

O Uso da Análise de Componentes Principais e dos Gráficos de Controle Estatístico de Processos Numa Indústria de Laticínios do Planalto Serrano de Santa Catarina

Autoria: Carlos Augusto C. Fontanini, Wesley Vieira da Silva, Luciana Santos Costa, Andréa Konrath

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar uma aplicação empírica com o uso da ferramenta de análise multivariada (Análise de Componentes Principais) e dos gráficos de controle estatístico de processos numa indústria de laticínios situada no Estado de Santa Catarina. A importância de tais ferramentas é poder proporcionar aos gestores do processo produtivo, a manutenção e melhoria nos níveis de qualidade dos produtos fabricados, refletindo na redução dos custos de produção. Para tanto, buscou-se alguns conceitos relacionados tanto ao setor alimentício como também das ferramentas utilizadas, descrevendo-se posteriormente o processo produtivo da empresa estudada e analisando-se numa fase posterior os resultados obtidos a partir da característica de qualidade selecionada: o envase do leite. Os resultados obtidos a partir da metodologia adotada mostraram que o processo que fora avaliado encontra-se fora de controle, necessitando que seja realizado um acompanhamento sistemático com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos processados a reduzir os seus custos de produção.

Palavras-Chave: Análise Multivariada, Processo de Produção de Leite, Gráficos de Controle.

1- INTRODUÇÃO

Tem-se percebido nas empresas uma nova interpretação do conceito de qualidade, onde a função técnica clássica de controle sobre o que já foi produzido vem sendo ampliada para uma visão de planejamento global da qualidade, abrangendo a análise de mercado, os aspectos organizacionais e a gestão de recursos humanos. A tendência observada hoje em dia é a de disseminar a importância do aperfeiçoamento contínuo da qualidade, não apenas para as operações relacionadas diretamente com o produto, mas englobando as atividades da empresa.

Nesse contexto, o controle estatístico de processos vem sendo adotado em diversas indústrias, sendo que o setor de alimentos no Brasil, ainda encontra-se com uma participação muito tímida na utilização de sistemas da qualidade. Esta ferramenta pode auxiliar as empresas no fornecimento de um produto em conformidade com os padrões exigidos por lei ou desenvolvidos para o consumidor, bem como na redução de custos associados às falhas ocorridas durante o processo produtivo. Além disso, o uso da análise multivariada pode ser uma ferramenta bastante importante no processo de tratamento dos dados, bem como no auxílio às interpretações dos problemas possivelmente apresentados.

A indústria de laticínios, até pouco tempo atrás, estava à margem de outras indústrias no que diz respeito a programas de qualidade. Em adição a isso, o fato de sempre existir, na sua grande maioria, funcionários da secretaria estadual ou federal na fiscalização das indústrias para controlar a qualidade do produto que estava em circulação nas prateleiras dos supermercados e padarias, passava-se a impressão ao consumidor de um produto de boa qualidade. Com a abertura do mercado brasileiro, alguns procedimentos anteriormente utilizados no âmbito empresarial tiveram que ser modificados visando competir com os

produtos importados que entravam no Brasil com menor preço e maior qualidade. Face ao exposto, este trabalho tem por objetivo utilizar a metodologia de análise multivariada, mais precisamente a Análise de Componentes Principais (ACP) e como uma ferramenta de uso preliminar para auxílio ao controle estatístico de processos procurando contribuir de alguma forma com a estabilidade no processo produtivo da indústria de laticínios localizada no Estado de Santa Catarina.

Esse trabalho encontra-se estruturado em quatro seções. A segunda seção traz uma breve revisão de literatura acerca da análise de componentes principais e sobre técnica de controle estatístico de processo. Na terceira seção encontram-se os resultados empíricos, e finalmente, a última seção, traz as considerações finais sobre o referido tema exposto.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1-A Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais é uma técnica multivariada que envolve a transformação linear de variáveis correlacionadas para não correlacionadas por meio de uma rotação ortogonal e é freqüentemente utilizada como um método exploratório em que os resultados baseados em uma, duas ou três variáveis transformadas são plotadas para investigar ou exibir a estrutura dos dados (Arnold e Collins, 1993).

