

# Controle estatístico do processo em pintura industrial

Valentina de Lourdes Milani de Paula Soares\* e Terezinha Aparecida Guedes

Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência: e-mail: vlmpsoares@uem.br

**RESUMO.** Este trabalho teve por objetivo a aplicação das Ferramentas do Controle Estatístico em um setor de uma Indústria de Transformador. O característico de qualidade selecionada para o estudo, foi a espessura de tinta no transformador em suas várias partes (Corpo, Radiador, Tampa e Suporte). Determinado o setor e característico de qualidade, uma folha de verificação foi utilizada para a coleta dos dados, seguida pelo fluxograma, sugerindo uma nova metodologia para essa linha de produção.

A metodologia proposta teve por base um Modelo apresentado por Soares (2001, p. 66), com modificações necessárias para se adequar a empresa em estudo. Para interpretação dos dados, utilizou os Gráficos de Controle X e AM, nas diversas partes do transformador. Da análise dos dados coletados resultaram vários planos de ação de melhoria no processo, culminando, em alguns casos, no controle estatístico do mesmo. Ao obter o controle estatístico do processo, estabeleceram-se os limites de controle que permitirão monitorar daqui para frente tais processos, bem como calcular seus índices de capacidade. A análise, na qual diagnosticou-se a permanência do processo fora de controle, será necessário continuar, com estudo das causas da variabilidade.

**Palavras-chave:** controle estatístico, transformadores, espessura, melhoria.

**ABSTRACT. Process statistics control in industrial painting.** This paper aimed at applying Statistics Control Tools in a Transformer Industry sector. The quality characteristic selected to this study was the thickness of painting in several parts of the transformer (body, radiator, cover and support). After selecting the sector and the quality characteristic, a sheet of verification was used to collect the data. A new methodology was suggested to this production line. The methodology proposed has as base a Model presented by Soares (2001, p. 66), with necessary modifications to fit to the company under study. The data were analyzed by X and AM Control Graphs in several parts of the transformer. Many improvement plans resulted from the analysis and some of them in the statistics control. After achieving statistics control of the process, control limits were established and they will allow to monitor those processes from now on, as well as to calculate their capacity rates. In the analysis where the first out-of-control process was found, it will be necessary to continue the study of variability causes.

**Key words:** statistics control, transformers, thickness, improvement.

## Introdução

A partir de 1990, as empresas brasileiras começaram a enfrentar a competição de produtos importados, desenvolvidos e produzidos em quantidade econômica, aportando num mercado brasileiro em que, na sua maioria, ainda não se preocupava com a competitividade. Fez-se necessário então buscar idéias e recursos para continuar a sobreviver, criando condições necessárias para que houvesse um despertar por parte das empresas, e dos executivos, em relação à qualidade (Juran e Gryna, 1993).

Inúmeras companhias iniciaram campanhas para priorizar a qualidade. De um modo geral, tais companhias aumentaram efetivamente a conscientização sobre a mesma, a ponto de tomarem atitudes concretas para as quais esta se constitui, em um problema quase resolvido. Entretanto, nem sempre essa maior conscientização resultou em uma mudança de comportamento. É necessário estar consciente que um programa consistente de melhoria qualidade, por si só, não é suficiente. Ele deve envolver amplo espectro de ações que vão desde pesquisas e ações técnicas, até a sensibilização da mão-de-obra e participação no processo de

controle da mesma (Toledo, 1987).

Os métodos estatísticos são comprovadamente eficazes para a melhoria de qualquer processo produtivo levando a redução de defeitos, por isso este trabalho constitui-se de real importância tendo em vista a aplicação e implementação do CEP na espessura tinta na pintura de transformadores (em duas camadas). A implantação do controle estatístico de processo, na pintura industrial, constitui-se também em uma tentativa de minimizar o prejuízo. A utilização coerente das técnicas de controle de qualidade torna-se uma excelente arma na competitividade já que os tempos atuais requerem mais informações e recursos para se enfrentar condições instáveis e inesperadas.

Além disso, tem-se que as Empresas certificadas pela ISO 9000, em suas últimas versões, incrementaram o controle de qualidade tendo como base o CEP. O que vai de encontro às aspirações da empresa onde este estudo foi realizado, que não é só a melhoria contínua dos processos, mas também a reavaliação da certificação.

## Material e métodos

O setor de pintura industrial da empresa (podendo ser observado na Figura 2), por ser uma área simples do processo industrial, foi selecionado para o estudo com o objetivo de torná-lo referência para setores ou áreas mais complexas. A equipe de trabalho do setor foi envolvida buscando o interesse e apoio de todos.

