

# Processos de extrusão na indústria de cabos elétricos

## CONTRIBUTOS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE

NOME	Diana Fernandes	NOME	Paulo Sampaio
CARGO	Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho	CARGO	Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho
MAIL	dianavilacafernandes@gmail.com	MAIL	paulosampaio@dps.uminho.pt

A aposta em programas de melhoria da qualidade dos processos é cada vez mais um caminho adotado pelas empresas para fazer face ao mercado competitivo em que estão inseridas. Através da implementação deste tipo de programas, é possível conferir robustez aos processos e, conseqüentemente, reduzir os custos com desperdícios internos relacionados com a qualidade.

As ferramentas da qualidade representam um vetor importante no sucesso de qualquer programa de melhoria contínua da qualidade do processo. Estas ferramentas constituem meios úteis no controlo, análise e organização de dados relevantes para as tomadas de decisão nas organizações.

O presente artigo aborda a implementação de um programa de melhoria da qualidade dos processos de extrusão de uma indústria de cabos elétricos, tendo por base a aplicação de algumas ferramentas da qualidade, nomeadamente o diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa e gráficos de controlo.

### enquadramento e metodologia

Atualmente, as pequenas e médias empresas devem ponderar a aposta no desenvolvimento de processos mais eficientes como meio de sobrevivência no mercado competitivo e exigente em que estão inseridas (Motorcu & Güllü, 2006).

De acordo com Bubbey e Dale (1997), citados em Pacheco, Sampaio, & Rodrigues (2011), o sucesso da melhoria de um processo tem

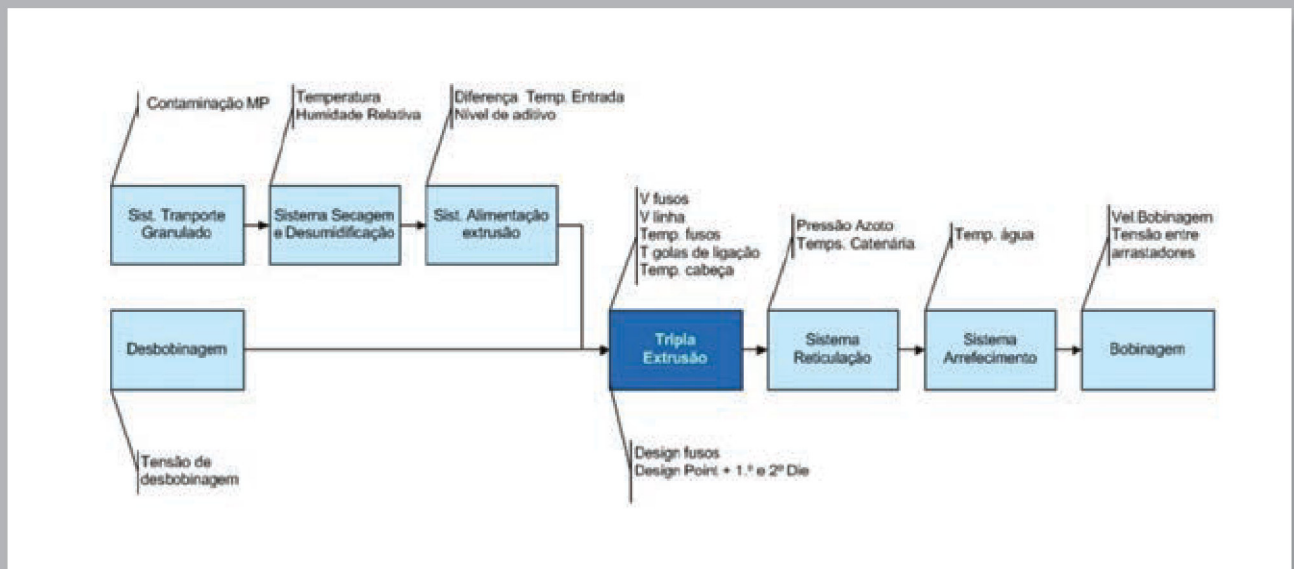
como componente vital o uso de ferramentas e técnicas da qualidade. Apesar de existir uma enorme variedade de ferramentas da qualidade, as mais populares e descritas pelos autores são as sete ferramentas básicas sugeridas por Ishikawa, nomeadamente: o diagrama de causa e efeito, análise de Pareto, folha de verificação, gráficos de controlo, histogramas, fluxogramas e gráficos de dispersão (Tarí & Sabater, 2004).

