

## ANÁLISE DA CAPABILIDADE DO PROCESSO DE EXTRUSÃO

### ANALYSIS OF THE CAPABILITY OF THE EXTRUSION PROCESS

Guilherme Braga Alves<sup>1</sup>  
Luci Mendes de Melo Bonini<sup>2</sup>  
João Roberto Maiellaro<sup>3</sup>

**RESUMO:** As empresas de todos os portes e segmentos, cada vez mais buscam possuir processos estruturados é com o avanço da tecnologia de produção e das ferramentas de gestão, as empresas estão se tornando mais eficientes e fabricando produtos e serviços com uma qualidade crescente. Este trabalho tem por objetivo descrever a simulação e controle de processos em indústria de cabos elétricos, comentando e analisando dados de um processo automatizado de medição de diâmetros e espessuras da isolação de cabos elétricos. A metodologia six sigma será aplicada como estratégia gerencial e a coleta dos dados ocorrerá por meio de um equipamento chamado xray8000 que funciona como um raio x com foco em pontos do isolamento no processo de extrusão. Para analisar os dados foi utilizado o software minitab e os resultados apresentaram um valor de cp e cpk maior que 1,33, sendo possível concluir que a dispersão do processo real é representada por six sigma.

**Palavras chaves:** Simulação. Cabos elétricos. Six Sigma. Extrusão e Capabilidade.

**ABSTRACT:** Companies of all sizes and segments increasingly seek to have structured processes and with the advancement of production technology and management tools, companies are becoming more efficient and manufacturing products and services with increasing quality. this work aims to describe the simulation and control of processes in the electrical cable industry, commenting and analyzing data from an automated process for measuring electrical cable insulation diameters and thicknesses. the six sigma methodology will be applied as a management strategy and data collection will take place through a device called xray8000 that works like an x-ray focusing on isolation points in the extrusion process. to analyze the data, the minitab software was used and the results showed a value of cp and cpk greater than 1.33, being possible to conclude that the dispersion of the real process is represented by six sigma.

320

**Keywords:** Simulation. Electrical cables. Six Sigma. Extrusion and Capability.

---

<sup>1</sup> Estudante do curso superior de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos. E-mail: guilherme.bragas@hotmail.com.

<sup>2</sup> Dra. em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP, docente no curso superior de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos. E-mail: lucibonini@gmail.com.

<sup>3</sup> Dr. em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista, Diretor da FATEC, Leste, docente no curso superior de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Ferraz de Vasconcelos. E-mail: joao.maiellaro@fatec.sp.gov.br.

## 1. INTRODUÇÃO

As empresas de todos os portes e segmentos, cada vez mais buscam possuir processos estruturados, é com o avanço da tecnologia de produção e das ferramentas de gestão, as empresas estão se tornando mais eficientes e fabricando produtos e serviços com uma qualidade crescente. Estes níveis melhores de qualidade nos processos e produtos das empresas são atingidos com a utilização de metodologias comprovadas mundialmente e com a aplicação de ferramentas da área de Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) (SAMOHY, 2009).

Entre as principais ferramentas para melhoria de processos, a implementação do Six Sigmas se destaca, segundo WERKEMA (2002, p.5) a metodologia Six Sigmas é considerada a “metodologia da qualidade do século 21”. A Metodologia é utilizada como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa que busca aumentar a lucratividade das empresas, por meio da otimização de produtos e processos. O Six Sigma surgiu na Motorola, em meados dos anos 1980, criado a partir de conceitos e métodos propostos por Bill Smith. Utilizando ferramentas conhecidas de qualidade e novos conceitos de gestão, o objetivo do programa é fabricar produtos de qualidade e com menores preços comparados aos seus concorrentes. Com o Six Sigma, a Motorola tornou-se conhecida como líder de qualidade e de lucros (PYZDEK, KELLER, 2010)

321

No ramo metalúrgico, no caso particular de empresas de fios e cabos elétricos, existe uma grande exigência em que a qualidade e a inovação tecnológica em produtos e processos são elementos vitais para sobrevivência do setor (Fernandes; Sampaio, 2014). A qualidade dos cabos produzidos é estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual fornece as especificações e requisitos aplicáveis para produção e instalação dos cabos elétricos. As espessuras nominais de isolamento é uma das grandezas físicas de suma importância na fabricação de cabos, e que podem ser valores diferentes, dependendo das classes de tensão e material a serem extrudados (ABNT NBR 6251, 2018).