O característico de qualidade selecionada para o estudo foi a espessura de tinta no transformador em suas várias partes (corpo, radiador, tampa e suporte). Este foi o primeiro estudo realizado na empresa sobre a aplicação de tinta.

Determinado o setor e característico de qualidade, estabeleceu-se como primeiro passo a montagem de uma folha de verificação para a coleta dos dados, seguida pelo fluxograma, sugerindo uma nova metodologia para essa linha de produção.

A metodologia proposta teve por base um Modelo apresentado por Soares (2001), com modificações necessárias para se adequar a Empresa em estudo, apresentada na Figura 1.

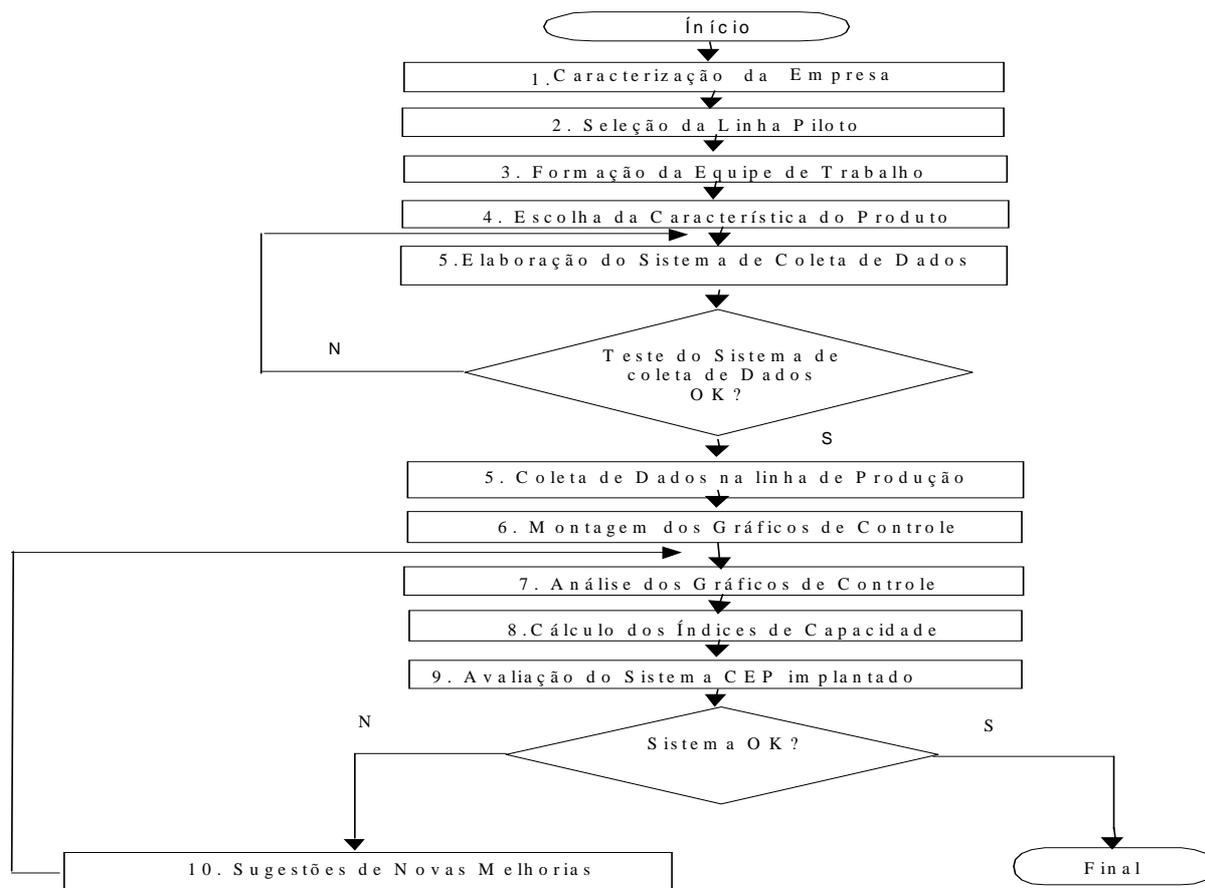


Figura 1. Fluxograma da Metodologia Proposta. Adaptado de Soares (2001, p. 66).

O setor de pintura industrial da empresa está representado na Figura 2.

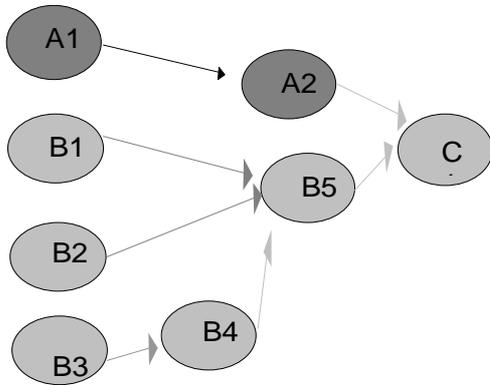


Figura 2. Esquema Operacional da Unidade do setor de pintura industrial.

