramenta muito importante no CEP são as cartas de controle, que tem por objetivo monitorar o processo ao longo do tempo distinguindo as causas comuns das causas especiais.

---

As cartas de controle por variáveis são amplamente utilizadas para processos que possuem características mensuráveis, sendo a mais aplicada a Cartas de média e amplitude (R). Existem também as cartas de média e desvio-padrão(S).

Conforme Kume (1993), o monitoramento do desvio-padrão (S) pode ser mais apropriado que o monitoramento da amplitude, pois o desvio-padrão é um indicador mais eficiente da variabilidade, principalmente para amostras grandes.

Tipicamente recomenda-se o uso da carta S quando: os dados forem coletados por um computador e for fácil de implementar uma rotina de cálculos; os processos forem sofisticados, controlados por especialistas e as amostras forem grandes (subgrupos de tamanho superiores a 10) (MONTGOMERY, 2004).

Essas cartas são construídas a partir de uma primeira coleta de dados que servem como base para o cálculo dos limites de controle, que definem o padrão de variabilidade natural do processo em estudo. Vale ressaltar que, a avaliação da estabilidade do processo deve ser verificada no conjunto das duas cartas, pois uma carta avalia a estabilidade entre as amostras e outras dentro das amostras. Os limites de controle superior (LCS) e inferior (LCI) para a carta de médias são obtidos segundo as equações (1) e (2), respectivamente.

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad (1)$$

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \quad (2)$$

onde:  $\bar{\bar{x}}$  é a média das médias amostrais e  $\bar{s}$  é a média dos desvios-padrão (corrigidos).

E os limites de controle para o desvio-padrão são calculados pelas equações (3) e (4).

$$LCS = B_4 \bar{s} \quad (3)$$

$$LCI = B_3 \bar{s} \quad (4)$$

Sendo que as constantes  $B_4$ ,  $B_3$  e  $A_3$  dependem do tamanho da amostra e podem ser encontradas em Montgomery (2004).

Com os limites de controle calculados pode-se traçar a carta de controle adequada ao processo e avaliar se este é estável, verificando assim se não apresenta causas especiais. Caso o processo apresente apenas causas comuns de variação, é possível avaliar sua capacidade, pois segundo Clements (1989), não faria sentido avaliar a capacidade de um processo instável, processo este contém variabilidade excessiva não pertencente ao processo.

A análise da capacidade é fundamental para avaliar se o processo em questão está atendendo as dimensões estabelecidas no projeto, definidas por meio dos limites de especificações. Como a avaliação da capacidade de um processo só inicia depois de eliminadas as causas especiais, dessa forma, conclui-se que a capacidade de um processo está associada com as causas comuns de variabilidade.

Os índices de capacidade podem ser classificados em três gerações bem distintas. A primeira geração foi criada por Juran em seu trabalho de 1974, que estabelece os índices  $C_p$ ,  $C_{pk}$  e  $k$ , que se baseiam na razão entre a variabilidade do processo e os limites de especificação. Os índices de capacidade mais conhecidos são  $C_p$  (índice de capacidade potencial) e  $C_{pk}$  (índice de capacidade efetivo) e ainda são os índices mais práticos e difundidos na indústria. A segunda geração foi criada por Taguchi com sua função de perda, de seu trabalho de 1985. O

índice  $C_{pm}$ , penaliza através de um modelo quadrático, medidas que estão fora do alvo especificado. A terceira geração consiste nos índices criados pós  $C_{pm}$  e são específicos para cada aplicação. Muitos deles são voltados à análise de dados correlacionados ou não-normais, porém por sua complexidade matemática são de pouco uso prático (MIRANDA, 2005; KOTZ; JOHNSON, 1993).