A análise de componentes principais envolve a transformação linear de variáveis correlacionadas para não correlacionadas por meio de uma rotação ortogonal e é freqüentemente utilizada como um método exploratório em que os resultados baseados em uma, duas ou três variáveis transformadas são plotadas para investigar ou exibir a estrutura dos dados (Arnold e Collins, 1993).

Essa transformação linear pode ser chamada de componentes principais ou fatores, e são feitas de modo que sejam estatisticamente independentes entre si, ou seja, linearmente independentes (L.I.), contemplando uma maior parcela da variância contida nos dados.

O uso do método de componentes principais (ACP) é mais utilizado para diminuir a quantidade de variáveis, considerando apenas aquelas que possuem uma maior variância no conjunto de dados. As Componentes Principais (CPs) são combinações lineares de variáveis aleatórias, identificadas por X_i , $i = 1, 2, \dots, p$, com realizações designadas por $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$. As combinações são obtidas a partir da matriz de covariâncias, associadas às p variáveis aleatórias.

Sendo Σ a matriz de covariâncias, de dimensão $(p \times p)$, associada a matriz de variáveis aleatórias $\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_p]$. A dimensão de \mathbf{X} é $(n \times p)$, ou seja, dispõe-se de n observações de cada variável aleatória. O vetor \mathbf{x}_i denota uma linha qualquer de \mathbf{X} . Os p autovalores de Σ são designados por λ_i , $i = 1, 2, \dots, p$, e os p autovetores são designados por \mathbf{e}_i , $i = 1, \dots, p$, com elementos dados por (e_{i1}, \dots, e_{ip}) . Os autovalores e autovetores de uma matriz quadrada não-singular qualquer, são determinados através de sua equação característica; [ver Strang (1988), p. 246]. Associado a cada autovalor λ_i existe um autovetor \mathbf{e}_i . Assim, os pares $(\lambda_1, \mathbf{e}_1)$, $(\lambda_2, \mathbf{e}_2)$, ..., $(\lambda_p, \mathbf{e}_p)$ correspondem aos autovalores e autovetores de Σ , com autovalores arranjados tal que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$. Conforme [Seber (1984)] o $i^{\text{ésimo}}$ Componente Principal pode ser obtido pela seguinte expressão

$$Y_i = \mathbf{x}' \mathbf{e}_i = e_{i1} X_1 + e_{i2} X_2 + \dots + e_{ip} X_p \quad (1)$$

onde os elementos do autovetor e_i funcionam como pesos de importância de X_1, X_2, \dots, X_p na composição do $i^{\text{ésimo}}$ Componente Principal, e são denominados cargas do Componente Principal (CP).

Assim, os Componentes Principais obtidos a partir de variáveis aleatórias padronizadas, onde a magnitude da carga associada a uma variável descreve sua importância relativa na composição dos CPs. Sendo que o valor observado Y_i para um determinado vetor (x_1, \dots, x_p) de realizações de $(\overline{X_1}, \dots, \overline{X_p})$ é denominado de escore do CP. Sendo que cada CP apresenta n escores, correspondendo ao número total de realizações disponíveis de cada variável aleatória.

Portanto, cada CP descreve uma porção da variância total apresentada pelo conjunto das p variáveis aleatórias. Sendo que a diagonal de Σ apresenta os valores de variância associados a cada variável aleatória. Considerando que a variância total no conjunto de dados é dada pela soma dos elementos da diagonal principal de Σ , este valor é igual à soma dos autovalores. Logo, pode-se utilizar os autovalores de Σ para determinar quanto da variabilidade total presente no conjunto de dados está sendo descrita por cada CP. A proporção da variância total descrita pelo $i^{\text{ésimo}}$ é dada pela seguinte expressão:

$$CP = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + K + \lambda_p} \quad (2)$$

A partir da equação (2), pode-se definir o número de CPs a serem utilizados na representação do conjunto de dados originais, tal definição é qualitativa. Pode-se encontrar algumas regras auxiliares na definição do número de CPs que melhor representam o conjunto de dados em estudo que são apresentados em Rencher (1995, p.434).

Pode-se representar geometricamente os CPs, por um sistema de eixos ortogonais com origem posicionada na média de conjunto de dados. O primeiro CP segue a direção de maior variabilidade de dados. O segundo CP segue a segunda direção de maior variabilidade, ortogonal ao primeiro CP. Os demais CPs são posicionados no espaço p -dimensional seguindo a mesma lógica do primeiro e assim sucessivamente.

