

Estudo sobre a aplicação de gráficos de controle em processos de saturação de papel

Marcelo Giroto Rebelato (PUCPR) m.giroto@pucpr.br

Gerson Aldo de Souza (PUCPR) g.aldo@hotmail.com

Andréia Marize Rodrigues (FIC) andmari@terra.com.br

Isabel Cristina Rodrigues (FCAV/UNESP) isabelrodrigues2@yahoo.com.br

Resumo: *A literatura sobre gráficos de controle possui seu foco voltado principalmente para a aplicação em processos produtivos discretos, sendo raros os estudos que focam processos de produção em rede. Desta forma, visando contribuir para o esclarecimento da aplicação de gráficos de controle em processos em rede, este trabalho realiza um estudo sobre sua aplicação em um processo de saturação de papel. Como resultado, este trabalho traça algumas considerações principalmente com relação à coleta de dados, ao cálculo dos limites e à construção dos gráficos de controle.*

Palavras-chave: *Gráficos de controle; Processo em rede; Subgrupos racionais.*

1. Introdução

O emprego dos gráficos de controle, diferentemente da inspeção após a produção, possibilita o controle da qualidade durante a manufatura, ou seja, os gráficos de controle exibem um enfoque na detecção dos defeitos e ação corretiva imediata, caso alguma falha seja detectada. Desta forma, ao impedir a saída de produtos imperfeitos, pode ser considerado como um método de caráter preventivo (DEMIMG, 1990).

Até os dias atuais, a maior parte da literatura disponível sobre gráficos de controle foi desenvolvida para aplicação em processos de fabricação discreta, ou seja, processos que produzem produtos unitários em processos de produção em massa ou intermitentes, como é o caso de processos de usinagem, por exemplo. Para processos em fluxo contínuo, em que o produto é de natureza contínua (refrigerantes e cervejas, por exemplo) e em que não se consegue definir claramente qual é unidade do produto, as contribuições dos especialistas são bem mais raras e difusas.

Ainda mais raros são os estudos sobre gráficos de controle aplicados a processos em redes. Conforme Frost (2005), processo de produção em redes é todo processo em que o produto ou matéria-prima apresenta uma dimensão contínua no sentido longitudinal e uma dimensão definida no sentido transversal, sendo exemplos os processos produtivos de bobinas de papéis, bobinas de aço e bobinas de tecido.

O processo de saturação de papel, especificamente, consiste na saturação de um papel absorvente com resinas melamínicas ou uréicas. Neste caso, o papel é utilizado tanto como meio para manter ou suportar a resina quanto como para dar cor ao produto final. A resina irá conferir propriedades de resistência físico-química ao produto final, que é utilizado pela indústria moveleira no acabamento superficial de móveis como estantes, escrivaninhas, mesas, entre outros.

Como forma de contribuir para a agregação de conhecimento teórico/prático sobre a aplicação de gráficos de controle em processos em rede, o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo sobre a aplicação dos gráficos de controle em processos de saturação de papel.

Desta maneira, este artigo encontra-se estruturado em cinco tópicos, a contar com esta

introdução, sendo que dois próximos tópicos tratam de uma revisão teórica sobre os assuntos relacionados (gráficos de controle e formação de subgrupos racionais). Já os tópicos quatro e cinco tratam, respectivamente, sobre a descrição do processo de saturação de papel, foco desta análise, e sobre o uso de gráficos de controle neste tipo de processo. Por fim, o último tópico traça algumas considerações sobre o assunto discutido.

2. Gráficos de controle do processo

Um fenômeno detectado na gestão da qualidade é o da degradação da eficiência nas inspeções. Este fenômeno ocorre porque as inspeções não são 100% precisas, pois os inspetores falham com alta frequência. Por exemplo, uma inspeção 100% é 80% precisa. Com isto, um em cada cinco defeitos será enviado ao cliente e isto se agrava em inspeções por amostragem (CRAIG, 2004).

Porém, quando a organização tem exigências próximas a zero defeito, não é recomendável confiar apenas na precisão da inspeção para garantir a qualidade. Para tornar a inspeção mais eficaz e para não se ter que utilizar amostragem 100% foram criados os gráficos de controle (SHEWHART, 1986). Com os gráficos de controle, o zero defeito passa a ser factível.

