

## **Variabilidade do processo de fabricação de filmes plásticos flexíveis: um estudo de caso**

**Luis Felipe Dias Lopes (UFSM) phil.zaz@zaz.com.br**  
**Andreia Zanella (UFSM) andreia\_zanella@yahoo.com.br**  
**Fabricio Costa de Oliveira (UFSM) fcoliveira@infoway.com.br**  
**Jiane Toller da Rocha (UFSM) jianetoller@bol.com.br**

### **Resumo**

*O presente artigo tem como base o processo produtivo de uma micro-empresa fabricante de embalagens em filmes plásticos flexíveis, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul. Para contribuir na melhoria do processo, foi analisado o microfluxo do processo de extrusão, onde foi constatada uma oportunidade de melhoria em relação à variabilidade de espessura dos filmes plásticos. Foi usado fluxograma como técnica de representação gráfica e para constatar essa possível variabilidade e verificar se o processo está atuando sob controle, usou-se gráficos de controle para média do processo ( $\bar{X}$ ). Os resultados mostraram a existência de uma significativa variabilidade na espessura dos filmes. Procurou-se verificar as causas dessa variabilidade e o quanto esta é percebida pelo cliente através de um questionário de satisfação. A partir disso, pesquisou-se alternativas para eliminá-la, sugerindo a utilização de um equipamento específico que poderá controlar a espessura do produto, através do processo de gravimetria, que controla o peso linear do produto extrusado, melhorando significativamente o processo e a qualidade dos produtos. Palavras Chaves: Filmes plásticos flexíveis, Gráficos de controle; Extrusão.*

### **1. Introdução**

As exigências que o mercado consumidor estabelece sobre produtos e serviços vem crescendo constantemente. No momento atual, as empresas devem estar aptas para concorrer e preparadas para enfrentar as imposições do mercado. Este mercado está exigindo cada vez mais das micro e pequenas empresas que muitas vezes encontram dificuldades financeiras e estruturais para acompanhar as evoluções tecnológicas e exigências dos consumidores. Cada vez mais vê-se a necessidade de um trabalho eficiente, de qualidade e que busque aperfeiçoamentos no processo produtivo, oportunizando desta forma, um melhor posicionamento da empresa diante do mercado.

A indústria de embalagens plásticas, em especial as de plásticos flexíveis, começa a dar sinais de modernidade, introduzindo, em algumas empresas, técnicas modernas de gestão da qualidade, provavelmente motivadas por clientes mais exigentes.

A sobrevivência das empresas, hoje em dia, está ligada diretamente com a satisfação dos clientes, por isso um dos fatores chaves para as empresas fidelizarem seus clientes é possuir um produto em conformidade com as exigências e necessidades dos mesmos. Porém, mesmo possuindo um produto de qualidade, leva-se tempo até construir um vínculo maior com o cliente. Costuma-se dizer que a satisfação pode ser obtida em uma só transação, mas a fidelização só se conquista em longo prazo.

O presente trabalho tem por objetivo contribuir para a melhoria do processo produtivo de uma micro-empresa fabricante de embalagens em filmes plásticos flexíveis, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, buscando a redução da variabilidade da espessura de seus produtos.

Como qualidade de produtos e serviços é fator fundamental para competitividade nas empresas, objetiva-se identificar até que ponto a instabilidade no processo produtivo está sendo percebida pelos clientes.

A variação existente na espessura dos filmes gera alterações na qualidade do produto, como também variação do custo de fabricação dos mesmos. Para que se consiga reduzir estas não-conformidades, será realizado um estudo por meio da mensuração da variabilidade da espessura do filme plástico, buscando analisar a possibilidade de investimento em um equipamento de gravimetria (controle gravimétrico para extrusão) que monitore constantemente a espessura, gerando, desta forma significativos retornos em termos de qualidade e custos na fabricação, proporcionando assim, uma maior garantia de qualidade no processo produtivo da empresa. Justifica-se, desta forma, a elaboração do presente estudo.