Portanto, na análise de componentes principais é necessário calcular e interpretar todos os valores próprios gerados, como os vetores próprios. Deve-se decidir quantos valores próprios serão considerados, quando alguém decidir por reduzir o conjunto de variáveis originais n a um novo conjunto de componentes principais n , sendo que o segundo conjunto será menor do que o primeiro. Deve-se tomar cuidado ao interpretar os vetores próprios, pois o método não é independente da escala de medição das variáveis originais.

Para decidir quantos componentes deve-se manter em uma situação particular, e examinar quantos componentes são necessários incluir para que a porcentagem de variação seja satisfatória. Para isso, recomenda-se fazer um gráfico onde se representa a porcentagem de variação explicada por cada componente nas ordenadas e dos componentes em ordem decrescente nas abscissas, considerando os componentes anteriores ao ponto de inflexão da curva: este critério tende a incluir um número elevado de componentes.

Outro critério para selecionar o número de componentes é o de *Kaiser* que consiste em incluir valores que sejam superiores a média. Se a matriz r for utilizada, incluir-se-ão os componentes cujos valores próprios sejam maiores que 1; este critério tende a incluir poucos componentes quando o número original de variáveis é inferior a vinte.

Normalmente, são utilizados aqueles componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70%; ou que o número de escolha dos componentes consiga atingir os propósitos do trabalho feito pelo pesquisador, sem o devido comprometimento dos

resultados. Diante do exposto, percebeu-se que nos dias de hoje onde os processos encontram-se cada vez mais interligados, existe uma necessidade salutar do uso da análise de componentes principais em processos industriais, cujo objetivo é poder facilitar no manuseio de diversas variáveis simultaneamente que serão posteriormente monitorados através dos gráficos de controle estatístico de processos que será o próximo assunto a ser abordado.

2.2- O Controle Estatístico de Processos (CEP)

O Controle Estatístico de Processos (CEP) ou gráficos de controle, vem sendo adotado em diversos setores da economia, seja no setor de serviços ou nas indústrias manufatureiras. Esta ferramenta pode auxiliar muitas organizações no fornecimento de produtos e serviços em conformidade com os padrões ou rotinas adotadas em empresas públicas e/ou privadas, visando satisfazer o consumidor final, bem como a redução de custos associados aos padrões de comportamento.

A ênfase para buscar melhorias da qualidade deve ser concentrada em melhoramentos permanentes, atitudes que, promovidas continuamente, permitam reconhecer os problemas, priorizar ações corretivas, implantá-las e dar seqüência à postura pró-ativa, agindo preventivamente.

Várias são as ferramentas que podem ser utilizadas para fornecer subsídios para melhorias, dentre elas encontra-se o emprego de técnicas estatísticas. Por esta razão, pesquisar causas de problemas deve ser uma tarefa constante e caminhos para obter melhorias devem ser perseguidos.

O controle estatístico de processos é um ramo do controle de qualidade que consiste na coleta, análise e interpretação de dados, estabelecimento de padrões, comparação de desempenhos, verificação de desvios, tudo isso para a utilização nas atividades de melhoria e controle da qualidade de produtos e serviços. Sua ferramenta básica é a carta ou gráfico de controle, desenvolvido por Shewhart (1931) *apud* Reynolds et al. (1990), com o objetivo de controlar a variabilidade dos processos.

Normalmente é aplicado a processos contínuos e semi-contínuos onde uma dimensão ou característica do produto é medida em uma amostra aleatória tirada sob um determinado período de tempo, com o objetivo de avaliar a estabilidade ou estado de controle estatístico de um processo. Segundo Hradesky (1989), a principal vantagem proporcionada pelo CEP é a realimentação do processo em tempo real. Essa realimentação deve ser contínua e estatisticamente fundamentada. Desse modo, em todo processo produtivo existem pontos específicos que são determinantes para que o fluxo de produção não apresente problemas.

A produção em série da peça ou a repetição do serviço traz um certo grau de variação, uma certa dispersão dos resultados ao redor deste valor nominal, chamado comumente na literatura de causa comum ou aleatória. Caso contrário, quando a mudança passa a ser não mais aleatória, mas associada a alguma causa especial que foge ao controle de quem está acompanhando o processo, isso passa a ser um problema e deve ser rapidamente corrigido.