Os gráficos de controle distinguem a variabilidade aleatória da não-aleatória. A base do gráfico de controle é a distribuição amostral, que tende a ter a curva de probabilidades associada a uma distribuição gaussiana. O gráfico de controle tem dois limites - calculados a partir dos dados amostrais - que separam a variação aleatória da variação não-aleatória. O valor maior corresponde ao limite superior de controle (LSC) e o valor menor é chamado de limite inferior de controle (LIC). Uma estatística amostral localizada entre esses dois limites sugere a aleatoriedade da distribuição, enquanto um valor exterior a um dos dois limites sugere a não-aleatoriedade. Nos gráficos de controle é comum a utilização do LSC três sigmas acima da linha média ($\mu + 3\sigma$) e do LIC três sigmas abaixo desta ($\mu - 3\sigma$).

O gráfico de controle é um método de detecção das causas assinaláveis, ou seja, causas incomuns que, agindo no processo, provocam alta variabilidade na saída (resultado do processo). Por meio do gráfico de controle é possível a avaliação de tendências, padrões de não-aleatoriedade e instabilidades do processo, permitindo a sua interrupção e a ação corretiva antes que se produzam itens fora dos limites de especificação (MONTGOMERY, 1997). A Figura 1 ilustra um exemplo de gráfico de controle.

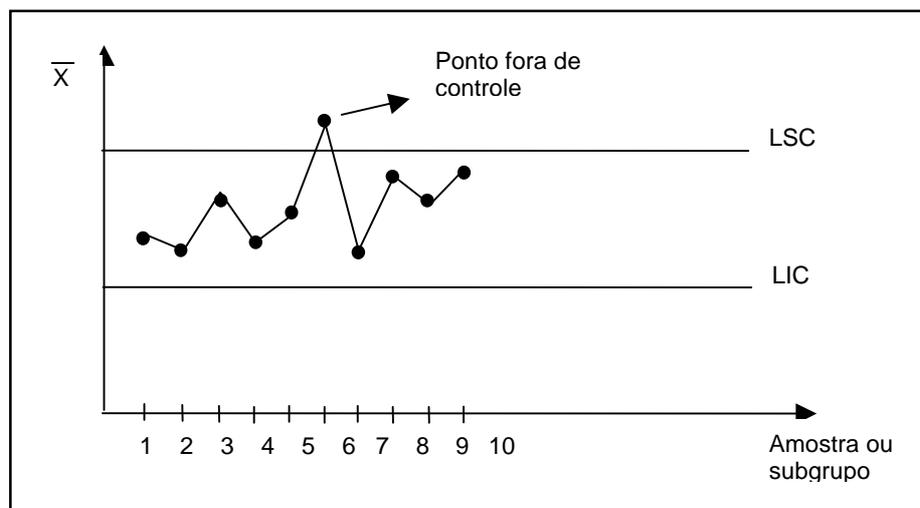


FIGURA 1 - Exemplo de gráfico de controle

Os gráficos de controle são as ferramentas gráficas mais recomendadas para o controle da qualidade na fabricação de materiais, itens e montagens, pois permitem avaliar se uma produção está sob controle ao longo do tempo. Eles também podem ter um papel importante na aceitação do produto, pois o controle estatístico verifica a estabilidade do processo e a homogeneidade do produto.

Existem dois tipos básicos de gráficos de controle (GALUCH, 2002):

a) *Gráficos por atributos*: são gráficos para controle de números e proporções, como número de defeitos ou números de defeituosos. Exigem somente uma classificação de medições descontínuas como boa ou má;

b) *Gráficos por variáveis*: são gráficos para controle de características como peso, comprimento, densidade e concentração. Exigem medições em uma escala contínua. Dados variáveis contêm mais informações que atributos e por isso os gráficos por variáveis são os preferidos, pois facilitam o diagnóstico das causas que afetam a estabilidade do processo.

Quanto à sua interpretação, se os pontos traçados no gráfico estiverem dentro dos limites de controle e dispostos de forma aleatória, pode-se dizer que o processo está sob controle estatístico. Caso contrário, se um ou mais pontos estiverem fora dos limites de controle ou estiverem dispostos de forma não aleatória, pode-se dizer que o processo está fora de controle estatístico, indicando a existência de uma ou mais causas determináveis (assinaláveis) de variação, sendo necessária a identificação e a correção desses fatores que causam tais variações para que a variabilidade do processo seja reduzida (SIQUEIRA, 1997).