A maioria das empresas de cabos elétricos utiliza sistemas não automatizados de leitura dessas grandezas e o operador da extrusora efetua as medições manualmente, para assim, após extrusão ou durante a extrusão fazer as medições com paquímetro, especímetro com relógio comparador e projetor de perfil (FIGUEIREDO, 2012).

A extrusão é um processo de produção contínuo de produtos plásticos, tais como tubo, folha, fibras e diversos perfis (RAUWENDALL,1993). A extrusão de produtos poliméricos é a partir do abastecimento do polímero na extrusora, onde é derretido,

misturado e entregue à matriz para dar forma ao extrudado. Após, sair da matriz, o produto e resfriado e solidificado na desejada forma e afastado da extrusora em constante velocidade (GILES; WAGNER; MOUNT, 2005).

Segundo Fernandes e Sampaio (2014, p. 32) “O processo de isolamento de cabos elétricos de média e alta tensão é constituído por vários fatores que interferem com o controlo do processo”. Os parâmetros de controle e autocontrole do processo de extrusão são majoritariamente para controle de dimensional, o controle dimensional da espessura de cada camada extrudada inclui o registro da espessura média, máxima e mínima da leitura da isolamento (FERNANDES; SAMPAIO, 2014).

De acordo com Fernandes e Sampaio (2014, p. 35)

O processo de isolamento de cabos elétricos pode ser considerado um processo contínuo, neste caso em particular, o aparelho de medição automática permite obter dados para cada metro, logo a recolha de amostras consecutivas para formar subgrupos não é fundamentada. Para além disso, as variações de espessura ser tão reduzidas que ter-se-iam subgrupos com amplitude igual a zero.

Portanto, o presente artigo tem como objetivo a análise estatística e verificação de qual sigma um processo de extrusão se encontra, numa escala de 1 a 6 sigmas. Dessa forma, identificar o desvio-padrão e o tipo de distribuição estatística do processo em questão, para fazer a representação gráfica do histograma e demonstrar a distribuição com a utilização do software Minitab.

322

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Six Sigma

O Six Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente qualitativa, ela nasceu na Motorola em 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar os seus concorrentes, que na época tinha produtos superiores com preços menores. O sucesso do programa Six Sigma fez com que a Motorola fosse agraciada com o Prémio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige, com isso o programa Six Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso da organização (WERKEMA, 2011).

A Metodologia Seis Sigma tem sido utilizada por mais de uma década (KUMAR et al., 2008) por organizações de classe mundial como General Electric, Motorola, Honeywell, Bombardier, ABB e Sony, para citar apenas algumas de uma longa lista (ANTONY, 2006), resultando em milhões de dólares de lucro (HILTON e SOHAL, 2012). Na maioria dos casos, uma organização utiliza a estratégia Seis Sigma para alcançar benefícios na

lucratividade ou na satisfação do cliente, a Metodologia Seis Sigma é uma estratégia de negócio bem conhecida, utilizada para a melhoria da qualidade por meio de um conjunto de métodos estruturados e medidas estatísticas para avaliar e melhorar as operações produtivas das organizações (ANTONY et al., 2012).

De acordo com Rasis, Gitlow e Popovich (2002, p.127),

Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. É uma iniciativa organizacional projetada para criar processos de manufatura, serviço ou administrativo que gerem no máximo 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO). A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis Sigma é o DMAIC: acróstico que representa Definir Medir-Analisar-Implementar-Controlar.

Segundo Klefsjo, Wiklund e Edgeman (2001, p.31):

A razão para o nome Seis Sigma foi porque ‘sigma’ é a medida estatística relacionada com a capacidade de um processo, ou a habilidade deste processo 43 Gestão e Gerenciamento nº 11 (2019) em produzir peças sem defeitos. No jargão estatístico, sigma é a medida da variação do processo ou o desvio padrão.

O programa da Motorola se baseava na busca pelas metas principais de aumento na participação do mercado globalizado e busca pelo status do melhor do ramo nos setores de pessoal, marketing, fabricação, tecnologia, produtos e serviços, bem como dos resultados financeiros, através de iniciativas como padrão de qualidade “Six Sigma” (PEREIRA, 2003).

323

Nesse ponto, a Motorola definiu o Six Sigma como uma metodologia capaz de, aplicada a um produto, determinar as características de interesse “aos olhos do cliente”, denominadas de características críticas de qualidade (CTQ’s), estimando através do estudo estatístico do comportamento desta característica crítica de qualidade, informações como média, amplitude, variabilidade, desvio-padrão, capacidade de processo, entre outros, os quais possibilitariam entender a variação existente sobre o resultado desta CTQ e assim atuar sobre seus processos formadores, diminuindo-a e tornando-a praticamente impossível de ultrapassar os limites de especificação estipulados pelo cliente.