Assim, dentre os diversos tipos de gráficos de controle existentes, seja por atributo ou por variável os gráficos \bar{X} e R são os gráficos de controle por variável mais utilizadas, mas algumas empresas vem preferindo utilizar o gráfico do desvio padrão (Gráfico S), para controlar a dispersão do processo. Comparando o gráfico R com o gráfico S, pode-se dizer que o primeiro é mais fácil de ser construído e aplicado. Porém, o segundo é mais preciso, pois no cálculo do desvio padrão são utilizados todos os dados dos subgrupos, e não apenas o maior e menor valor, utilizados no cálculo do intervalo ou *range*.

Os gráficos escolhidas para tal análise da característica em estudo foram \bar{X} e S, por serem consideradas como os mais simples em termos de operacionalização e eficientes nos

resultados. A expressão para o cálculo dos limites de controle para os gráficos \bar{X} e S pode ser estabelecida da seguinte forma:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^g S_i}{g} \quad \text{e} \quad \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^g \bar{X}_i}{g}, \text{ para o cálculo do valor central,} \quad (3)$$

onde:

S_i : desvio padrão do i -ésimo subgrupo;

\bar{S} : médias dos desvios padrões dos subgrupos;

$\bar{\bar{X}}$: média das médias dos subgrupos;

\bar{X}_i : média do i -ésimo subgrupo;

g : número de subgrupos.

e para os limites superior e inferior de controle para os gráficos \bar{X} e S, tem-se que:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} \quad \text{e} \quad LCS = B_4 \bar{S} \quad (4)$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} \quad \text{e} \quad LCI = B_3 \bar{S} \quad (5)$$

onde:

LCS: limite de controle superior para os gráficos \bar{X} e S;

LCI: limite de controle inferior para os gráficos \bar{X} e S;

A_3, B_3, B_4 : fatores retirados a partir de tabelas próprias.

Vale salientar que esses tipos de gráficos devem ser aplicados a um conjunto de dados que possua uma distribuição normal e não possuam autocorrelação serial; pois a violação desses pressupostos pode levar a interpretações errôneas e conseqüentemente a conclusões distorcidas sobre o processo. Assim, na seção seguinte, estão relatadas todas as etapas do processo bem como a aplicação das ferramentas já descritas e os resultados obtidos empiricamente.

3. RESULTADOS EMPÍRICOS

3.1. A Descrição do Processo Produtivo

O objeto de estudo deste trabalho constituiu-se de uma empresa de médio porte, localizada no Planalto Serrano do Estado de Santa Catarina, especializada no processamento de leite tipos “B e C” e seus derivados. Considerando a grande variedade de produtos que são processados na empresa, procurou-se escolher as etapas de produção consideradas mais importantes para a garantia da qualidade do leite tipos “B e C”. Assim, na figura abaixo encontram-se as etapas que contemplam esse processamento.