É recomendável que os primeiros limites calculados sejam provisórios até que se tenha o processo sob controle. Além disso, é importante que estes limites sejam revistos periodicamente, de acordo com a exigência de cada processo, o que pode variar de uma semana, seis meses, etc. Quando forem realizadas mudanças técnicas no estado do processo, recomenda-se a revisão dos limites de controle o mais rápido possível (KUME, 1993).

Salienta-se que os limites de controle (LSC e LIC) são calculados com dados do próprio processo e, portanto, não têm nenhuma relação com os limites de especificação do produto. Logo, o processo pode estar sob controle, de acordo com os limites estatísticos, o que não indica, necessariamente, que ele atenda as especificações do produto (BONATO, 2004).

De acordo com Juran (1991), os gráficos de controle devem ser utilizados para:

- a) Alcançar um estado de controle estatístico no processo;
- b) Monitorar um processo;
- c) Determinar a aptidão do processo;
- d) Diminuir custos de teste dos produtos, no caso de teste destrutivo.

Soares (2000) reforça que os gráficos por variáveis fornecem informações mais precisas a respeito da característica que estão representando, permitindo identificar a magnitude e o sentido do defeito, além de se poder trabalhar com amostras menores. Entretanto, a sua utilização pode ser limitada pela dificuldade, demora e custo da medição. Os gráficos por atributos são obtidos mais rapidamente, porém podem apresentar controles menos precisos. No controle por variáveis, método mais adequado para ser aplicado em processos de produção em rede, os gráficos mais utilizados são:

a) *Gráfico \bar{X} e R (média e amplitude)*: onde são registradas as médias amostrais e a variabilidade do processo é avaliada através da amplitude. Apresenta facilidade na elaboração dos cálculos, porém indica com menor segurança a variabilidade do processo. Costuma-se trabalhar com esse tipo de gráfico para casos em que o tamanho da amostra seja menor que seis ($n < 6$);

b) *Gráfico \bar{X} e s (média e desvio-padrão)*: seu uso é aconselhável para grandes amostras. As médias amostrais são registradas e a variabilidade é avaliada através do desvio-padrão, mas esse tipo de gráfico apresenta maior dificuldade de interpretação;

c) *Gráfico $\bar{X}_{\text{méd}}$ e R (mediana e amplitude)*: onde são registradas as medianas e suas amplitudes. Apresenta maior facilidade no controle contínuo do processo, pois não há necessidade de cálculos, porém a mediana é um estimador mais fraco que a média;

d) *Gráfico X_i e R (valor individual e amplitude)*: onde são registrados valores individuais de medições e não valores médios. Devem ser utilizados em situações especiais como processos com taxa de produção muito baixa ou com pouca variabilidade. Para construir o gráfico correspondente adota-se X como um valor individual e R a amplitude do processo como a amplitude em valor absoluto entre cada leitura de dois valores individuais consecutivos.

As fórmulas para o cálculo dos limites dos tipos de gráficos de controle para variáveis são mostradas na Tabela 1, onde os valores A_2 , A_3 , B_3 , B_4 , D_3 e D_4 são tabelados e dependentes do número de elementos no subgrupo racional.

TABELA 1 - Tipos de gráficos de controle por variável e forma de calcular os limites do processo

Tipo de Gráfico	Limites de Controle	
	Gráfico	Fórmulas
\bar{X} e R	Média	$LSC = \bar{X} + (A_2 * \bar{R})$
		$LIC = \bar{X} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = D_4 * \bar{R}$
		$LIC = D_3 * \bar{R}$
\bar{X} e s	Média	$LSC = \bar{X} + (A_3 * \bar{s})$
		$LIC = \bar{X} - (A_3 * \bar{s})$
	Desvio-padrão	$LSC = B_4 * \bar{s}$
		$LIC = B_3 * \bar{s}$
$\bar{X}_{\text{méd}}$ e R	Mediana	$LSC = \bar{X}_{\text{méd}} + (A_2 * \bar{R})$
		$LIC = \bar{X}_{\text{méd}} - (A_2 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = D_4 * \bar{R}$
		$LIC = D_3 * \bar{R}$
X_i e R	Valor individual	$LSC = X + (2,66 * \bar{R})$
		$LIC = X - (2,66 * \bar{R})$
	Amplitude	$LSC = 3,267 * \bar{R}$
		$LIC = 0$

Fonte: Soares (2000, p.47).