## **2. Metodologia**

Inicialmente, foram feitas pesquisas bibliográficas sobre o assunto. Em seguida, foi utilizado o fluxograma como técnica de representação gráfica do processo produtivo, detalhando o microfluxo do processo de extrusão, onde foi constatada uma oportunidade de melhoria em relação à variabilidade de espessura dos filmes plásticos.

Para constatar essa possível variabilidade e verificar se o processo está atuando sob controle, usou-se gráficos de controle para média do processo. Foi tomado um lote específico de um dos produtos da empresa (lâmina termo-contrátil), sendo medido o peso (g), largura (cm) e comprimento (cm) de cada unidade da amostra, para, posteriormente, utilizando a densidade da matéria-prima (polietileno), calcular a espessura do filme que é expressa em micra ( $\mu$ ).

Para a avaliação da percepção do cliente foi elaborado e aplicado um questionário de pesquisa de satisfação de cliente, com cinco opções de respostas conforme escala Likert.

Foram distribuídos setenta e seis questionários, que representam o número total de clientes da micro-empresa, obtendo-se o retorno de cinquenta e um deles. Após a análise dos questionários, optou-se pelo descarte de seis, por apresentarem respostas tendenciosas, que poderiam comprometer a correta interpretação dos resultados, sendo utilizado para a elaboração do estudo, quarenta e quatro questionários do total distribuído.

Por meio do questionário buscou-se identificar a percepção dos clientes quanto à variabilidade encontrada na espessura dos filmes plásticos flexíveis.

Utilizou-se o *software estatística 5.0* como ferramenta de análise de dados. A partir dos resultados foram pesquisadas formas para solucionar o problema e sugeridos alguns procedimentos para melhoria do processo produtivo.

## **3. Processo produtivo de filmes plásticos flexíveis**

O conjunto de atividades realizadas nas empresas faz parte de algum processo de negócio, sendo que, devem ser desenvolvidas de forma mais rápida e a um custo mais baixo e os resultados ser projetados tendo em vista o cliente, de forma que ofereça maior valor agregado (HAMMER, 2002). Para produzir bens e serviços com baixo custo e que tenham valor e qualidade agregados, as empresas precisam trabalhar dentro de processos organizados (CRUZ, 2003). Modelar e analisar os processos empresariais proporciona à organização melhorias na eficiência e qualidade do trabalho.

A iniciativa de promover a melhoria de processos deve partir da alta administração da empresa, sendo seu comprometimento e envolvimento fundamentais para o resultado esperado. O sucesso de um programa de melhoria implantado em uma organização depende de seus líderes (ECKES, 2003), e a observação de um constante equilíbrio entre o processo, as pessoas e a tecnologia da informação, tendo como foco produzir bens e serviços que são a necessidade e o desejo dos clientes (CRUZ, 2003).

A indústria de transformação de material plástico vem passando por grandes transformações nos últimos anos. Segundo dados da ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), houve, no ano de 2004, um aumento de 11,07% no consumo de produtos do segmento, chegando a uma participação de 2,26% no PIB nacional.

A produção de filmes flexíveis é feita através do processo de extrusão, que consiste na transformação da matéria prima (resina de polímeros granulada) em filme plano, enrolado em bobinas.

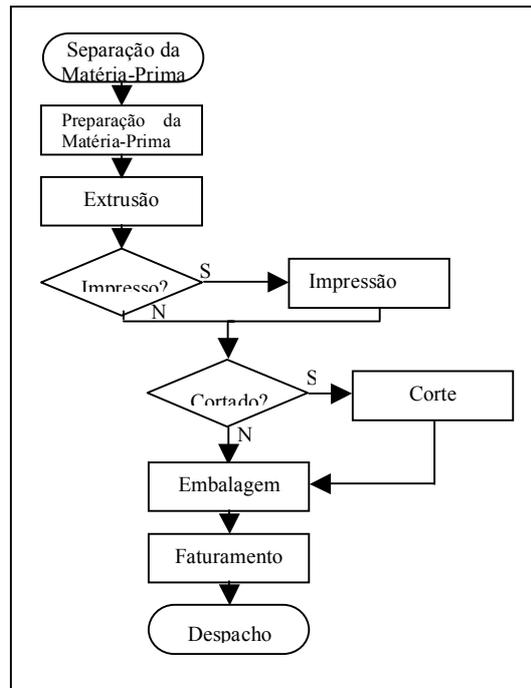


Figura 1 – Fluxograma básico de operação de indústria de filmes plásticos flexíveis.