Os custos inerentes ao desperdício e erros podem ser vistos como perda de clientes, retrabalho, gastos com garantia, tempo e material perdidos, perda de eficiência e produtividade etc.

Segundo estudos feitos sobre a relação entre o nível da qualidade organizacional em suas atividades e sua relação com os custos oriundos da falta de qualidade, são apresentados conforme tabela 1 a seguir (WERKEMA, 2011):

## Quadro 1. Benefícios resultantes de se alcançar o padrão Six Sigma

**Tradução do nível da qualidade para a linguagem financeira<sup>8</sup>**

**TABELA 1.2**

| Nível da qualidade | Defeitos por milhão (ppm) | Custo da não qualidade (percentual do faturamento da empresa) |
|--------------------|---------------------------|---|
| Dois sigma         | 308.537                   | Não se aplica   |
| Três sigma         | 66.807                    | 25 a 40%  |
| Quatro sigma       | 6.210                     | 15 a 25%  |
| Cinco sigma        | 233                       | 5 a 15%   |
| Seis sigma         | 3,4                       | < 1%  |

Fonte: (WERKEMA, 2011, p.17).

### 2.2 Controle Estatístico de Processo

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma das ferramentas essenciais da qualidade, sendo um método que coleta dados de uma amostragem, para assim realizar uma verificação das amostras dos resultados do processo que está sendo analisado. O controle do processo permite a diminuição das possíveis falhas que podem ocorrer no processo de execução, com o CEP a identificação do que ocorreu de errado no processo de fabricação e onde podemos agir para resolver a não conformidade (NETTO, 2017)

Segundo Lima et al. (2006, p. 178) sobre a utilização e a importância e complementaridade do CEP para os sistemas de qualidades são:

A utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo tempo.

Para Ribeiro e Caten (2012, p. 5) os principais objetivos do CEP são:

O principal objetivo do CEP é possibilitar um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador em tempo real. Isso aumenta o comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido e libera a gerência para as tarefas de melhoria.

O CEP possibilita o monitoramento das características de interesse, assegurando que elas irão se manter dentro de limites preestabelecidos e indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria.

É importante ressaltar a importância de se detectar os defeitos o mais cedo possível, para evitar a adição de matéria-prima e mão de obra a um produto defeituoso.

O CEP objetiva aumentar a capacidade dos processos, reduzindo refugo e retrabalho, e, por consequência, o custo da má qualidade.

### 2.3 Conceitos da Estatística aplicado ao CEP

Pode-se dizer que a variabilidade está sempre presente em todos os processos produtivos, por mais bem projetados e operados, mesmo os processos automatizados ou robóticos apresentam variabilidade em seu produto. Então, para reforçar o que já revelamos, comparar duas unidades de um mesmo produto e produzidas pelo mesmo processo de fabricação, mesmo que nunca sejam exatamente iguais, descrevendo a variabilidade (RIBEIRO; CATEN, 2012).

Segundo Oliveira (2013, p. 7-8), os termos técnicos que são importantes nas análises estatísticas são:

**Aleatoriedade:** condições nas quais os valores individuais não são previsíveis.

**Amplitude:** diferença entre o maior e o menor valor de um subgrupo.

**Cartas de controle:** gráficos que mostram a variação da grandeza ou característica de interesse (variabilidade do processo) em função do tempo para avaliar atributos ou desempenho de métodos ou de instrumentos de medição.

**Causas comuns ou aleatórias:** fontes de variação inerentes a um processo que se encontra sob controle estatístico, as quais são difíceis de identificar, porém, juntas criam um sistema constante de variação. Exemplos: mudanças na temperatura, umidade, vibrações, falhas na sistemática do processo, dentre outras. Diz-se que um processo que opera na presença de causas comuns está sob controle estatístico.

**Causas especiais ou assinaláveis:** fontes relativamente grandes de variação quando comparadas com a variabilidade natural, as quais são identificáveis, frequentemente imprevisíveis e ocorrem fora do sistema

constante de variação. Exemplos: analista inexperiente, insumos inadequados, erros de operação, equipamentos não qualificados, instrumentos de medição não calibrados, dentre outras. Diz-se que um processo que opera na presença de causas especiais está fora de controle estatístico.

**Desvio padrão:** dispersão dos resultados das medições ou do processo, denotado pela letra grega sigma ( $\sigma$ ) ou pela letra (s).

**Desvio padrão de precisão intermediária:** desvio padrão dos resultados das medições obtidas sob condições de precisão intermediária.