O SPC (Statistical Process Control – Controlo Estatístico do Processo) é uma das técnicas usadas no controlo da qualidade, concretamente para medir e analisar a variabilidade de um determinado processo (Dudek-Burlikowska, 2005). No que se refere a metodologias para implementação do SPC, a Philips Semiconductors, DE\Sarah Lee (coffee and tea), entre outras organizações, utilizaram uma metodologia em que os dez passos seguidos são resumidos nos principais propósitos do SPC, nomeadamente: descrição e análise do processo, investigação e implementação de ações de melhoria, definição de medidas efetivas para controlar o processo e, por fim, avaliação do desempenho e implementação da filosofia de melhoria contínua (Does, Schippers, & Trip, 1997, p. 188).

No caso particular da indústria de cabos elétricos, esta está inserida num mercado exigente, em que a qualidade e a inovação tecnológica em produtos e processos são elementos vitais para a sobrevivência no setor. A extrusão de polímeros é um processo complexo, cujos desperdícios representam custos significativos para a empresa. Neste

VARIÁVEIS DE CONTROLO  
DO PROCESSO DE ISOLAMENTO

Figura 1



sentido, considerou-se pertinente implementar um programa de melhoria da qualidade do processo, tendo por base os seguintes objetivos:

- > Definir quais são os tipos de não-conformidades com mais impacto nos índices de desempenho e mais críticos para o processo;
- > Calcular o valor económico dos defeitos críticos;
- > Identificar as causas das não-conformidades e estudar possíveis ações corretivas;
- > Implementar o sistema de controlo estatístico de processo capaz de monitorizar parâmetros de interesse definidos ao longo do projeto.

O estudo de caso foi a metodologia de investigação que suportou este estudo. No decorrer do mesmo recorreu-se à análise de várias fontes de dados, nomeadamente documentos da empresa (histórico dos defeitos registados no autocontrolo, fichas técnicas; entre outros), entrevistas e observação das atividades e de dados recolhidos.

A metodologia empregue inicia com o estudo dos processos de extrusão da indústria de cabos elétricos. Nesta fase pretendeu-se

adquirir informação detalhada sobre as etapas dos processos, bem como das variáveis de controlo existentes em cada uma das etapas. Posteriormente, com recurso ao diagrama de Pareto, identificaram-se os defeitos críticos registados nos processos em estudo. As causas e potenciais medidas corretivas destes defeitos foram alvo de estudo e discussão em sessões de *brainstorming* com chefias e operadores, em que se introduziu e aplicou o diagrama de Ishikawa.

Paralelamente, estimaram-se os custos envolvidos nas falhas da qualidade dos dois processos, nomeadamente os custos com sucata e retrabalho. No seguimento da valorização económica dos defeitos críticos, foi efetuado um estudo que visou perceber o impacto dos desperdícios de matérias-primas incorporadas nos cabos elétricos. Os resultados obtidos indicaram que os defeitos relacionados com características dimensionais dos produtos representavam uma parte significativa dos defeitos registados nos dois processos, o que revelou a pertinência da monitorização destes parâmetros através da aplicação de gráficos de controlo.

Através da aplicação dos procedimentos introduzidos foi possível identificar algumas causas de variabilidade dos processos. O projeto culmina com a sugestão de algumas propostas de melhoria que visam aumentar a eficácia dos procedimentos introduzidos, bem como incentivar a adoção da filosofia de melhoria contínua.