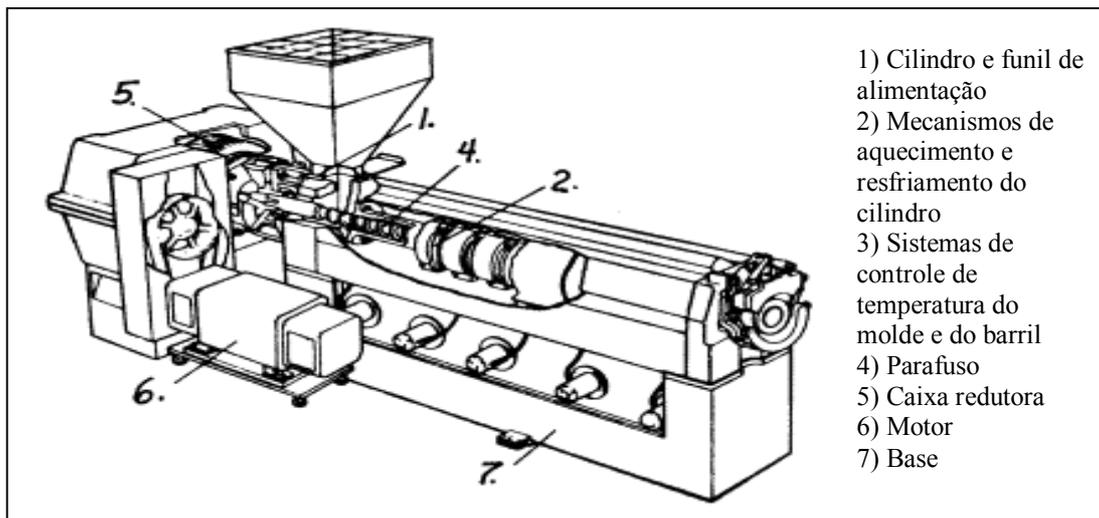
Conforme demonstra a figura 1, o fluxo produtivo de uma indústria de embalagens em filmes plásticos flexíveis é relativamente simples: O processo inicia com a separação e preparação (mistura) da matéria-prima, passando pela extrusão, podendo ser entregue em bobina simples, bobina impressa, ou cortado nas mais diversas dimensões.

Ao analisar-se o processo, nota-se que as maiores oportunidades de melhoria se dão em relação à etapa de extrusão, onde pode ocorrer uma variação tanto da espessura como da largura do filme.

Basicamente, o processo de extrusão inicia com a mistura do polietileno, que pode se dar em diversas proporções, dependendo do tipo de material a ser produzido. Após o tempo de mistura, o material é despejado no funil da extrusora que dá acesso ao canhão. O canhão possui um parafuso ou rosca, também chamado de fuso, que tem por objetivo movimentar o polietileno para o interior do canhão em temperaturas que variam de 100°C a 250°C. Esta temperatura é suficiente para derreter os grãos de polietileno e transformá-los numa massa homogênea. Essa massa é pressionada em uma matriz com abertura milimétrica e soprada em forma de balão para fora da extrusora. Finalmente, este balão é fechado através de um rolo de tração e enrolado em forma de bobina na saída da máquina. Antes de passar pela matriz, a massa de polietileno passa por uma tela, espécie de filtro, que faz a retenção de possíveis impurezas contidas na matéria-prima. Toda extrusora de um parafuso possui os componentes visualizados na figura 2.