**Desvio padrão de repetibilidade:** desvio padrão dos resultados das medições obtidas sob condições de repetibilidade. Incerteza de medição: parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

**Média:** valor de medida central de um conjunto de dados, calculado pelo somatório de todos os resultados dividido pelo número total de resultados do conjunto.

**Valor p:** probabilidade de que a estatística do teste tenha valor extremo em relação ao valor observado quando a hipótese nula é verdadeira.

**Repetibilidade:** Grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo material ou em materiais similares, empregando o mesmo procedimento de medição, mesmo analista, mesmo sistema de medição, do mesmo modo de operação, no mesmo local, no menor intervalo de tempo possível.

**Variabilidade:** conjunto de diferenças nas variáveis (concentrações, massas, densidades etc.) presentes universalmente em qualquer atividade analítica. É possível classificá-las em comuns (ou aleatórias) e especiais (ou assinaláveis).

## 2.4 Capabilidade do Processo

A capabilidade do processo é a capacidade de produzir um produto de acordo com as especificações definidas pela empresa ou pelo cliente. Portanto, um estudo de capabilidade do processo é feito comparando a faixa característica (mostrando como ele se comporta na prática) com a faixa de especificação dada pelos limites inferior e superior.

Existem quatro métricas disponíveis para análise de capacidade do processo, que são descritas no **quadro 1:**

**Quadro 2.** Índices de capacidade dos processo

| Índice | Descrição   | Cálculo   |
|--------|---|---|
| Cp     | Mede a capacidade de maneira simples, para processos centrados. Mede o potencial do processo. | $C_p = (LSE - LIE) / 6\sigma$<br>Sendo LSE e LIE os limites de especificação do processo (superior e inferior, respectivamente) |
| Cps    | Diferença do centro da distribuição e a especificação superior.                               | $C_{ps} = (LSE - \mu) / 3\sigma$  |
| Cpi    | Diferença do centro da distribuição e a especificação inferior.                               | $C_{pi} = (\mu - LIE) / 3\sigma$  |
| Cpk    | Mede a capacidade de processos que não estão centrados.                                       | $C_{pk} = \min \{C_{ps}; C_{pi}\}$  |

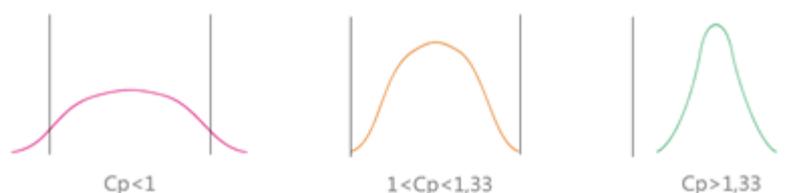
**Fonte:** Coutinho (2020).

Um dos insights analíticos derivados do CEP é a eficácia das capacidades e capacidades do processo de produção. Enquanto a capacidade do processo é identificada pela abreviatura e variável CP e tenta medir a capacidade potencial do processo, a capacidade CPK mostra o desempenho real do processo. (COUTINHO, 2020). Segundo Coutinho (2020), sobre os valores de Cp e Cpk pode-se concluir que se  $C_p = C_{pk}$ , o processo é exatamente centrado, quando  $C_{pk} < C_p$ , o processo está descentralizado para algum dos lados e quanto maior essa diferença, mais descentralizado está o processo.

Um processo vai ser tido como capaz quando 6 desvios padrão (99,74%) ou mais do seu processo couberem entre os limites especificados ( $C_p$  e  $C_{pk} \geq 1$ ), mesmo não estando perfeitamente centralizado.

Na indústria, geralmente o valor exigido para  $C_p$  e  $C_{pk}$  é  $\geq 1,33$ , conforme figura 1 a seguir:

**Figura 1.** Capabilidade do processo ( $C_p$ )



**Fonte:** Coutinho (2020)

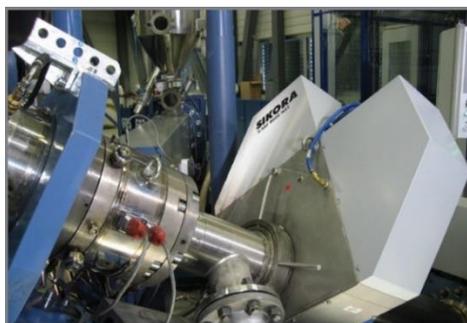
Quando a curva do gráfico é mais estreita, maiores serão os índices de  $C_p$  e  $C_{pk}$  e menores são as variações, sendo assim o processo está com desempenho satisfatório.