### trabalho desenvolvido

A extrusão é um processo de produção contínua de produtos plásticos, tais como tubo, folha, fibras, perfis, entre outros (Rauwendaal, 1993). O isolamento de cabos elétricos, bem como a aplicação de bainhas externas em cabos elétricos são dois exemplos de processos de extrusão. O processo de isolamento de cabos elétricos de média e alta tensão é constituído por vários fatores que interferem com o controlo do processo. O fluxograma (Fig. 1) apresenta as fases que compõem um dos processos que foi alvo de estudo, o processo de isolamento de cabos elétricos, juntamente com os parâmetros de controlo referentes a cada uma das fases. Apesar de ambos os processos de extrusão

DIAGRAMA DE PARETO DOS DEFEITOS DA OPERAÇÃO DE ISOLAMENTO

Figura 2

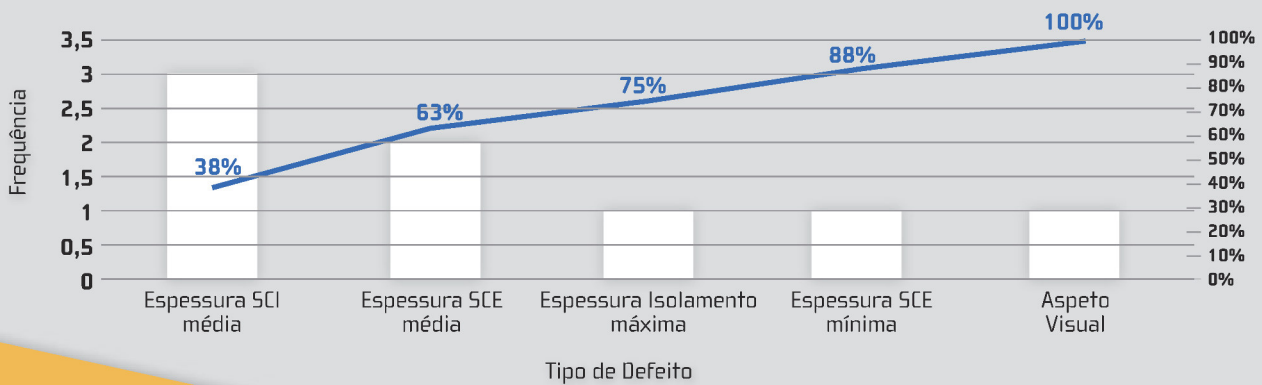
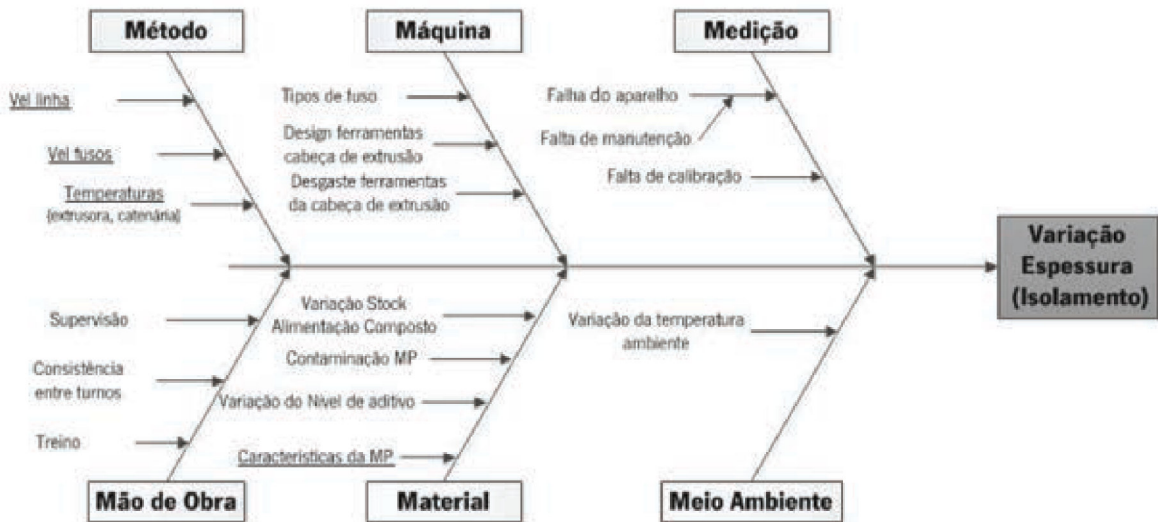