Um dos maiores problemas do processo de extrusão de filmes plásticos planos é o controle da espessura que geralmente é feito através da regulagem da velocidade do rolo de tração, combinado com outros fatores (por exemplo: vento para resfriamento da massa na saída da extrusora, alinhamento da matriz e densidade do polietileno). É considerada normal uma variação de espessura entre diversos pontos de um mesmo filme, entretanto, ainda não existe uma normatização da variação de espessura aceitável.

Até bem pouco tempo, principalmente no Brasil, a clientela de filmes plásticos planos não estava totalmente preocupada com qualidade. Hoje, muitos empresários começam a perceber, por exemplo, quanto perdem ao adquirir bobinas para embalagens plásticas com grandes variações de espessura. Obviamente, esta não-conformidade implica em perda de produtividade no processo de envase dos produtos, isto porque, quanto maior a espessura, menos embalagens serão utilizadas, já que, geralmente, os produtos são negociados por peso.



Fonte: <http://www.dow.com/polyolefins>

Figura 2 – Extrusora e seus componentes.

Para se entender as possíveis causas desta variação, é necessário um pequeno aprofundamento na teoria do processo de extrusão: Na saída da rosca, antes de chegar na matriz da extrusora, a massa homogênea de plástico passa por uma tela que funciona como uma espécie de filtro para reter as impurezas. Em seguida, passa pela matriz, formando um balão onde é injetado ar comprimido na parte interna para controlar o diâmetro do mesmo e um vento para resfriamento da massa na parte externa. O balão é fechado em um rolo de tração, formando o filme que, logo após, é enrolado em forma de bobina.

A espessura do filme é controlada pela velocidade do rolo de tração, pois, geralmente, o motor funciona em uma velocidade constante, enviando uma certa quantidade de massa para a matriz. Essa massa é puxada pelo rolo de tração, onde, quanto maior a velocidade, menor é a espessura do filme. A tendência de variabilidade na espessura se dá, em geral, pelo entupimento ou perfuração da tela de filtragem. Quando ocorre o entupimento, passa menos massa para a matriz e, como o rolo de tração mantém a mesma velocidade, a espessura diminui. O inverso acontece quando ocorre uma perfuração da tela, pois será enviada uma quantidade maior de massa para o rolo de tração, deixando uma espessura maior.

Se o operador tivesse como monitorar constantemente a saída de massa da matriz, seria muito mais fácil para que fizesse os ajustes necessários na velocidade do rolo de tração, porém, com a máquina em funcionamento, existem duas formas de verificar a espessura do filme. A primeira é a utilização de um micrômetro, fato que pode dar uma ilusão se a espessura estiver correta nas extremidades, onde o aparelho alcança. Outra maneira, seria a interrupção do

filme, periodicamente, retirando uma amostra para que seja pesada e medida e, através de uma fórmula específica, calculada a espessura. A última alternativa gera grande desperdício de material, não só na etapa da extrusão como também na etapa do corte.

#### **4. Custo da não qualidade**

Com a busca de oferecer suporte às ações de melhoria e para medir a qualidade das empresas, surgiram os primeiros conceitos de custos da qualidade. O primeiro deles foi dado por Juran *apud* Campos (1996), que são os custos que não deveriam existir se o produto fosse fabricado perfeitamente logo da primeira vez, ou seja, se não houvesse falhas de produção, que levam ao retrabalho, desperdícios e perdas da produtividade.

Para Juran & Gryna, *apud* Alves (2001), a mensuração dos custos da qualidade é vista pelos administradores como a forma de se atender a vários objetivos, dentre as quais se destacam:

- conhecer na realidade o quanto a empresa está perdendo pela falta de qualidade;
- aumentar a produtividade através da qualidade;
- avaliar os programas de qualidade por intermédio de quantificações físicas e monetárias;
- revelar o impacto financeiro das decisões de melhoria;
- identificar as oportunidades para diminuir a insatisfação dos clientes; e
- identificar as principais oportunidades para a redução dos custos.