## 2.5 Linhas Catenárias CV e Sikora X-RAY 8000

A catenária - CV - possui três extrusoras trabalhando simultaneamente, ou seja, o condutor de cobre é puxado pelo dispositivo que desliza sobre a cabeça. Essas extrusoras preenchem sequencialmente XLPE e EPR em camadas semicondutores internos e externos e camadas intermediárias com camadas isolantes. Preenchido com camadas, o cabo desce por uma tubulação de mais de 200 metros, quando o produto sai em alta temperatura, o material cura uniformemente, sem este tubo com nitrogênio e água, certamente não haveria fixação e homogeneidade do material no condutor.

Abaixo está uma foto da localização do XRAY8000 (figura 2):

**Figura 2.** Posicionamento do XRAY8000



**Fonte:** Site SIKORA (2022)

O X-RAY 8000 NXT é uma ferramenta comprovada que se tornou o padrão global da indústria para controle de qualidade na produção de cabos de média, alta e extra alta

tensão para linhas CCV, VCV e MDCV. Ele convence com medição precisa e confiável de concentricidade, espessura de parede, diâmetro e ovalização e controle de até três camadas de cabos. Atualmente, existem mais de 1.000 sistemas X-RAY 8000 em locais de clientes em todo o mundo, garantindo o controle de qualidade online (SIKORA, 2022).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho trata de um estudo de caso (YIN, 2005), pois descreve um processo de medição automatizado, onde as medições são através de um equipamento que funciona como um raio-X que vai coletando dados sobre as espessura e diâmetros que estão sendo extrudados em tempo real. Esse modelo de equipamento XRAY8000, faz a leitura e medição de até três camadas de materiais diferentes, sendo XLPE e PE (polietileno de alta e baixa densidade) em linhas catenárias. O sistema normalmente é instalado na parte móvel do telescópio diretamente após as cabeças das extrusoras, oferecendo eficiência no mais alto nível. Os equipamentos são instalados em linhas de vapor e nitrogênio e medem com precisão a espessura da parede dos cabos das três camadas de isolamento, a concentricidade do diâmetro e a ovalização do XLPE e EPR do isolamento dos cabos. Imediatamente após iniciar-se a extrusão da linha, os valores são disponíveis para centralização e controle durante o processo.

328

Com as medições realizadas o sistema de controle da máquina vai corrigido ou ajustando os valores com base nos valores especificados no início da fabricação, após várias medições é possível extrair estes dados para realizar um estudo estatístico analisando a capacidade dos processos de extrusão e a qualidade atingida em comparação com a estabelecida por norma.

Com a máquina é possível um controle de medidas que são a níveis de implantação de um Six Sigma de suma importância, devido sua eficiência em coletar dados e a facilidade de interação homem e máquina. Com isso, a verificação do desvio padrão das espessuras medidas durante o processo de extrusão vai sendo refinado nas novas produções do cabo.

A partir desse controle do processo pode ser medido em qual nível sigma o processo de extrusão dos cabos desta máquina está. O método utilizado vai ser a simulação dos dados no software Minitab.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a simulação de dados das três camadas de isolamentos sendo extrudadas foi possível fazer a análise da capacidade do processo de extrusão, importando os dados para o software Minitab.

Os Parâmetros estabelecidos para a análise da primeira camada são conforme quadro a seguir:

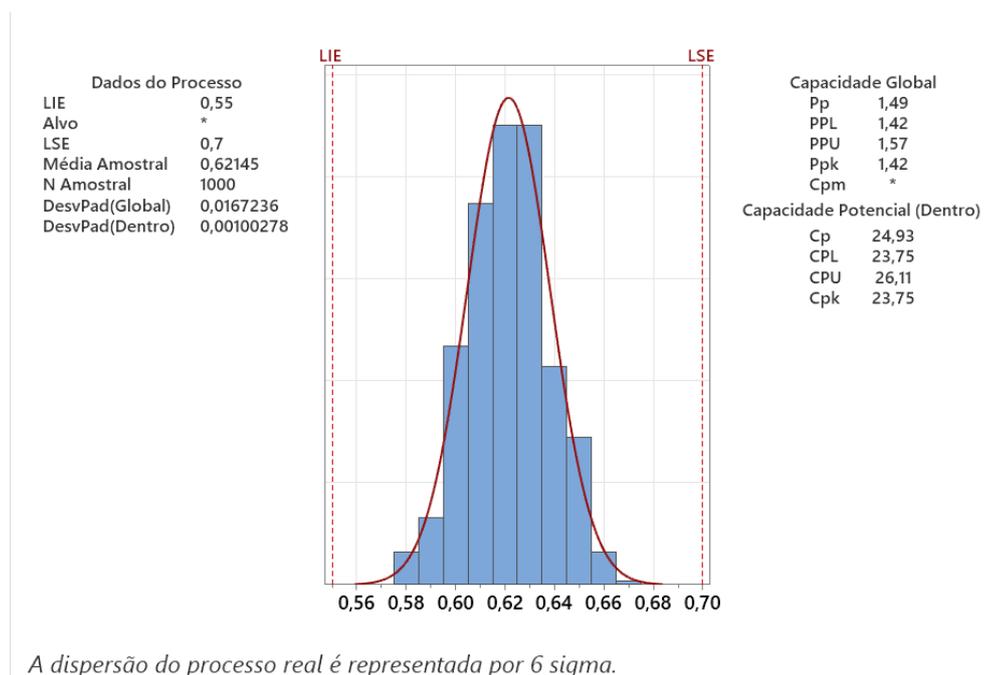
**Quadro 3.** Parâmetros para análise de primeira camada de isolamento