A1 – Calderaria ou Funelaria – Fabricação de Tanques.

A2 – Pintura – Pintura do fundo e acabamento.  
 B1 – Alta Tensão – Fabricação das bobinas.  
 B2 – Baixa Tensão – Fabricação das bobinas.  
 B3 – Corte do Núcleo – Corte do aço silício.  
 B4 – Montagem do Núcleo – bobinamento, formatação e cozimento do núcleo.  
 B5 – Montagem da Parte Ativa – Montagem da baixa e alta tensão do núcleo, além do comutador na parte ativa do transformador.

C1 – Fechamento ou Montagem Final – Colocação da parte ativa no tanque, vácuo, colocação do óleo e estanqueidade.

Como até então nenhum tipo de controle de qualidade da pintura havia sido feito, o fluxograma de tarefas foi avaliado e notou-se que se apresentava inadequado para a aplicação do CEP. Assim sendo, algumas modificações no fluxograma foram sugeridas como mostra a Figura 3.

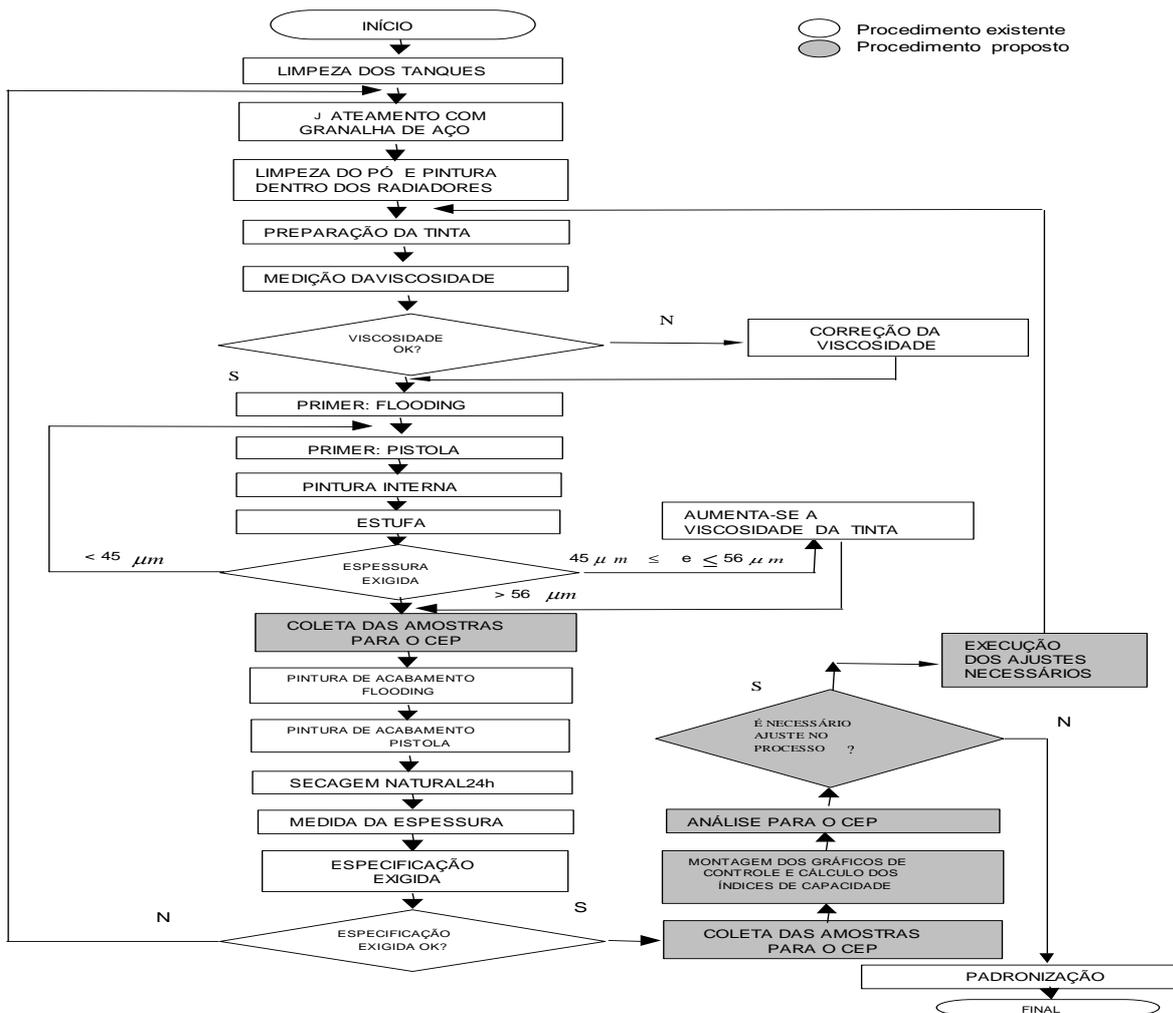


Figura 3. Fluxograma proposto para o controle de processo.