Já Crosby (1999), define qualidade como sendo o “cumprimento de requisitos”. Ou seja, deve-se planejar o que se quer produzir e a forma de fazê-lo e, em seguida, adotar as medidas necessárias para que isso aconteça. Quando algo não ocorre como planejado, faz-se necessário um reparo ou retrabalho, envolvendo custos adicionais que não eram parte do plano. Crosby decidiu chamar de “Preço do Não-Cumprimento” (PNC).

O importante é analisar o quanto poderia ser economizado se houvessem medidas preventivas para garantir a qualidade, isto, sem falar em custos de difícil mensuração financeira, como a perda de clientes ou de credibilidade no mercado, associado à falta de padronização ou baixa qualidade de um produto ou serviço.

#### **5. Estudo da variabilidade do processo**

Ao utilizar ferramentas de controle uma organização obterá informações sobre a natureza das variações e seus possíveis reflexos na qualidade dos produtos ou serviços. Isto possibilitará uma tomada de decisão consistente, baseada em dados reais do processo produtivo (WAGNER & ROSA, 2003).

Para administrar um processo e reduzir sua variabilidade, deve-se agir diretamente na sua origem. Essas variações podem ocorrer por causas comuns que são inerentes ao processo, pertencendo a sua natureza ou por causas especiais que são passíveis de correção e não estão presentes no processo todo o tempo, por isso não afetam todos os produtos. Desta forma, torna-se fundamental a identificação das causas especiais de variação que alteram o processo e conseqüentemente prejudicam a qualidade do produto (LIUKKONEN & TUOMINEN, 2003).

Os gráficos de controle consistem em uma das técnicas mais usadas para monitorar o processo produtivo, pois fornecem informações baseadas em dados coletados sobre um dado processo, são usados para salientar a ocorrência de causas especiais, de modo que possam ser investigadas e eliminadas.

Esta técnica tem como objetivo auxiliar na melhoria contínua do processo produtivo, pode ser aplicada para obter conhecimento de informações da produção e transformar isto em declarações significantes (MURPHY, 2005), permitindo determinar a aptidão do processo e indicando quando é necessário atuar sobre ele, além disso, permite a redução de custos ligados à produção e mostra se o processo sofre alterações constantemente e se estas alterações afetam a qualidade do produto.

Segundo Casarin, Lírío & Souza (2002), para a construção do gráfico de controle deve-se definir primeiramente o tamanho da amostra a ser considerada e o método de amostragem, se instantâneo ou periódico. A partir disso procede-se a coleta dos dados e a determinação dos limites de controle, utilizando as seguintes fórmulas:

Para o presente estudo foram utilizados os gráficos de controle por variáveis, pois o característico analisado é mensurável. A construção dos gráficos de controle para  $\bar{X}$  (média do processo) e a determinação dos limites de controle permitem observar a variabilidade do processo. A maioria dos processos quando analisadas pela primeira vez apresentam-se fora de controle, para isso utiliza-se a técnica de descarte dos pontos fora de controle e procede-se novamente com o cálculo dos limites de controle revisados (Casarin, Lírío & Souza, 2002).

## 6. Resultados e Discussões

Para a construção do gráfico de controle  $\bar{X}$ , foram calculados os limites inferior e superior de controle (LIC e LSC), os quais apresentaram valores:  $0,00562\mu$  e  $0,00577\mu$ , respectivamente, considerando 3 sigmas para cada lado do limite central. Por meio da análise do gráfico de controle, conforme figura 3, pode-se observar a falta de controle no processo, visto que, dos 170 subgrupos, 147 apresentaram-se fora dos limites de controle, o que evidencia que causas especiais de variação estão agindo sobre o processo.

Os limites de controle devem ser fixados mais justos do que os limites de especificação de modo a garantir a conformidade dos produtos. Considerando que esta é a primeira vez que o processo é analisado por meio de gráficos de controle, não havia nenhum registro anterior de cálculos de LIC e LSC. Para estabelecer limites de controle para inspeções futuras, seria necessário identificar e eliminar as causas que fizeram o processo apresentar tamanha variabilidade e após, coletar mais uma amostra, porém, pela quantidade de pontos apresentados fora de controle, torna-se inviável a eliminação destes pontos para cálculo dos limites revisados.