| Primeira camada de isolamento |         |
|-------------------------------|---------|
| Espessura média mínima:       | 0,60 mm |
| Limite inferior:              | 0,55 mm |
| Limite superior:              | 0,70 mm |

Fonte: os autores

A análise foi realizada com um número amostral de 1000 dados e a média amostral foi de 0,62145 mm, conforme o relatório de capacidade do processo figura 3:

**Figura 3.** Relatório de capacidade do processo



Fonte: os autores

Os resultados encontrados  $C_p=24,93$  e  $CPK=23,75$  foram excelentes, pois conforme Coutinho um processo vai ser tido como capaz quando 6 desvios padrão (99,74%) ou mais do seu processo couberem entre os limites especificados ( $C_p$  e  $C_{pk} \geq 1,33$ ). Na primeira

camada os valores de Cp e Cpk estão próximo, sendo assim, existem uma pequena descentralização no processo, mas a dispersão do processo real é representada por Six sigma.

Os Parâmetros estabelecidos para a análise da segunda camada são conforme tabela a seguir:

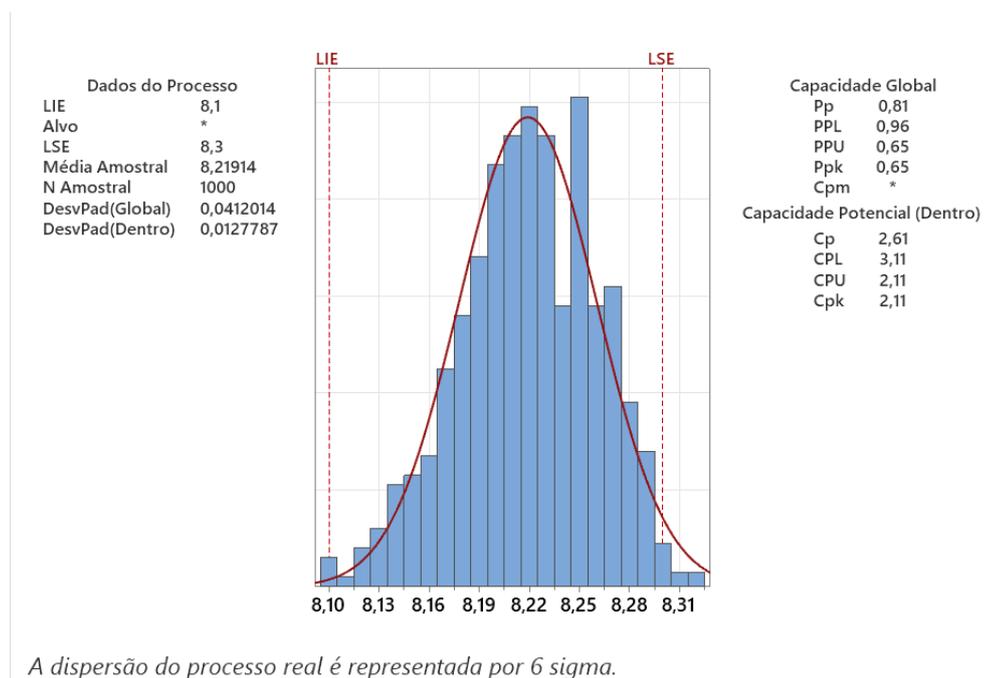
**Quadro 4.** Parâmetros para análise da segunda camada de isolamento

| <b>Segunda camada de isolamento</b> |        |
|-------------------------------------|--------|
| Espessura média mínima:             | 8,2 mm |
| Limite inferior:                    | 8,1 mm |
| Limite superior:                    | 8,3 mm |