Foram realizadas 3 coletas, sendo que cada coleta constitui-se em retirar uma amostra de hora em hora durante todo o dia por um prazo de uma semana.

Para as coletas de dados, foi elaborada uma folha de verificação de forma a agilizar o registro dos dados e proporcionar mais informações. As informações registradas foram feitas em cada etapa da pintura; a espessura da tinta foi medida em micron ( $\mu m$ ), em vários pontos do transformador e os pintores responsáveis por cada transformador pintado.

Com o intuito de caracterizar melhor esse processo foi elaborado o Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito) (Figura 4), em conjunto com todos funcionários inclusive do chão da indústria, com o objetivo de descobrir o que estava afetando o processo, pois, segundo Crosby (1979), à medida que as pessoas são incentivadas a falar vêm à tona oportunidades de correção, que envolvem não só os defeitos detectados pela inspeção, como também os menos óbvios. E também, a maioria das estratégias deve visar o envolvimento da mão-de-obra no esforço para produzir qualidade em processos, produtos e serviços (Paladini, 1997).

Com isso verificou-se, juntamente com os funcionários, as interferências que poderiam haver no processo da pintura de transformadores em se tratando dos:

Insumos (tinta, solvente).

Métodos ou procedimentos (preparo da tinta, instrução, inspeção, processo, com informação muitas vezes insuficiente).

Informações ou medidas (lixamento e escorrimento do tanque, pintura, inspeção e a medição da espessura da pintura).

Pessoas (com habilidade física, motivação, saúde).

Condições ambientais (limpeza, espaço físico, cortina d'água, tambor, ar, iluminação, temperatura, ambiente, organização).

Máquina e equipamentos (compressor de ar, flooding, pistola, E.P.I, exaustor, tambor) e cada um desses fatores bem detalhado pode ser visto no diagrama acima.

O característico de qualidade espessura por ser uma variável contínua e devido à produção diária de transformadores ser baixa, a qualidade desta variável foi verificada através do gráfico de controle para variáveis, o gráfico X para valores individuais e o gráfico de amplitude AM. Foi utilizado o Software Statistica na construção desses gráficos. Sabe-se que os gráficos de controle constituem ferramentas para a avaliação da estabilidade de um processo e, segundo Deming (1997), “estando um processo sob controle estatístico, pode-se dar significado à capacidade do processo em obedecer às especificações, sendo que na sua ausência não se faz qualquer previsão”. Para essa avaliação utilizou-se os gráficos de controle de qualidade padrões segundo Montgomery (1997, p. 149) e, com o uso dos mesmos, pode-se verificar a possível estabilidade no processo em algumas partes do transformador, como será visto a seguir.