O  $C_p$  considera somente a variação do processo, sem considerar a localização de média, já o  $C_{pk}$  considera a distância da média do processo em relação aos limites de especificação. As equações (5) e (6) representam os índices  $C_p$  e  $C_{pk}$ , respectivamente.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 * \sigma} \tag{5}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pks}, C_{pki}) = \min\left(\frac{\mu - LIE}{3 * \sigma}, \frac{LSE - \mu}{3 * \sigma}\right) \tag{6}$$

onde:  $\mu$  é a média do processo,  $\sigma$  o desvio-padrão do processo, e LIE e LSE os limites de especificação inferior e superior, respectivamente.

Vale lembrar que, os índices propostos acima pressupõem a avaliação de dados gerados por um processo que obedeça a uma distribuição normal, caso essa condição não seja observada, pode-se estar gerando uma interpretação errônea sobre a capacidade do processo. Sendo assim, torna-se necessário testar se os dados coletados apresentam distribuição normal, e sendo essa hipótese rejeitada, haverá a necessidade de se usar algum outro método que seja adequado para avaliar a capacidade de um processo não normal.

Conforme Belleza; Werner (2010) e Weber; Werner (2011) pode-se tratar os dados não-normais de duas formas: por meio de índices de capacidade do processo específicos, e por meio de transformação. A figura 1 ilustra a ideia.

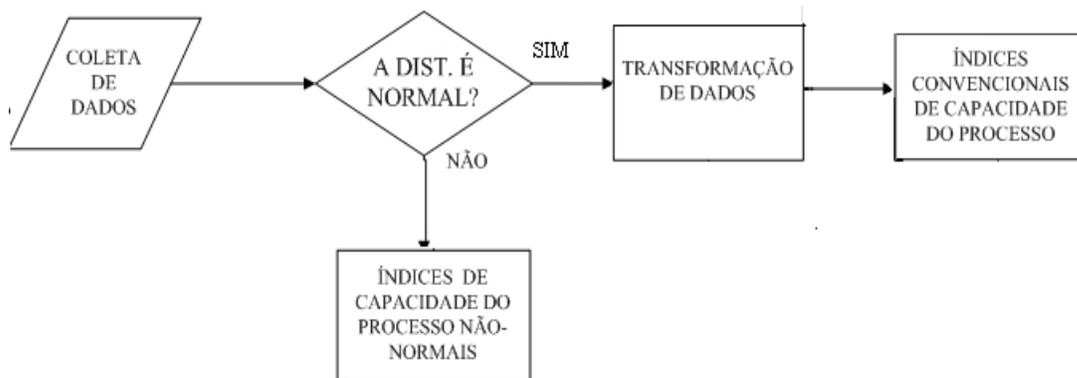


Figura 1 – Procedimento de Análise de capacidade do processo (adaptado de: Belleza; Werner (2010) e Weber; Werner (2011)).

Os índices de capacidade do processo específicos para dados não-normais, devem ser utilizados diretamente nos dados observados, como o de Clements (1989) que utiliza os percentis em substituição a variação do processo, ou Pearn; Chen (1997) que fazem uma generalização do índice  $C_{pm}$ . Uma discussão detalhada sobre os índices para dados não-normais podem ser obtidos em Gonzales; Werner (2009).

Ainda conforme os autores, a outra alternativa possível para a solução desse problema é a transformação de dados. Uma vez que os dados de processos que não apresentam comportamento conforme a distribuição normal, eles são transformados matematicamente, em

dados normalmente distribuídos, para que após, possam ser utilizados os índices convencionais de capacidade do processo.

Neste estudo o tratamento de dados não-normal será por meio do uso de transformação dos dados, especificamente pelo método de Box-Cox, que propõe uma família de transformações potência sobre a variável estudada. A equação (7) mostra como proceder para transformar uma variável com distribuição não-normal em uma variável com distribuição normal. A transformação mais adequada é aquela que, dentre as transformações que apresentarem comportamento que não rejeitar a normalidade, aquela que tem menor desvio-padrão.

$$Y^\lambda = \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda} \quad \text{se } \lambda \neq 0$$
$$Y^\lambda = \ln(\lambda) \quad \text{se } \lambda = 0$$
(7)

### 3. Procedimentos metodológicos

Este trabalho é constituído basicamente de uma pesquisa descritiva, que visa elucidar como tratar dados fabris com relação ao monitoramento do processo, e assim facilitar o entendimento da estabilidade e capacidade deste, para contribuir na melhoria da qualidade final.