Conforme visto, para que se possa realizar o monitoramento do processo a partir de gráficos de controle, se faz necessária a coleta de amostras dos lotes produzidos, assunto tratado no próximo tópico.

3. Formação de subgrupos racionais

A formação adequada dos subgrupos racionais é fundamental para que seja construído um gráfico de controle realmente aproveitável (WERKEMA, 1995). É comum alguns autores chamarem de “amostra” os subgrupos racionais quando, na verdade, todos estão se referindo à mesma coisa, ou seja, a um ou mais itens retirados de uma população com a intenção de prover informações sobre ela.

Um subgrupo racional é constituído por itens produzidos quase no mesmo instante. Caso haja alguma perturbação no processo (uma alteração na média, por exemplo), dificilmente ela ocorrerá durante a formação do subgrupo. Com os subgrupos racionais, minimiza-se a probabilidade de que a amostra seja formada por elementos de diferentes populações. Por exemplo, em vez de se coletarem 100 peças de uma só vez do processo, retiram-se amostras (subgrupos) de 5 peças, distanciados no tempo (COSTA et al, 2004).

De acordo com Kume (1993), ao coletar amostras de uma determinada produção originada de várias máquinas iguais, deve-se extrair amostras individualmente de cada máquina ao invés de um único conjunto representando todas as máquinas. Além disso, é importante ressaltar que o registro e a identificação desses subgrupos sejam feitos na ordem cronológica de sua obtenção.

Acredita-se, então, que na definição do tamanho do subgrupo (n) é necessária a busca pelo equilíbrio entre o tempo de coleta, o custo de inspeção e uma boa sensibilidade dos gráficos. Embora não existam fórmulas prontas para determinar o tamanho e a frequência de coleta, em geral adota-se o seguinte critério (JURAN, 1991):

a) *Amostra grande - baixa frequência*: sub-grupos grandes oferecem um menor desvio-padrão da distribuição das médias, limites de controle 3σ mais rígidos e maior sensibilidade no gráfico para \bar{X} . Este tipo de amostragem é muito comum em processos com baixa taxa de produção. Existe um consenso geral em se definir um subgrupo como grande se $n \geq 10$;

b) *Amostra pequena/moderada - alta frequência*: amostras pequenas predominam na maioria das indústrias que têm alta taxa de produção, sobretudo quando as não-conformidades representam grandes perdas financeiras. Desta forma, estando o processo sob controle, é provável que, durante o período entre as amostras, não sejam produzidos muitos itens não-conformes. O tamanho destes subgrupos normalmente varia de $n=4$ a $n=6$;

c) *Amostras de $n=1$ (individual)*: de utilização frequente quando a avaliação da característica é do tipo destrutiva (muito dispendiosa) ou de processos cujo um único dado já é suficientemente representativo (processos químicos, por exemplo).

Juran (1991) complementa que não é necessário que os dados sejam coletados em intervalos de tempo precisos. No entanto, a frequência das amostras deve ser definida levando em conta seu tamanho, de modo que permita um tempo de resposta rápido para a análise dos dados e atuação no processo.

4. Processo de saturação de papel

O processo de saturação de papel, foco deste trabalho, pode ser entendido por meio de suas etapas sequenciais (Figura 2):

a) **Desbobinamento**: nesta etapa o papel em bobina (matéria-prima 1 ou MP1) é desbobinado e tensionado de modo a receber no próximo estágio a resina;

- b) **Primeiro Banho:** neste estágio o papel é imerso em resina aditivada (MP2) de modo a retirar todo o ar retido (interno ao papel) e saturar (molhar completamente as fibras) para seguir ao próximo estágio;
- c) **Secagem:** nesta etapa o papel é conduzido através de sistema de insuflação de ar quente para que a água da resina se evapore até um nível pré-determinado;
- d) **Coating:** nesta etapa, o papel já saturado recebe uma camada de resina também aditivada (MP3) em ambas as superfícies que pode ou não ser igual ao primeiro banho. Esta etapa tem como função a geração de uma superfície regular com quantidade adequada de resina que irá fornecer as características ideais ao produto;
- e) **Secagem:** similar à etapa c);
- f) **Resfriamento:** o resfriamento é efetuado através de rolo com canais internos de água gelada que efetuam troca térmica com o papel impregado;
- g) **Corte:** nesta etapa o produto é cortado no tamanho em que o cliente solicita, geralmente em chapas retangulares de diversos tamanhos.