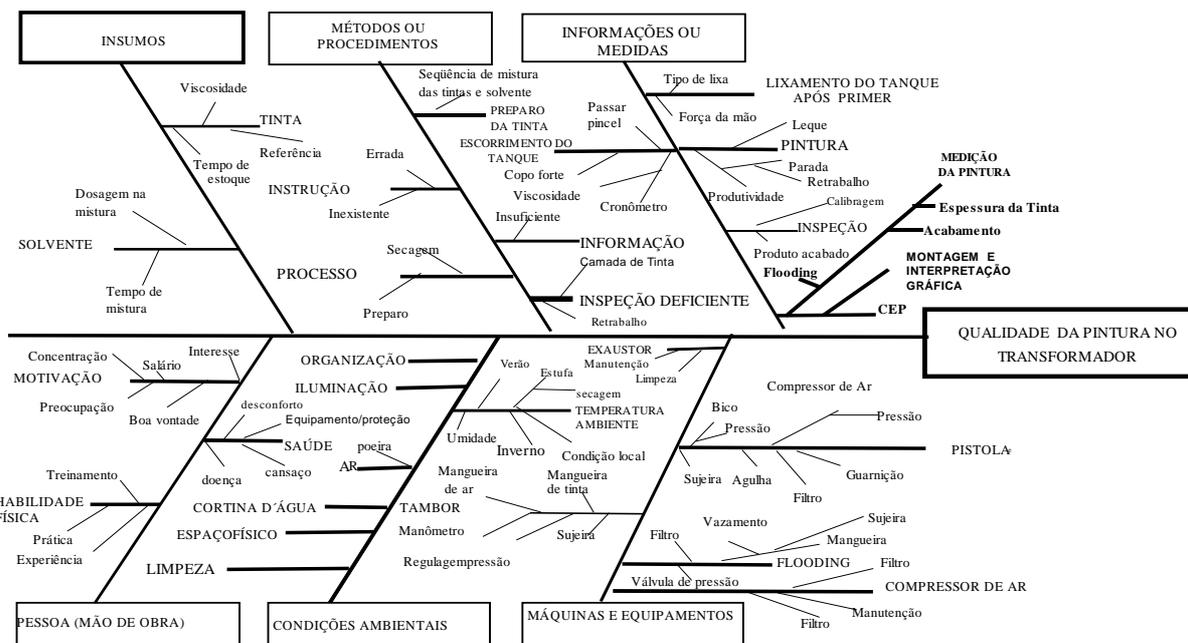


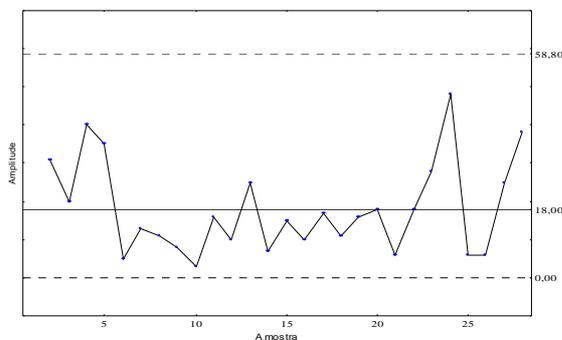
Figura 4. Diagrama de Ishikawa para a identificação de interferências na qualidade da pintura de transformadores.

**Resultados e discussão**

Aos dados obtidos em cada uma das 3 coletas realizadas foram aplicados os testes de Kolmogorov Smirnov, Shapiro-Wilk e Lilliefors para a verificação da normalidade dos dados, sendo que para todos os 3 conjuntos esta condição foi satisfeita ao nível de 5% de confiança.

A seguir são apresentados os gráficos para os dados obtidos na 1ª coleta para a variável espessura da tinta no radiador do transformador, espessura esta expressa em micron ( $\mu m$ ).

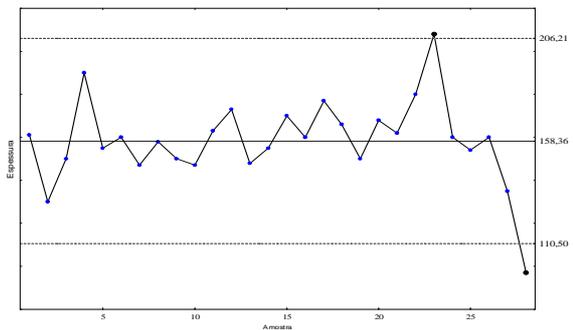
Analisando a Figura 5 pode-se observar grande variabilidade nos dados. O gráfico apresentado na Figura 6, gráfico X para medidas individuais, mostra pontos fora dos limites de controle indicando possível existência de causas especiais.



**Figura 5.** Gráfico das amplitudes (AM) da variável espessura da tinta no radiador do transformador- 1ª coleta.

Os picos nos extremos do gráfico indicam instabilidade no processo. Esses fenômenos perturbadores demonstram a necessidade de buscar os

agentes causadores desses descontroles no processo.