Será realizado um estudo de caso em uma indústria de balas e confeitos, por meio de dados que serão retirados durante a produção de pastilhas. A pastilha é um produto oriundo da compressão de um pó, composto por açúcar e outros ingredientes. A variável quantitativa de interesse é a medida da espessura das pastilhas e com os dados coletados serão construídas cartas de controles de média e desvio-padrão. Depois de eliminadas as causas especiais, que possam eventualmente existir, será avaliada a distribuição a qual o processo obedece, para finalmente ser avaliada a capacidade do mesmo.

### 4. Descrição do processo

Será abordado neste estudo o processo de conformação de pastilhas. O referido processo é mecânico realizado por uma compressora rotativa de fabricação alemã com 37 estações de compressão, que trabalha a uma velocidade de 50 RPM. Em cada rotação do equipamento são geradas 2 pastilhas. Essa máquina possui 2 depósitos que são alimentados com granulado, que por sua vez preenchem as matrizes da compressora conforme a máquina gira e de forma sincronizada os punções inferiores e superiores se movem para compactar o produto.

O processo de compressão de pastilhas será avaliado por meio do monitoramento da medição da espessura, variável do tipo nominal é melhor, que apresenta limite inferior de especificação igual a 5,25mm e limite superior de especificação igual 5,75mm. Para a medição da espessura das pastilhas foi utilizado um paquímetro digital.

### 5. Análise dos resultados

Pelo fato da espessura ser uma característica mensurável foi feito o uso de cartas de controle para variáveis. A carta utilizada neste estudo foi a carta de Média e Desvio-Padrão, pois trata-se de um processo sofisticado, que requer um controle rigoroso. O tamanho da amostra utilizado para o estudo de compressão de pastilhas foi de 6 unidades, coletadas a cada 10 minutos, gerando um total de 30 subgrupos.

---

Com os dados de espessura oriundos das pastilhas comprimidas realizou-se o cálculo dos limites de controle para a carta de média, conforme as equações (1) e (2), onde se obteve um LCI = 5,41 e um LCS = 5,59 e para a carta de desvio-padrão, conforme as equações (3) e (4) obteve-se LCI = 0,02 e LCS = 0,13.

As figuras 2 e 3 representam respectivamente as cartas de média e desvio-padrão, de onde se pode observar que o valor do subgrupo n° 2 está posicionada fora dos limites de controle na carta de média e que os subgrupos de n° 11 até o n° 17, consistem de uma corrida de 7 pontos consecutivos abaixo da linha central na carta de desvio-padrão, logo, evidenciando uma causa especial.