**Fonte:** os autores

A segunda análise foi realizada com um número amostral de 1000 dados e a média amostral foi de 8,21914 mm, a espessura da segunda camada de isolamento por ser maior, gera uma maior variação no processo que pode ser notada no relatório de capacidade do processo a seguir:

**Figura 4.** Relatório da capacidade do processo: segunda camada



**Fonte:** (AUTOR, 2022).

Os resultados encontrados foram um  $C_p=2,61$  e  $C_{pk}=2,11$ , onde houve uma maior descentralização em relação ao  $C_p$  e  $C_{pk}$ , mas os dois valores estão maiores que 1,33 e a dispersão do processo real é representada por Six Sigma. Por tem um  $C_p$  e  $C_{pk}$  menor do que a primeira camada, conforme Coutinho representa maior variação no processo real e uma maior descentralização no processo de extrusão da segunda camada.

Os Parâmetros estabelecidos para a análise da terceira camada são conforme tabela a seguir:

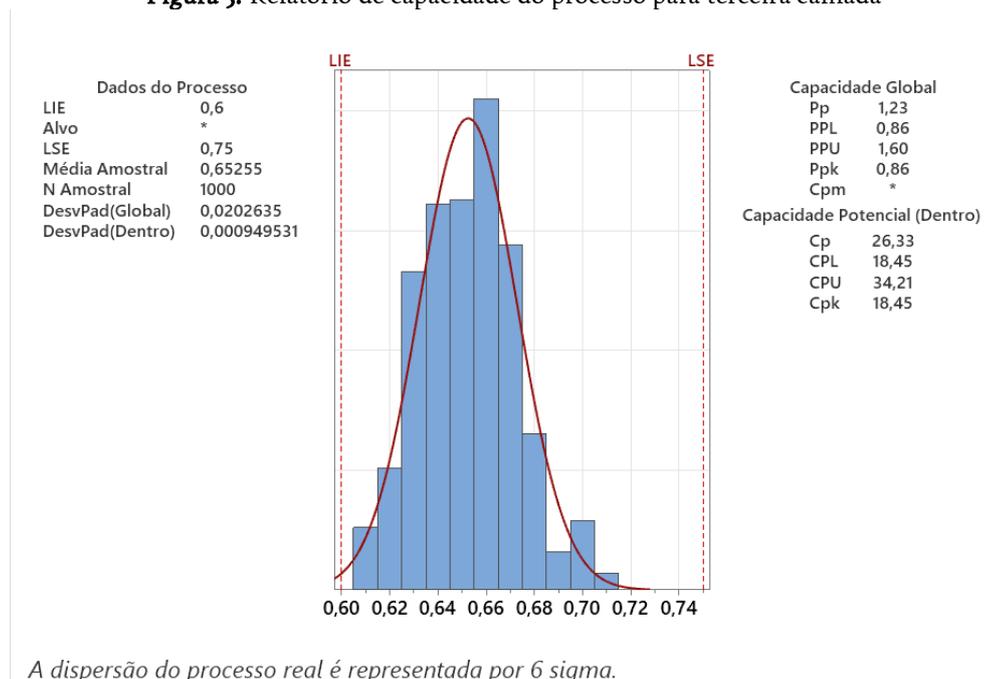
**Quadro 5.** Parâmetros para análise da terceira camada de isolamento

| <b>Terceira camada de isolamento</b> |         |
|--------------------------------------|---------|
| Espessura média mínima:              | 0,65 mm |
| Limite inferior:                     | 0,60 mm |
| Limite superior:                     | 0,75 mm |

**Fonte:** os autores

A análise foi realizada com um número amostral de 1000 dados e a média amostral encontrada foi de 0,65255 mm, a espessura da terceira camada de isolamento requeria uma espessura média mínima de 0,65 mm, maior que a espessura da primeira camada e por isso as diferenças no limite inferior (LIE) e limite superior (LSE), a qual, podem ser notadas no relatório de capacidade do processo abaixo:

**Figura 5.** Relatório de capacidade do processo para terceira camada



**Fonte:** os autores

A diferença entre os valores encontrados no Cp e Cpk representam uma maior descentralização do processo de extrusão, pois mesmo os valores de Cp e Cpk mesmo sendo maiores que 1,33 são de uma diferença de 7,88. Graficamente é notável a descentralização, devido a tendência de os dados serem para esquerda, dentro dos valores estabelecidos no limite inferior (LIE) e limite superior (LSE).