DIAGRAMA CAUSA-EFEITO SOBRE VARIAÇÃO DA ESPESURA DE ISOLAMENTO

Figura 3



de cabos elétricos (isolamento e embainha-mento) terem sido alvo de estudo, todos os exemplos que se seguem dizem respeito ao processo de isolamento.

### análise ABC dos defeitos

A análise ABC dos defeitos teve como objetivo evidenciar os tipos de defeitos mais recorrentes nos processos de extrusão em

estudo. Esta análise teve como base o histórico de 2012 dos dados de autocontrole das produções do cabo em estudo. Este é um procedimento efetuado pelos operadores a cada lote de cabo produzido.

Relativamente aos parâmetros do autocontrole, estes são registados embalagem a embalagem e diferem consoante o tipo de processo em causa. Podem encontrar-se

dois tipos de parâmetros no autocontrole, parâmetros de natureza qualitativa e parâmetros de natureza quantitativa.

Os parâmetros de autocontrole são maioritariamente para controlo dimensional, com a exceção da “Inspeção condutor sólido”, “Aspetto visual”, “Bobinagem” e tipo de semicondutor exterior (“SCE – Pelável”). O controlo dimensional da espessura de cada

camada inclui o registo da espessura média, da espessura máxima e mínima da leitura do conjunto de seis pontos de medição.

Da análise ABC dos defeitos detetados no autocontrolo no processo de isolamento resultou o diagrama de Pareto representado na Figura 2. Da análise da Figura 2 pode-se concluir que os defeitos relacionados com características dimensionais são os mais frequentes. Estes são os resultados das notificações registadas pelos operadores no autocontrolo. Porém, a nível de resultado global de embalagens em curso de fabrico, todas as embalagens foram aprovadas. Tal deve-se ao facto dos defeitos registados não terem efeito no bom funcionamento do cabo, pois em termos dimensionais, na maioria dos casos, a espessura das camadas excedia o limite superior e não o contrário.

Assim sendo, considera-se que a percentagem de embalagens rejeitadas em autocontrolo é de 0%.

### **análise económica dos defeitos**

O estudo efetuado teve como objetivo apurar o impacto do aumento de espessuras de isolamento no custo de incorporação de matérias-primas de isolamento no cabo. Para tal, foi assumido que o custo base corresponde ao cenário em que as espessuras de isolamento são iguais às espessuras nominais. Partindo deste pressuposto, apurou-se o impacto do aumento das espessuras (até à espessura máxima), para cada camada individualmente. Comparativamente ao custo base, para o semicondutor interior, isolante e semicondutor exterior os custos com matéria-prima podem chegar a ter acréscimos de 6, 4 e 3,5%, respetivamente. É importante referir que o processo de extrusão é sujeito a diversas fontes de variação, que obrigam a que se defina uma margem para evitar falhas. Por outro lado, sabe-se que quanto maiores essas margens, maiores serão os custos de produção. Neste campo, o CEP (controlo estatístico do processo) pode constituir uma ferramenta crucial para a redução da variabilidade e, por conseguinte, a redução de custos de produção ao longo do tempo.

### **análise das causas dos defeitos**

Da análise das causas dos defeitos críticos do processo de isolamento resultou o diagrama de Ishikawa (Fig. 3).

Pelo facto do processo de extrusão ser um processo com número significativo de variáveis a controlar, leva a que várias hipóteses possam ser levantadas no estudo das causas das variações de espessura. No entanto, algumas foram destacadas pelos operadores, nomeadamente a regulação da velocidade de fuso e velocidade de linha, a importância da qualidade do material e a variação de temperaturas ao longo do fuso e na cabeça de extrusão.