**Carta de controle de médias**

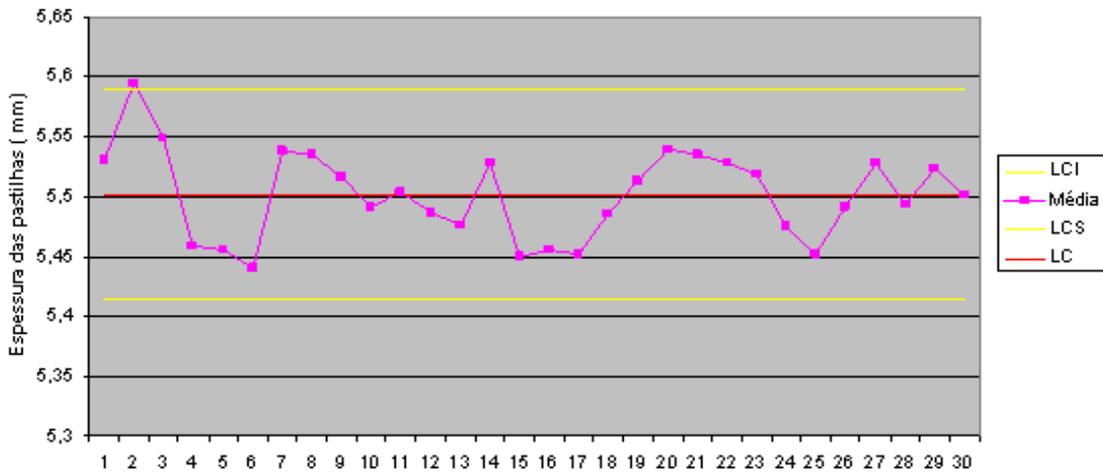


Figura 2- Carta de controle da média referente a coleta inicial de dados

**Carta de Desvio-Padrão**

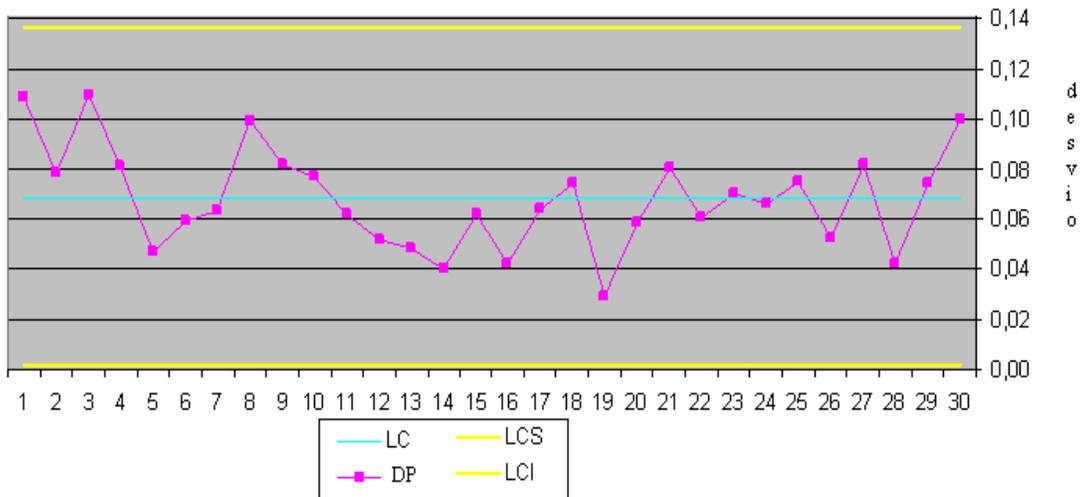


Figura 3 - Carta de controle de desvio-padrão referente a coleta inicial de dados

Após uma avaliação minuciosa do equipamento, verificou-se um desgaste excessivo nas guias que fazem a movimentação vertical dos punções e conseqüentemente fazem a dosagem incorreta do granulado dentro da matriz. Como ação corretiva, as ligas foram fundidas com a mesma composição das guias desgastadas e foram usinadas novas guias. Além disso, como ação preventiva, foi inserida uma ordem no plano de manutenção do equipamento com o objetivo de medir o desgaste das referidas guias a cada 3 meses.

Realizada a verificação descrita acima, uma segunda coleta de amostras foi realizada, de onde se observa que o processo atinge a estabilidade, ficando livre da presença de alguma especial, conforme pode ser visto nas cartas de controle de média e desvio-padrão das figuras 4 e 5.