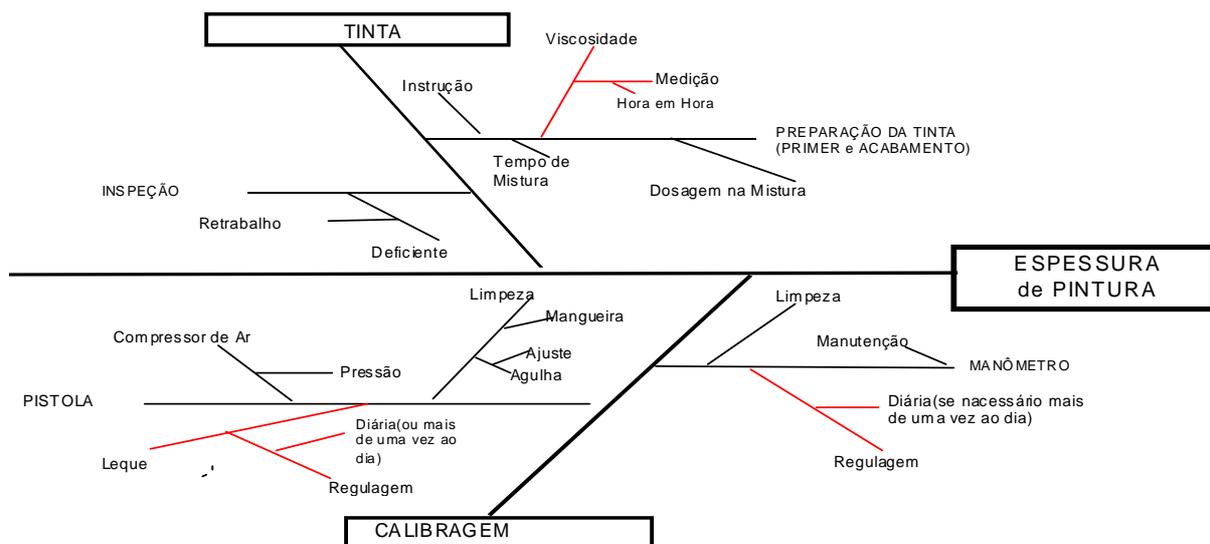
**Figura 6.** Gráfico para medidas individuais (X) da variável espessura da tinta no radiador do transformador- 1ª coleta.

Um diagrama de causa e efeito foi elaborado a partir das informações fornecidas pelos funcionários da linha de pintura (Figura 7).

Com base neste diagrama foi montado um plano de ação, houve o comprometimento por parte dos funcionários de se verificar de hora em hora não só a espessura da tinta, como a calibragem da pistola, analisar diariamente a regulagem do leque e, se necessário, mais de uma vez ao dia, fazer igualmente a regulagem na calibragem do manômetro.

Uma segunda coleta de dados foi realizada após interferência no processo e com base no plano de ação proposto.

Novamente os dados obtidos foram submetidos aos testes de verificação de normalidade e esta condição foi novamente obtida.



**Figura 7.** Diagrama de Ishikawa identificando as interferências na qualidade da pintura de transformadores através de informações dos funcionários do setor.

Na Figura 8, para as amplitudes, observa-se um ponto acima do limite superior de controle, embora na Figura 9, de medidas individuais, todos os pontos estão dentro dos limites de controle de 3 sigmas com 4 pontos além dos limites de 1 sigma. Isso demonstra uma possível instabilidade no processo.

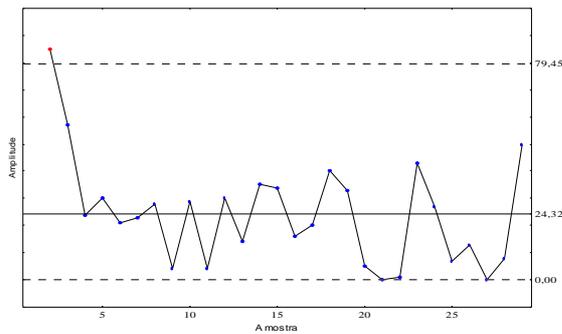


Figura 8. Gráfico das amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador - 2ª coleta.

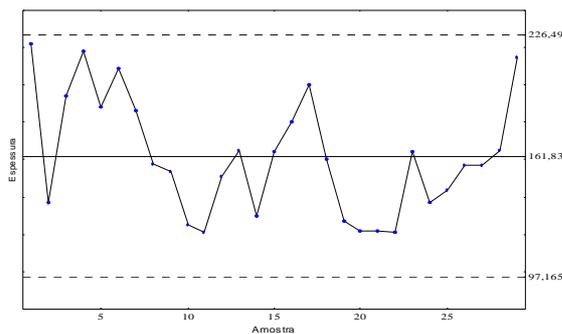


Figura 9. Gráfico das medidas individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador - 2ª coleta.

Na tentativa de colocar o processo completamente sob controle, um novo plano de ação foi proposto. Esse novo plano consistia em submeter o pessoal envolvido no processo de pintura em um treinamento de mais ou menos 3 horas. Após um mês da realização do treinamento a terceira coleta foi realizada.

Os dados obtidos, como das coletas anteriores, foram submetidos aos testes de verificação de normalidade e novamente tal condição foi satisfeita. Os gráficos resultantes seguem abaixo (Figuras 10 e 11).

Pode-se observar, tanto no Gráfico da Figura 11 das Amplitudes como no gráfico para Medidas Individuais, que não houve pontos fora dos Limites de Controle. Pode-se observar, também, a ausência de tendência ou periodicidade, podendo, então, o processo ser considerado sob controle estatístico de qualidade.