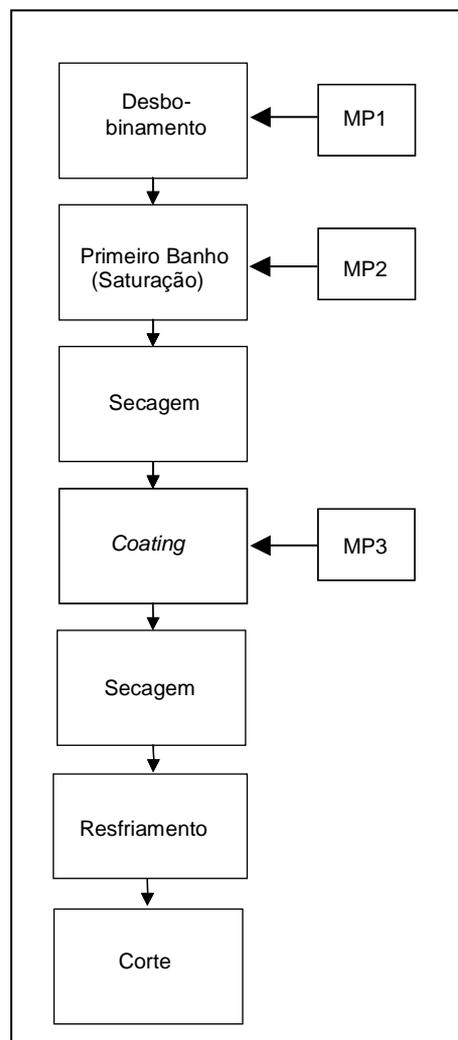


FIGURA 2 - Fluxograma do processo de saturação do papel

5. Gráficos de controle para processo de saturação de papel

O principal controle a ser realizado em processos de saturação de papel se dá com relação à variável “gramatura”, ou seja, quantidade de massa do produto final por metro quadrado

(g/m^2). Em geral, uma quantidade de massa abaixo do especificado significa pouca resina adicionada ao papel, o que certamente impacta negativamente na qualidade do produto. Outros controles são realizados, porém, podem seguir a mesma lógica metodológica do controle de gramatura.

Processos de produção em rede produzem irregularidades longitudinais e transversais na espessura produto. Espessuras irregulares implicam em gramaturas irregulares. Essas irregularidades são resultados da ação de causas (especiais) tais como cilindros imperfeitos (cônicos), secagem irregular, velocidade de avanço incorreta ou variável, não-uniformidade na aplicação da resina, matérias-primas fora de especificação, entre outros. As irregularidades longitudinais são observadas “ao longo” do produto. Fixando-se uma posição, por exemplo, a posição central do rolo, conforme se avança pela bobina longitudinalmente, constata-se que a espessura não é constante. Já as irregularidades transversais podem ser observadas pela Figura 3, que ilustra um corte transversal no papel saturado de resina. Neste exemplo simplificado, observa-se a ocorrência de espessuras variáveis no corte transversal.