**Carta de cotrole de médias**

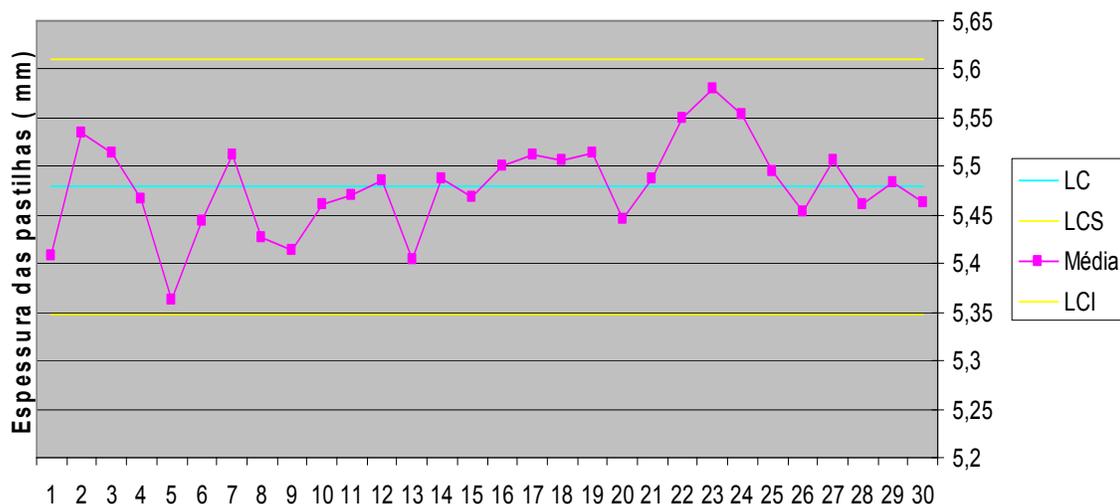


Figura 4 - Carta de controle de média após a estabilização do processo

**Carta de Desvio-Padrão**

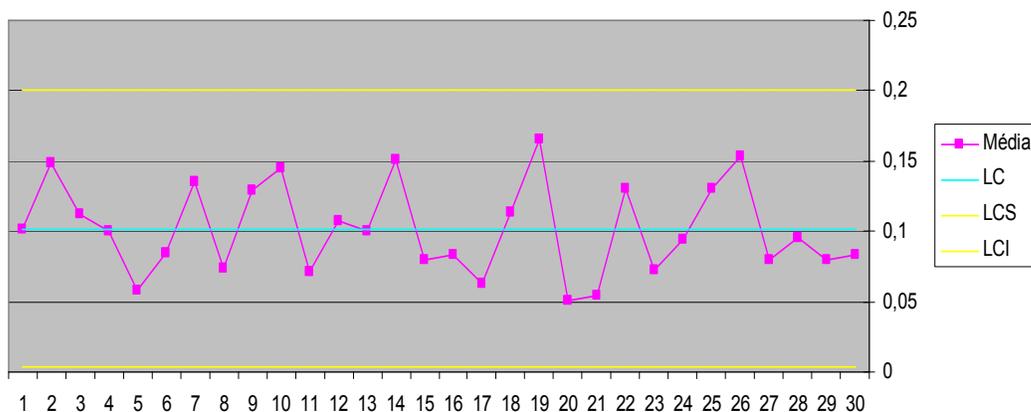


Figura 5 - Carta de controle de desvio-padrão após a estabilização do processo

Depois de eliminadas as causas especiais do processo, iniciou-se a avaliação de capacidade do mesmo. Para isso foi importante verificar, primeiramente, se a hipótese de que os dados em análise seguem uma distribuição normal não é rejeitada. Para esse teste foi utilizado o software ProCEP (Universidade Federal de Rio Grande do Sul), tendo como resultado que a hipótese de que os dados em análise seguem uma distribuição normal é rejeitada, ao nível 5% de significância.

Visto que os dados não apresentaram distribuição normal, surgiu a necessidade de utilizar algum outro método de avaliação de capacidade para um processo com distribuição não normal. Para solucionar essa questão foi utilizado o método para a transformação de dados de Box e Cox, onde com um valor de  $\lambda = 3$  verificou-se que a hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal não pode ser rejeitada. Esse valor de  $\lambda$  foi escolhido em detrimento de outros, por apresentar o menor desvio-padrão.