### **controlo estatístico do processo**

A característica escolhida para exemplificação da implementação do controlo estatístico do processo de isolamento foi a espessura da camada intermédia. O parâmetro *Wtins*, abreviatura para *Wall Thickness Insulation*, corresponde à média dos parâmetros *WTins XL*, *WTins XR*, *WTins YL*, *WTins YR*, que correspondem às espessuras lidas nas diagonais da secção transversal do cabo pelo aparelho de medição de multissensores raio-X, conforme ilustra a Figura 4.

Para cada camada podem ser visualizados no *display* do aparelho de medição oito pontos de medição das espessuras a quente, bem como o diâmetro total a quente e a frio. Os valores são armazenados com a data, hora e comprimento do cabo em formato “.xls” e podem ser extraídos para um computador através de vários interfaces disponíveis (USB, Ethernet, entre outros).

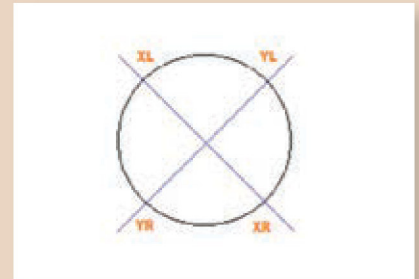
A cada metro é registada a velocidade de linha, a data e hora e para as três camadas são registadas quatro medições da espessura, o valor máximo, o valor mínimo e a média, entre outros parâmetros.

Retirou-se um total de 80 amostras de dimensão  $[n]$  igual a um do ficheiro de exportação de dados do aparelho de medição.

Uma vez que o aparelho de medição situa-se imediatamente após a saída da cabeça de extrusão e, nesta fase de fabrico, a

Figura 4

#### ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE MEDIÇÃO DE ESPESURAS



excentricidade do cabo é mais notória nos valores das espessuras lidos, tal é justificado pela margem que o operador dá na regulação das ferramentas de extrusão, por ter conhecimento do “efeito gota” a que as camadas extrudidas estão sujeitas. Este facto inviabiliza a hipótese de que apenas o parâmetro “*Wtins*” seja alvo de análise. De acordo com o teste à normalidade dos dados, efetuado com recurso ao software SPSS, os dados relativos aos parâmetros *WTins\_XL*, *WTins\_XR*, *WTins\_YL*, *WTins\_YR* seguem uma distribuição normal, em detrimento da *Wtins*, cujos dados não seguem uma distribuição normal. Desta forma, os quatro parâmetros serão avaliados individualmente. O processo de isolamento de cabos elétricos pode ser considerado um processo contínuo e, 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 podem ser tão reduzidas que ter-se-iam subgrupos com amplitude igual a zero. Assim, o tipo de gráfico escolhido para análise da variabilidade da espessura de isolamento do cabo foi o gráfico de controlo para valores individuais.

Para definição dos limites de especificação foram considerados os valores das especificações de fabrico, ou seja, a espessura média de isolante deve ter um valor próximo de 3,65 mm, com margem positiva de 0,15 mm e margem negativa de 0,10mm.