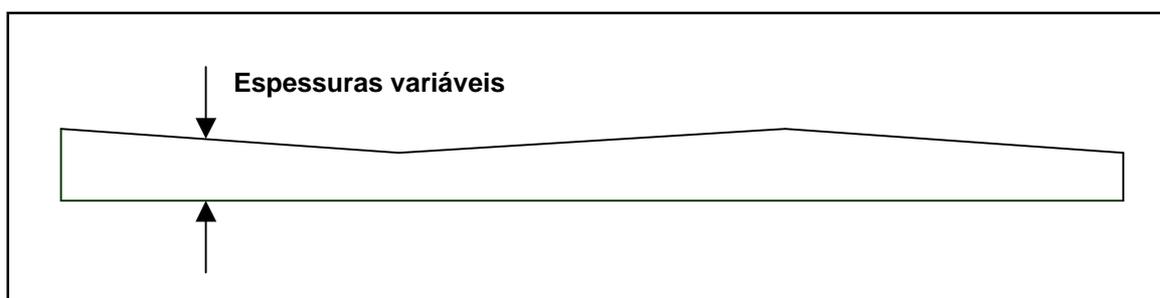


FIGURA 3 – Representação de um corte transversal do papel impregnado com resina

Segundo Frost (2005), apesar de muitos produtores/usuários de produtos em bobinas terem se atentados para a implementação de CEP nas suas áreas de produção, poucos têm obtido sucesso. As razões para isso centram-se na falha ao assumir a estatística básica no cálculo da capacidade do processo e no uso dos gráficos de controle de Shewart. Para utilizar-se destas ferramentas assume-se, entre outras coisas, que os subgrupos de amostras são racionais.

Comumente, os fabricantes de papel impregnado em resina utilizam gráficos de controle \bar{X} e R, realizando uma amostragem do processo da seguinte maneira: retiram-se 25 pedaços (tiras) da parte final de 25 bobinas fabricadas durante um dia e realizam-se três ou quatro medições de gramatura ao longo de cada tira (de um lado ao outro de cada tira cortada). Esta prática, no entanto, não é estatisticamente aceitável. Conforme Frost (2005), estas amostras (subgrupos) são representativas apenas da variabilidade observada de um lado ao outro das tiras cortadas. As amostras não representam subgrupos racionais, pois as amostras retiradas em diferentes posições transversais dos rolos fabricados não representam uma única população estatística, mas sim, várias populações. Subgrupos racionais devem vir de única e normalmente distribuída população produzida durante o tempo.

Para demonstrar o perigo do uso de gráficos \bar{X} e R, Frost (2005) faz uma demonstração fictícia, apresentada na Figura 4. A figura demonstra a variação de \bar{X} no tempo, sendo que os vários pontos fora dos limites de especificação levam à conclusão que o processo está fora de controle.

Na seqüência, a Figura 5 demonstra os limites individuais quando calculados separadamente.

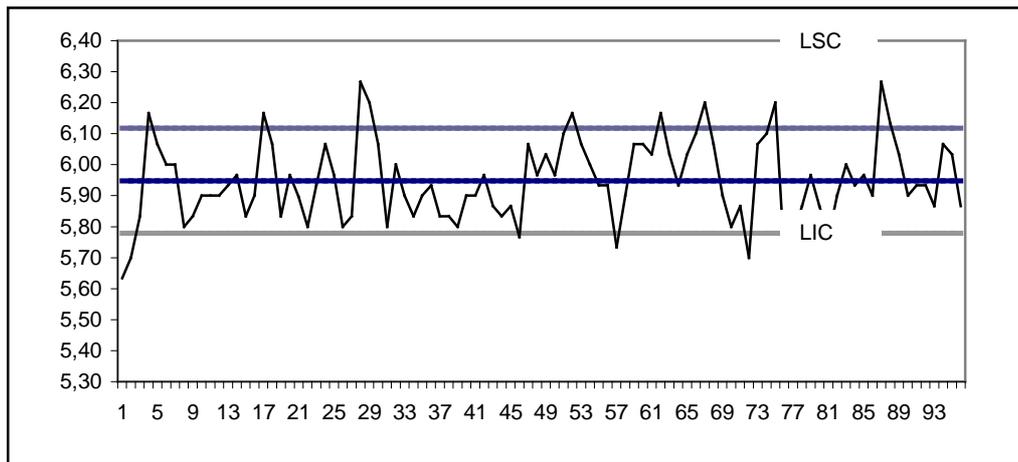


FIGURA 4 - Exemplo em que foi utilizada a média das médias como base para a avaliação gráfica
 Fonte: Adaptado de Frost (2005, p.3).