Com os dados transformados foi realizada a análise de capacidade do processo. Os resultados para os índices convencionais foi de  $C_p = 0,78$  e  $C_{pk} = 0,77$  indicando que o processo é não capaz, e ainda, através do ProCep verificou-se que 0,89 % das pastilhas comprimidas estão acima dos limites de especificação e que 1,02 % estão abaixo dos limites de especificação.

## 6. Conclusões

Nos últimos anos o segmento de doces tem sido uma área promissora, em vista disto uma empresa do ramo buscando maior lucratividade, para garantir e ampliar a sua permanência no mercado, realizou a aplicação do estudo de estabilidade e capacidade no processo de compressão de pastilhas de açúcar, monitorando a espessura.

Conforme pode ser verificado nas figuras 2 e 3, a coleta inicial dos dados revelou que o processo estava instável, pois o valor de média da amostra n° 2 está posicionada fora dos limites de controle e as amostras de n° 11 até o n° 17 estão consecutivamente abaixo da linha central na carta de desvio-padrão. Após serem feitos reparos no equipamento, como ações corretivas (e também preventivas), em uma segunda coleta de dados não se detectou a presença causas especiais em nenhuma das cartas, indicando a estabilidade do processo.

Analisando a normalidade do processo, verificou-se a necessidade de utilizar uma alternativa, dados que a normalidade não foi rejeitada. Foram realizadas transformações de dados utilizando o método Box-Cox e para um  $\lambda = 3$  obtive-se os índices  $C_p$  e  $C_{pk}$  inferiores a um. Sendo assim, pode-se concluir que o processo de compressão de pastilhas com a utilização do equipamento atual não atende as especificações requisitadas. Contudo, dada a natureza do processo seguinte, que embrulha 18 unidades em forma de tubo, o percentual de itens não conformes produzidos não gera ineficiência, pois as pastilhas com espessura não-conforme se diluem ao longo do processo de embrulhamento.

## Referências

- BELLEZA, M.; WERNER, L.** *Framework para análise capacidade do processo: foco em dados não-normais*. In: XLIII Simpósio de Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba – SP. 15 a 18 ago de 2010.
- CLEMENTS, J.A.** *Process capability calculations for non-normal distribution*. Quality Progress, Vol. 22, n.9, p.95-100, 1989.
- GONZALES, P.U.; WERNER, L.** *Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais*. Gestão e Produção, v. 16, n. 1 p. 121-132. 2009.
- KOTZ S.; JOHNSON, N. L.** *Process Capability Indices*. New York: Ed. Chapman & Hall, 1993.
- KUME, H.** *Métodos Estatísticos para Melhoria de Qualidade*. São Paulo: Editora Gente, 1993.
-

**MIRANDA, R. G.** *Um Modelo para Análise de Capacidade de Processos com Ênfase na Transformação de Dados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2005.

**MONTGOMERY, D.C.** *Introdução ao controle estatístico de qualidade*. 4.Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

**PEARN, W.L.; CHEN, K.S.** *Capability indices for non-normal distributions with an application in electrolytic capacitor manufacturing*. *Microelectronics Reliability*, Vol. 37, n.12, p. 1853-1858, 1997.

**REVISTA DOCE.** *Lançamentos e promoções de mais de duas centenas de expositores garantem o faturamento positivo da indústria na maior vitrine do setor de candies*, 2012. Disponível em: <http://definicao.com.br/docerevista/edicao214-capa/> Acesso em: 21 de setembro de 2012.

**WEBER, H.H.; WERNER, L.** *Índices de capacidade do processo para dados não-normais: um estudo do consumo de água em uma indústria*. In: I Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa – PR. 30 de nov a 02 de dez de 2011.

---