Com base nas três análises realizadas no software Minitab foram encontrados resultados satisfatórios e que apesar de suas particularidades como foi descrito, tiveram a dispersão do processo real representada por Six Sigma. Segundo Werkema na tabela 1, o  $\text{ppm} \leq 3,4$ , representa o Six Sigma do processo é que o custo da não qualidade do processo é  $< 1\%$ , ou seja, se temos uma capacidade do processo de extrusão em Six Sigmas nas três camadas de isolamento do condutor a empresa terá um percentual de perda no seu faturamento  $< 1\%$ .

## CONCLUSÃO

O referencial teórico que envolve o estudo Six Sigma de um processo de extrusão, teve seu objetivo identificado e apresentado nos resultados e discussões.

Os dados simulados e analisados de um processo de extrusão em uma linha catenária que tem um alto valor agregado nos seus produtos, e dependente muito de mão-de-obra é equipamentos capazes de medir e controlar parâmetros dos cabos produzidos após três extrusões simultâneas.

Com a medição e controle de qualidade na produção de cabos de média, alta e extra alta tensão para linhas de extrusão, com o equipamento X-RAY 8000 NXT da empresa alemã Sikora é possível coletar dados da extrusão e realizar análise como foi descrito neste artigo.

A análise da capacidade do processo de extrusão a partir da simulação de dados realizada no software Minitab, demonstrou que o Six Sigmas uma metodologia que já é mundialmente conhecida, pode ser aplicada no processo de extrusão. Os dados simulados demonstraram um resultado de dispersão Six Sigmas, pois os valores encontrados no  $C_p$  e  $C_{pk}$  foram superiores a 1,33, a qual, representa que o processo de extrusão é capaz de manter a qualidade a nível Six Sigma.

É válido ressaltar que os ganhos de qualidade a nível Six sigma são de grande impacto nos números de uma empresa como, por exemplo, a lucratividade e menores preços nos produtos comparados com os concorrentes. É importante também considerar que aplicação deste tipo de controle de qualidade Six Sigma, gera uma diminuição nos números de defeitos grandiosa, sendo de 3,4 defeitos por milhões por itens produzidos e tendo um impacto  $< 1\%$  de custo da não qualidade no faturamento da empresa.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6251. 09/11/2018. Cabos de potência com isolamento extrudada para tensões de 1 kV a 35 kV. **Requisitos construtivos**, [S. l.], 9 nov. 2018.

ANTONY, J. et al. Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.29, n.1, p.31-53, 2012.

ANTONY, J. Six sigma for service processes. *Business Process Management Journal*, v.12, n.2, p.234-248, 2006.

BENGT KLEFSJO, HÁKAN WIKLUND, RICK L. EDGEMAN. Six Sigma seen as a Methodology for Total Quality Management. *Measuring Business Excellence* 5, pp. 31-35, jan. 2001.

COUTINHO, Thiago. Aprenda o que é e como analisar a Capabilidade do processo!. Saiba como analisar a Capabilidade do Processo, **Voitto**, 17 nov. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/capabilidade-do-processo>. Acesso em: 14 maio 2022.

DANA RASIS, HOWARD GITLOW, EDWARD POPOVICH, Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I. *Quality Engineering*, 15 (1), pp.127-145, 2002.

HILTON, R. J.; SOHAL, A. A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.29, n.1, p.54-70, 2012.

KUMAR, M. et al. Common myths of six sigma demystified. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v.25, n.8, p.878-895, 2008.

LIMA, A. A. N. et al. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. *Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.*, v. 27, n. 3, p. 177-187, 2006. Disponível em: [http://servbib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/Cien\\_Farm/article/viewFile/380/364](http://servbib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/Cien_Farm/article/viewFile/380/364).

PEREIRA, L.; Análise da metodologia e implementação Seis Sigma, Guaratinguetá -SP, **Monografia de Graduação** – Faculdade de Engenharia. Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2003.

RAY, S.; DAS, P.; BHATTACHARYA, B. K. Prevention of industrial accidents using Six Sigma approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, v.2, n.3, p.196-214, 2011.

RIBEIRO, J.L.D; CATEN, C. S. ten. **Controle Estatístico do Processo**: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2012. Disponível em: Acesso em: 5 maio 2022.

ROSA, L. C. da. **Introdução ao controle estatístico de processos**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2015. Disponível em: Acesso em: 5 maio 2022.

WERKEMA, M. C. C. **Lean Seis Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. 2 ed, Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2011.

X-RAY 8000 ADVANCED/NXT. Bremen, Germany: SIKORA, 2 fev. 2022. Disponível em: <https://sikora.net/pt-pt/produtos/xray8000nxt/>. Acesso em: 15 maio 2022.