Através da leitura dos gráficos de controlo

Figura 5

## GRÁFICOS DE VALORES INDIVIDUAIS (AMOSTRAGEM 1)

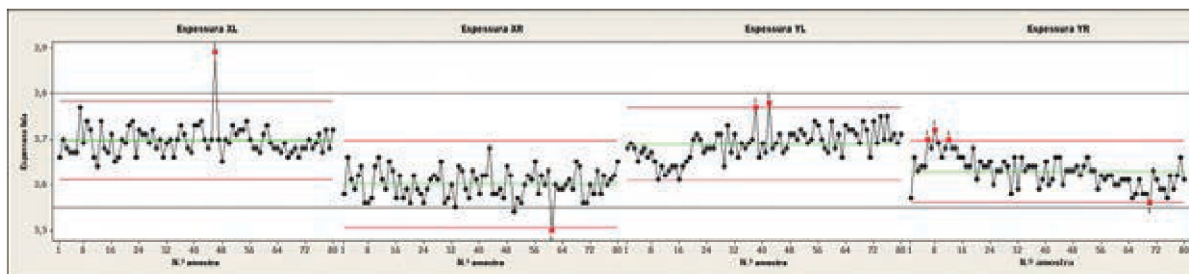
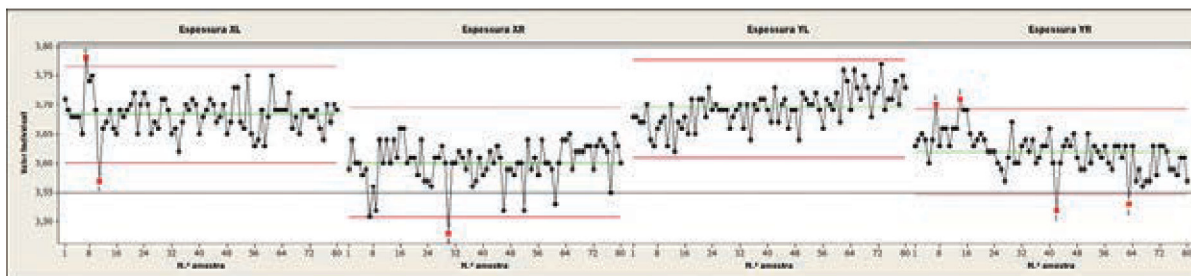


Figura 6

## GRÁFICOS DE VALORES INDIVIDUAIS (AMOSTRAGEM 2)



resultantes da amostragem efetuada às espessuras lidas para a camada de isolamento intermédia, confirmou-se que a alteração da velocidade da linha para a substituição da bobina de recolha justificava a presença de alguns pontos fora dos limites de controlo. Numa segunda versão da amostragem manteve-se a frequência de amostragem, porém com a condição de verificação da velocidade normal de marcha. Contudo, os gráficos resultantes apresentaram pontos fora do controlo, cujas causas não foram determinadas.

Para além disso, dois gráficos referentes a dois pontos diferentes de leitura de espessuras apresentaram, para um período análogo, tendências opostas e coincidentes com o regime natural de compensação das espessuras da parte superior do cabo em relação à parte inferior. Por estas razões, considera-se provável que tal seja devido a um ajustamento, voluntário ou resultante de uma resposta a um alerta da máquina, feito pelo operador. Dado que o processo não foi considerado sob controlo estatístico, não foi possível apurar

os valores de  $C_p$  e  $C_{pk}$ . Porém, sendo este um projeto que assenta nos princípios da melhoria contínua dos processos, apresentaram-se algumas propostas de melhoria que visam melhorar a eficácia do plano proposto de melhoria da qualidade dos processos.

### conclusão

O trabalho desenvolvido teve como objetivo a implementação de um programa de melhoria da qualidade dos processos de extrusão de condutores elétricos. Nesse sentido, foi definido um plano que visou o apuramento

Tabela 1

Proposta de melhoria	Impacto positivo na melhoria do processo
Integração do plano de melhoria contínua da qualidade dos processos nos objetivos da gestão	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Diminuição significativa da variabilidade do processo;</li> <li>&gt; Melhoria nos indicadores da qualidade;</li> <li>&gt; Redução de custos com incorporação de matéria-prima;</li> </ul>
Diário de bordo	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Aumenta a probabilidade de identificação das causas especiais;</li> <li>&gt; Procedimento base para estabelecer um plano de resolução de problemas;</li> </ul>
Transição para Cartas CUSUM ou EWMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Cartas mais sensíveis a pequenas alterações dos parâmetros;</li> <li>&gt; Aumenta a probabilidade de deteção de causas especiais;</li> </ul>
Equipamento de medição a frio na linha de isolamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Monitorização online da qualidade do produto final nas três camadas aplicadas;</li> <li>&gt; Apoio na redução de margens de segurança dadas devido à contração do material.</li> </ul>

dos principais defeitos detetados nos dois processos, bem como uma estimativa dos custos que esses defeitos representam para a empresa e o estudo de possíveis causas dos mesmos. Para além disso, pretendia-se implementar um sistema de controlo estatístico capaz de monitorizar parâmetros de interesse definidos.