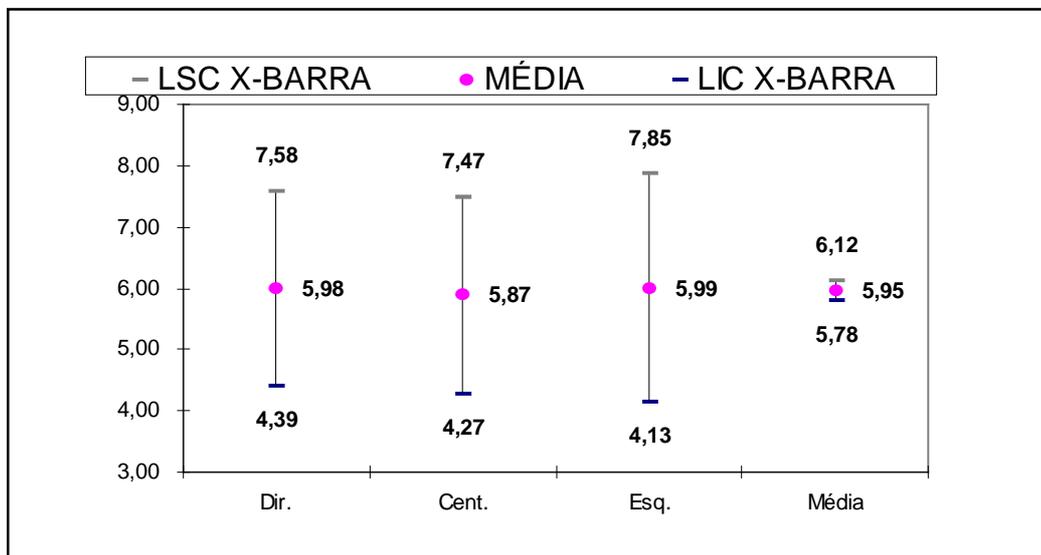


FIGURA 5 – Diferença nos limites de especificações
 Fonte: Construído com base nos dados de Frost (2005).

Conclui-se, então, que a utilização de gráficos de controle para um sistema de produção de bobinas quase sempre irá resultar em conclusões errôneas que irão impactar no entendimento e na minimização da variação na produção. Desta maneira, operadores devem ser treinados para usar as ferramentas estatísticas designadas para este tipo de processo, promovendo, assim, o máximo benefício para os processos monitorados por cartas de controle (FROST, 2005).

Para tentar minimizar os efeitos negativos mencionados, a seguir são sugeridas algumas mudanças na forma como os dados são coletados e na forma como os gráficos de controle são calculados.

5.1. Propostas de Aprimoramento do Controle para processo de produção em rede - saturação de papel

Coleta dos Dados: a manutenção da individualidade dos dados é de suma importância para o controle do processo em questão devido às variações individuais deste tipo de

processo. Conforme ilustrado pela Figura 6, sugere-se que a coleta de amostras e sua análise sejam feitas de forma individual entre "direita", "centro" e "esquerda". O valor obtido da análise dos dados poderá ser considerado já como valor de \bar{X} tanto para a "Quantidade de Resina" quanto para os "Materiais Voláteis". A amostragem seria efetuada nos sentidos longitudinal e transversal do papel. Assim, a produção contínua ocorre no sentido longitudinal e a coleta deve ser efetuada no sentido transversal na direita, centro e esquerda.

Gráficos de Controle: Os dados de cada parte (centro, direita e esquerda) serão calculados individualmente para geração dos valores de \bar{X} . Já os valores de R serão calculados a partir da avaliação a cada três medições para identificação de tendências de amplitude.

Limites de Controle: até que se consiga reduzir as variações do processo ao limite das variações naturais, pode-se utilizar os limites ideais do processo, conhecidos de outras unidades. No entanto, estes limites deverão ser revisados para as situações atuais de controle, eliminando-se as variáveis não naturais.