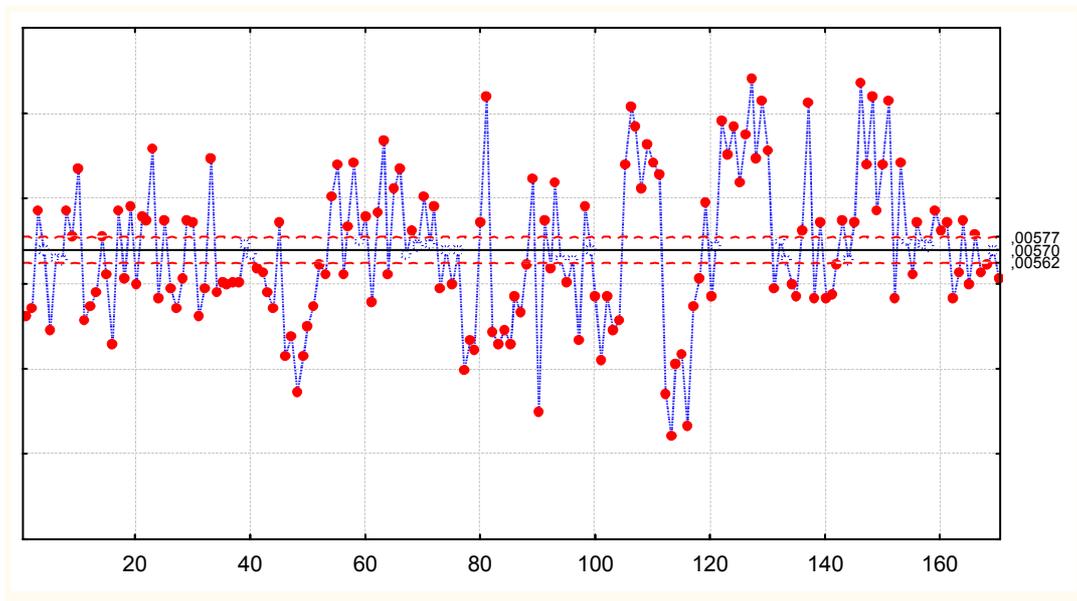


Figura 3. – Gráfico de Controle para  $\bar{X}$ , utilizando os limites de controle calculados considerando 3 sigmas limite para cada lado da média

Devido a grande variabilidade que os dados apresentaram em relação aos limites de controle, vê-se a necessidade de analisar a dispersão dos dados em relação aos limites inferior e superior de especificação do produto (LIE e LSE), que são estabelecidos em  $0,00543 \mu\text{m}$  e  $0,00604 \mu\text{m}$  respectivamente.

O comportamento do processo pode ser observado por meio da figura 4, que apresenta menos pontos fora de controle, se comparado com a figura 3, mas não o bastante para considerarmos o processo capaz, pois dos 170 subgrupos, 74 apresentaram descontrole em relação aos limites de especificação do produto.