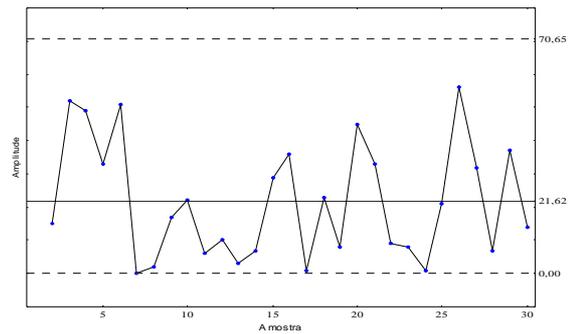


Figura 10. Gráfico das amplitudes da variável espessura da tinta no radiador do transformador - 3ª coleta.

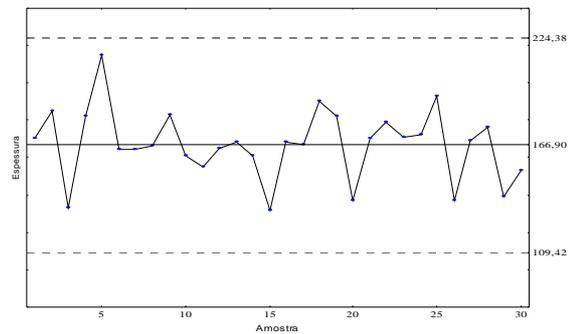


Figura 11. Gráfico para medidas individuais da variável espessura da tinta no radiador do transformador - 3ª coleta.

Segundo Dellaretti (1994), é útil conhecer o padrão de variação das características de qualidade de um processo que está sob controle, através do estudo da capacidade de processo e os seus índices, pois o cálculo dos índices é outra forma para conhecer-se a consistência do processo ao verificar que o mesmo é estável.

A Tabela 1 apresenta os limites de controle fixados para a variável espessura, em microm (µm), no radiador do transformador recomendados para a linha de produção.

O limite de especificação para o processo de pintura destes transformadores nesta empresa foi fixado em no mínimo 120 µm.

Tabela 1. Limites de controle dos gráficos X para medidas individuais e gráfico AM para as amplitudes fixados para a variável Espessura, em microns (µm) no radiador do transformador.

Limites de controle	Gráfico X	Gráfico AM
Limite superior de controle - LSC	224,38	70,12
Limite de Controle - LC	166,90	21,62
Limite inferior de controle - LIC	109,42	0,00

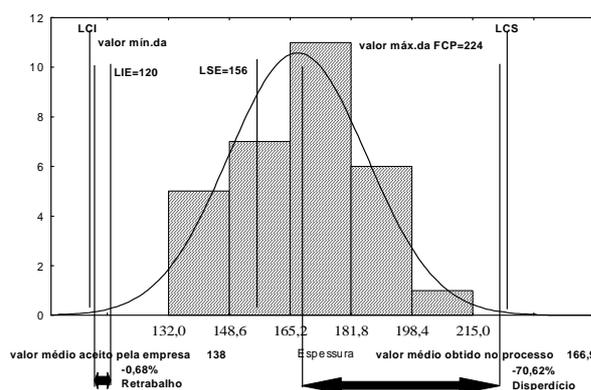
O desempenho do processo,  $C_{pk}$ , utilizando este limite de especificação e o limite de controle, foi de:

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d_2} = \frac{21,62}{1,128} = 19,67$$

$$C_{pL} = \frac{166,9 - 120}{3 \times 19,67} = 0,8116$$

Este valor de  $C_{pk}$  demonstra que o processo está operando de forma incapaz, causando prejuízo para a empresa, ou seja, a pintura do radiador do transformador está sendo realizada com uma espessura maior que o determinado pelos limites de especificação.

A faixa característica do processo, FCP, calculada como a média do processo mais três desvios padrões resultou no intervalo [110; 224]. O limite inferior deste intervalo é inferior ao limite inferior especificado e sempre que isso é diagnosticado se faz necessário um re-trabalho envolvendo custos adicionais (em 0,68%). O valor máximo desta faixa está além do previsto pela empresa (156), mostrando um desperdício de matéria prima (em 70,62%), conforme demonstra a Figura 12.



**Figura 12.** Análise gráfica da perda na pintura do radiador no transformador.

Ao se efetuar a divisão do valor médio na espessura do Radiador em  $166,9 \mu m$  (resultado da média das espessuras aferidas) pelo valor médio aceito pela empresa em  $\mu m$  (a média entre 120, que é o especificado e a perda de 30% admitido pela empresa que é 156), verifica-se uma perda na ordem de 21% para a organização.