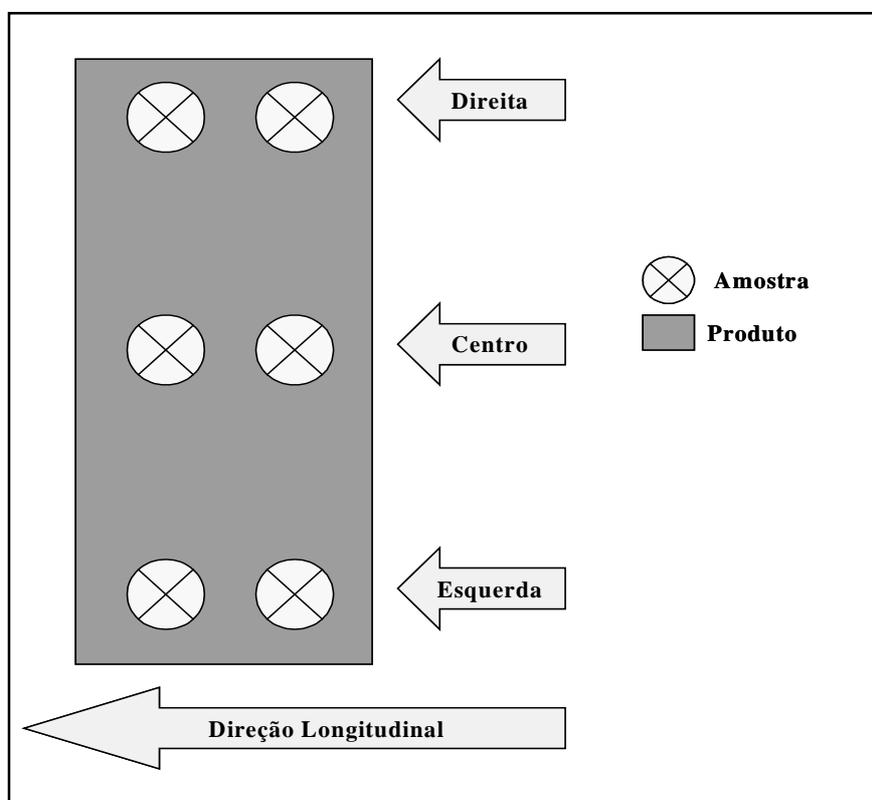


FIGURA 6 - Vista superior do papel e forma de amostragem sugerida

6. Considerações finais

Como discutido, em processos de produção ditos "em rede" é essencial que se respeite a individualidade dos dados, tratando-os de forma separada conforme sugerido no tópico anterior já que, caso contrário, poderá ocorrer inconsistências quando da avaliação do processo.

As propostas apresentadas neste artigo puderam ser aplicadas, ainda que de forma incipiente, no processo de produção em rede de saturação de papel. O estudo se deu em uma empresa localizada na cidade Curitiba/PR, produtora de papel decorativo destinado à indústria moveleira.

Com as mudanças introduzidas verificou-se nos gráficos de controle diversas alterações nos valores do processo, ou ainda diversos pontos na seqüência em um dos lados da média de controle. Das variáveis analisadas, pode-se dizer que o percentual de Materiais Voláteis foi o mais preocupante. Neste caso, baseado nos gráficos de controle obtidos, observou-se, além de variações diversas dos dados, que muitos resultados ficaram fora da faixa de limite estipulado. Isso demonstra que ainda existem diferentes variáveis do processo que precisam ser atacadas para que se possa considerar o processo sob controle.

Os operadores da linha deram retorno bastante positivo às alterações sugeridas em relação à forma anterior de controle, sinalizando que houve uma maior facilidade de acompanhamento dos resultados e maior facilidade para atuar no processo.

Este trabalho pretende avançar na aplicação prática das sugestões apresentadas, realizando um trabalho metodologicamente controlado, afim de melhor avaliar as repercussões das sugestões apresentadas.

7. Referências Bibliográficas

- BONATO, R. G. **Qualidade operacional da fenação**: análise do processo de produção. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
- COSTA, A. F. B., EPPRECHT, E. K., CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2005.
- CRAIG, D. J. Stop depending on inspection. **Quality Progress**, v. 37, p.39-44, July 2004.
- DEMING, W. E. **Qualidade a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- FROST, P. J. Smart Converting: SPC for Webs. **Paper, Film & Foil Converter**, v. 79, n. 2, p. 22-24, fev. 2005.
- GALUCH, L. **Modelo para Implementação das Ferramentas Básicas do Controle Estatístico de Processo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- JURAN, J. M. **Controle da Qualidade: Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade**. 4 ed. São Paulo: Makron, 1991.
- KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Editora Gente, 1993.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 3rd ed. New York: JW, 1997.
- SHEWHART, W. A. **Economic control of quality of manufactured products**. São Paulo: ASQPR, 1986.
- SIQUEIRA, L. G. P. et al. **Controle Estatístico do Processo**. São Paulo: Pioneira, 1997.
- SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- WERKEMA, M. C. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. v. 2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.