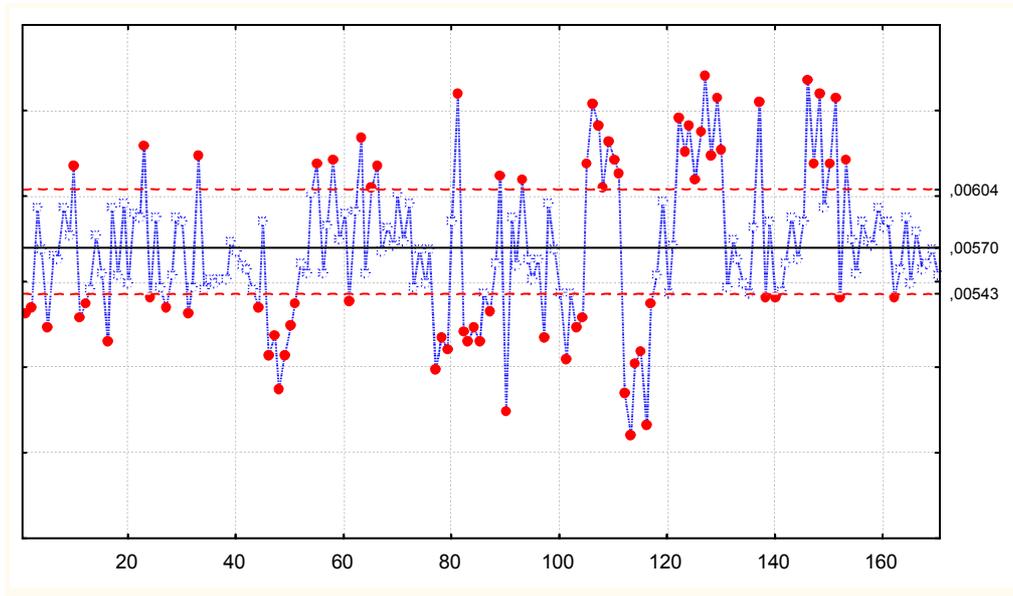


Figura 4. – Gráfico de Controle para  $\bar{X}$ , utilizando os limites de especificação do produto

Pode-se perceber que a variabilidade do processo não está gerando prejuízos financeiros imediatos a empresa, visto que a espessura dos filmes plásticos está apresentando aproximadamente a mesma variabilidade para mais e para menos em torno da média. Apesar da perda financeira não ser muito significativa no momento, a variabilidade da espessura do produto interfere diretamente na qualidade dos filmes, o que pode comprometer a satisfação do cliente, e como consequência provocar perdas financeiras pelo custo da não qualidade.

Visando identificar a percepção, pelo cliente, da variação da espessura dos filmes plásticos, aplicou-se um questionário, utilizando a escala de Likert, com cinco opções de resposta, variando de “Muito Insatisfeito” para “Muito Satisfeito”, conforme resultados apresentados na Tabela 01.

Questão	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	Média	Desvio Padrão
Confiabilidade do produto	0	0	6,82	70,45	22,73	4,16	0,53
Entrega do produto dentro das especificações solicitadas	0	0	15,91	61,36	22,73	4,07	0,62
Estabilidade do padrão de qualidade do produto	0	4,55	27,27	40,91	27,27	3,91	0,86
Ocorrência de falta de qualidade nas embalagens plásticas	0	6,82	20,45	50,00	22,73	3,89	0,84

Tabela 01 – Satisfação do cliente em relação ao produto.

Observa-se que os maiores índices de satisfação apresentam-se quanto à confiabilidade do produto e a entrega do produto dentro das especificações, pois apresentaram maior percentual de respostas para a opção “satisfeito”, com médias altas e baixo desvio padrão, não apresentando nenhuma resposta para a opção “insatisfeito”. Percebe-se que quanto à estabilidade do padrão de qualidade do produto e a ocorrência de falta de qualidade, o cliente apresenta menores níveis de satisfação, com médias inferiores e desvio padrão superior, ao comparar com as questões anteriores, havendo mesmo que pequeno, um percentual de clientes que se mostram insatisfeitos quanto a estas duas questões.

## **7. Conclusão**

Por meio da análise dos gráficos de controle, pode-se perceber que o processo apresenta significativa variabilidade na espessura dos filmes plásticos. A partir disso, vê-se a necessidade de uma interferência no processo produtivo de modo que as causas especiais assinaladas sejam eliminadas, tornando o produto em conformidade com as especificações.

Pôde-se verificar que uma das principais causas da variabilidade no processo de extrusão de filmes plásticos flexíveis, no caso da empresa em estudo, é um possível rompimento ou entupimento da tela de filtragem do material, situada antes da matriz da extrusora, pois o rolo de tração que puxa o filme mantém sua rotação constante e o fuso da extrusora passa a liberar maior ou menor quantidade de matéria-prima para a matriz.