Assim, do apuramento dos defeitos críticos registados no processo de isolamento, concluiu-se que os defeitos referentes ao cumprimento de espessuras representaram cerca de 90% dos defeitos registados nas produções do período em análise. Para além do resultado desta análise, o estudo do impacto do aumento das espessuras nos custos de matérias-primas revelou a pertinência do recurso a gráfico de controlo para a monitorização das características dimensionais do produto.

Na primeira das amostragens realizadas foram detetados pontos fora dos limites de controlo resultantes das mudanças na velocidade da linha da extrusora aquando da substituição da bobina de alimentação. Numa segunda versão da amostragem, manteve-se a frequência de amostragem,

porém com uma condição da verificação da velocidade normal de marcha. Contudo, os gráficos resultantes apresentaram pontos fora do controlo, cujas causas não foram determinadas. Para além disso, dois gráficos referentes a dois pontos diferentes de leitura de espessuras apresentaram, para um período análogo, tendências opostas e coincidentes com o regime natural de compensação das espessuras da parte superior do cabo em relação à parte inferior. Por estas razões, considera-se provável que tal seja devido a um ajustamento, voluntário ou resultante de uma resposta a um alerta da máquina, feito pelo operador.

Salienta-se que, após os testes dimensionais ao cabo em frio, efetuados no autocontrolo e no laboratório de ensaios, verificou-se que os cabos cumpriam os requisitos referentes às espessuras. Contudo, o processo não pode ser considerado sob controlo estatístico e, consequentemente, a sua capacidade não pode ser calculada.

Em virtude da minimização de causas de variabilidade de processo, sugere-se, como propostas de investigação futura, a análise custo-benefício da passagem da operação

## bibliografia

- > Motorcu, A. R., & Güllü, A. (2006). Statistical process control in machining, a case study for machine tool capability and process capability. *Materials & Design*, 27(5), 364-372. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2004.11.003>
- > Pacheco, M. (2012). O uso das ferramentas da qualidade nas organizações Portuguesas. [Mestrado]. Universidade do Minho.
- > Tarí, J. J., & Sabater, V. (2004). Quality tools and techniques: Are they necessary for quality management? *International Journal of Production Economics*, 92(3), 267-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.10.018>
- > Dudek-Burlikowska, M. (2005). Quality estimation of process with usage control charts type X-R and quality capability of process Cp, Cpk. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163(0), 736-743. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.210>
- > Does, R. J. M. M., Schippers, W. A. J., & Trip, A. (1997). A framework for implementation of statistical process control. *International Journal of Quality Science*, 2(3), 181-198. doi: 10.1108/13598539710170821
- > Rauwendaal, C. (1993). *SPC – Statistical Process Control in Extrusion*. Munich; Viena; New York; Barcelona: Hanser Publishers.

de soldadura efetuada na troca das bobinas de alimentação para o processo a montante no sistema produtivo. Considera-se que a continuidade do trabalho efetuado até à implementação e consolidação dos procedimentos de melhoria contínua utilizados constituiria uma mais-valia na redução da variabilidade do processo e, consequentemente, dos custos de produção.

A transição para cartas mais sensíveis a pequenas alterações de parâmetros (EWMA ou CUSUM), a adoção de um diário de bordo e a aposta num equipamento de medição a frio, que seja capaz de medir a espessura das três camadas aplicadas no processo de isolamento, são algumas das melhorias propostas para fases futuras do programa de melhoria contínua aplicado. 📌