**Conclusão**

Este trabalho foi desenvolvido com a utilização das técnicas estatísticas e realizou o que autores sugerem de não se restringir apenas à teoria ou ficar na Gerência, mas se estender ao chão de fábrica, possibilitando aos funcionários envolvidos no processo tirar as suas próprias conclusões, avaliar de

que modo poderão evoluir e, com isso, contribuir decisivamente para a aplicação das ferramentas estatísticas que requerem um aprendizado contínuo (Campos, 1992; Juran e Gryna, 1993).

A visualização dos gráficos de controle da espessura da tinta, na fase do acabamento, facilita a análise pelos funcionários envolvidos no processo, permitindo uma visão mais ampla de todo o funcionamento da linha e um envolvimento responsável em todas as questões inerentes à linha que exige uma Metodologia. Essa técnica vem superar a dificuldade que pode ocorrer na interpretação de outras técnicas utilizadas pelo Controle Estatístico de Processos, facilitando a identificação do problema.

No que tange à pintura do radiador, apesar de ter sido possível estabilizar o processo deixando-o sob controle, não foi suficiente, pois os índices de capacidade calculados mostraram que o processo, na visão da empresa, é incapaz, necessitando um maior esforço para melhorá-lo.

A média da espessura da tinta aplicada no radiador espelha perdas consideráveis – na ordem de 21% para o radiador, pois se apresenta acima da média tolerável pela empresa – entre  $120 \mu m$  e  $156 \mu m$ . Essas perdas (resultantes da fração da média das espessuras aferidas e da média tolerável da empresa) por si só constituem números de grandeza elevada e atreladas ao impacto da dolarização da matéria prima na confecção das tintas, são de extrema importância.

Ao interpretar e analisar os gráficos, construídos a partir dos dados coletados, foi possível verificar algumas falhas no processo produtivo, necessitando uma maior atenção e controle nas atividades diárias. Apesar de não se constituírem em grandes falhas são representativas para todo o processo, podendo ser solucionadas com mudanças comportamentais e pela supervisão de um Inspetor de Pintura Industrial.

Esta empresa deve avaliar o seu processo de produção da pintura e, com base nas técnicas estatísticas aqui utilizadas, poderá diminuir as variabilidades decorrentes das causas especiais. Com isso, terá uma significativa redução nos custos do material utilizado na produção, aumentando assim os seus lucros. Uma avaliação exata das perdas, poderá nortear investimentos futuros nessa área, seja para treinamento do pessoal, seja na aquisição de novos e modernos equipamentos/instrumentos medidores.

Enfatiza-se que um elemento a ser capacitado é o Inspetor de Pintura Industrial, para que exerça uma supervisão e inspeção com qualidade no processo de pintura industrial. Como sugestão, informamos já

existirem empresas que detêm sistemas de qualificação deste tipo de profissional. Entre estas existe a Petrobrás, que possui a Norma N-2004-qualificação de inspetores de pintura, e que estabelece as regras para a qualificação centralizada desses profissionais.

Como recomendação, quanto à correção de falhas na aplicação da tinta, deve-se transferir parcialmente essa responsabilidade para o aplicador, o qual deve mediante os modelos propostos, assegurar-se que a aplicação esteja sendo feita em conformidade com os requisitos solicitados. E para que o controle de qualidade seja ainda confiável, com a utilização de instrumentos, estes deverão ser aferidos/calibrados periodicamente, sendo necessário um procedimento de aferição com padrão de referência. Será necessário, ainda, avaliar a eventual presença de substâncias contaminantes que possam prejudicar a adesão de esquema de pintura e com isso permitir ainda identificar eventuais defeitos superficiais tais como: respingos de solda, graxas, entre outros, que, às vezes, se faz necessária à remoção.

### Referências

CAMPOS, V.F. *Controle de qualidade total*. Rio de Janeiro: Block, 1992.

CROSBY, P.B. *Qualidade é investimento*. Rio de Janeiro: J. Olimpio, 1979.

DELLARETTI F. O.; DRUMONT, F.B. *Itens de controle e avaliação de processos*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994.

DEMING, W.E. *Economia para a indústria, o governo e a educação*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. *Controle da qualidade*. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1993. v. 6-7.

MONTGOMERY, D.C. *Introduction to statistical quality control*. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1997.

PALADINI, E.P. *Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistemas da qualidade total*. São Paulo: Atlas, 1997.

SOARES, M.V.P.P.G. *Aplicação do controle estatístico de processo em indústria de bebidas: um estudo de caso*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TOLEDO, J.C. *Qualidade industrial: conceitos, sistemas e estratégias*. São Paulo: Atlas, 1987.

*Received on August 03, 2004.*

*Accepted on December 11, 2006.*