Um dos maiores problemas constatados é referente a variabilidade na espessura do filme plástico, o qual está sendo produzido em não conformidade com as especificações, podendo, a médio ou longo prazo, trazer prejuízos financeiros causados pela insatisfação e perda de clientes. Em relação aos custos de fabricação, percebe-se que os dados apresentam-se normalmente distribuídos em relação à média do processo, por isso a empresa pode não estar identificando imediatos prejuízos financeiros.

Ao analisar a opinião do cliente, observa-se a existência de clientes que se mostram insatisfeitos com o padrão de qualidade dos produtos, sendo um indicativo de que existe uma necessidade de reduzir instabilidade do processo produtivo, visando a diminuição destes níveis de insatisfação e garantindo um padrão de qualidade superior ao apresentado.

A partir disso, buscou-se alternativas para reduzir as causas de variabilidade do processo. Por meio de pesquisa junto às demais empresas que atuam no mesmo setor, verificou-se a utilização de um equipamento específico que controla o peso linear do produto extrusado, através do processo gravimétrico, onde o operador programa o peso linear desejado. Este método de controle gravimétrico permite assegurar que o peso linear e a espessura do produto extrusado sejam insensíveis a variações da densidade aparente das matérias-primas, a variações da tensão da rede elétrica, a variações da velocidade de rotação do fuso ou da tração. Permite também uma melhoria nos processos posteriores a extrusão, como por exemplo, a soldabilidade do filme plástico.

Com o equipamento de gravimetria controla com precisão a entrada de matéria-prima no fuso e a velocidade real de tração, é possível comparar constantemente o peso linear do produto com o valor programado e corrigir as velocidades de forma que estes valores se aproximem.

Com a utilização deste equipamento será possível melhorar o processo produtivo, eliminando as causas especiais de variação que afetam significativamente a variabilidade da espessura do filme plástico. Isto possibilitará a fabricação de produtos com maior qualidade, redução de prejuízos financeiros, ampliação da faixa de mercado e conseqüentemente aumento da lucratividade.

## **Referências Bibliográficas**

ALVES, I. C. (2001) - Metodologia para apuração e controle de custos da qualidade ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- CAMPOS, L. M. S. (1996) - Um estudo para definição e identificação dos custos da qualidade ambiental Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CASARIN, V.A.; LÍRIO, G.W. & SOUZA, A.M. (2002) - Avaliação do processo de transformação da garrafa pet por meio do gráfico x-barra. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Curitiba-RS.
- CROSBY, P (2002) - A Qualidade e o Dinheiro. <http://www.philiprosby.com.br>. Acesso em: 15 maio 2005.
- CRUZ, T.(2003) - Sistemas, métodos & processos. São Paulo: Atlas.
- ECKES, G. (2001) - A revolução seis sigma. Rio de janeiro: Campus.
- HAMMER. M. (2002) - Quem tem medo de doutor Hammer? Rev. Exame.fev. p. 69 –71.
- LIUKKONEN, T. & TUOMINEN, A. (2003) - *Decreasing variation in paste printing using statistical process control. Microelectronics reliability.* Vol. 43, p.1157-1161.
- MURPHY, R.Y; OSAILIB T; BEARDB B.L.; MARCYC J.A & DUNCAN L.K. (2005) - *Application of statistical process control, sampling, and validation for producing Listeria monocytogenes-free chicken leg quarters processed in steam followed by impingement cooking. Food Microbiology.* Vol. 22, p. 47–52.
- SRIKAE0, K. & HOURIGAN, J. A.(2002) - *The use of statistical process control (SPC) to enhance the validation of critical control points (CCPs) in shell egg washing. Food Control,* Vol. 13, p.263–273.
- WAGNER, A. & ROSA, L.C. (2003) - Controle estatístico do processo na produção de farinha de trigo. In: II SIMPOCAL. Florianópolis.