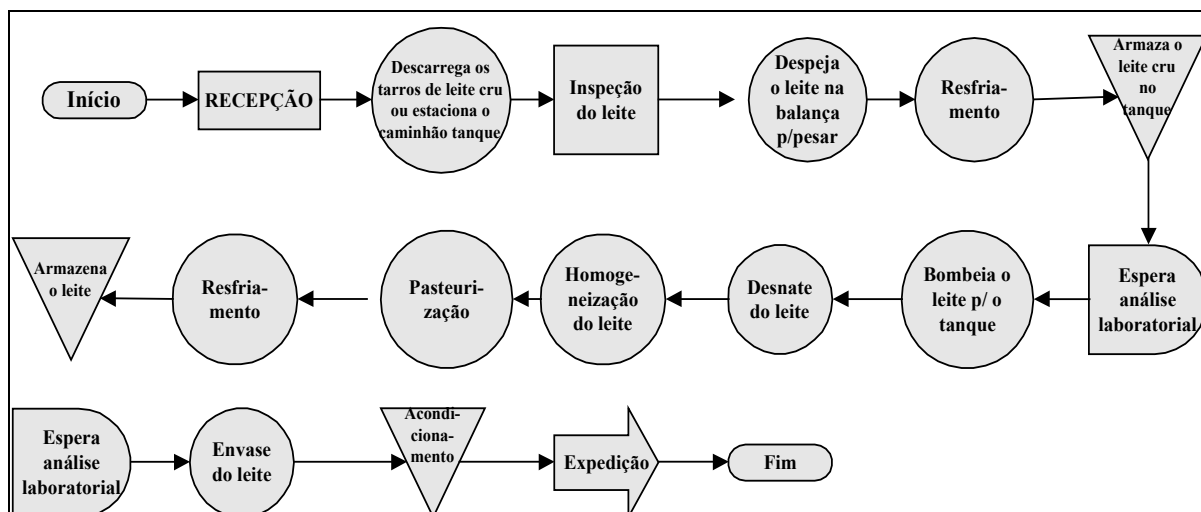


Figura 1: Processamento do Leite Tipos “B e C”

Conforme pode ser visualizado na figura, a recepção é uma etapa anterior ao início no processamento, onde, na plataforma da usina, os tarros de leite são retirados do caminhão e colocados sob a esteira para serem despejados em um tanque aberto. Posteriormente, o leite será pesado e passado por uma filtragem mais grossa, sendo descarregado em um tanque aberto, onde são retiradas amostras do leite para testes laboratoriais e também é realizado o teste de acidez. Depois que o leite cai no tanque aberto, ele é simultaneamente filtrado e bombeado para o tanque de armazenamento, onde é conservado a uma temperatura de 5°C.

Após essas etapas preliminares, inicia-se então o processo de tratamento do leite; ou seja, o leite é resfriado no pasteurizador, desnatado, homogeneizado e é enviado novamente ao pasteurizador para ser aquecido a uma temperatura entre 72°C a 75°C. O leite que foi processado com a finalidade de ser envasado segue para a embaladeira, que procede ao envase, já pasteurizado em sacos plásticos flexíveis de 1 litro cada, os quais são acondicionados e levados para a expedição.

Assim, o ponto crítico de controle escolhido para a análise deste trabalho foi a embaladeira do leite tipos “B e C”, que possui sete *Bocas* e tem capacidade para envasar duas mil embalagens/hora cada uma delas. A característica de qualidade selecionada nesse ponto foi o peso dos sacos de leite já envasados, cuja unidade de medida é o grama (1 litro de leite é equivalente a 1033 gramas, admitindo-se uma variação entre 1027 e 1039 gramas).

3.2. Análise dos Dados

A amostra correspondente ao peso dos sacos de leite retirados nas sete bocas da embaladeira foi de 1596 observações; ou seja, 228 em cada uma delas, sendo retirados de hora em hora, seis sacos de cada boca da embaladeira, onde os mesmos foram pesados em balança de precisão e seus pesos anotados na folha de verificação, durante um período de três meses. Vale salientar que na primeira e última hora de funcionamento da embaladeira não foram coletadas amostras, considerando que nestes dois períodos a máquina sofre ajustes e ao final já está em desgaste natural.

A importância em controlar o processo nesse ponto é fundamental sob o ponto de vista financeiro, haja vista que o custo que a empresa incorre quando o volume de leite fica muito abaixo ou acima dos limites especificados é bastante elevado. No caso do volume exceder 1033 gramas, a empresa diminui a quantidade de leite envasado e, em contraposição, se o peso ficar muito abaixo de 1033 gramas a empresa estará oferecendo um produto com menos conteúdo do que o indicado, fazendo com que a multa cobrada pela fiscalização possa ser elevada.

A necessidade de utilizar a análise de componentes principais para o presente estudo é que as sete bocas a serem avaliadas dificultam a análise do processo utilizando somente a ferramenta do CEP, pois seria necessário aplicar *sete* pares de gráficos para avaliar o processo de envase, o que demandaria mais tempo, mais pessoal disponível, mais custos. Assim, a análise de componentes principais pode reduzir a quantidade de variáveis avaliadas sem que com isso, se perca qualquer informação contida nos dados.

O método de componentes principais utilizado neste estudo foi o proposto por Kaiser que consiste em incluir somente aqueles componentes cujos valores próprios sejam superiores à média. Se utilizado a matriz de correlação, incluir-se-ão os componentes cujos valores próprios sejam maiores que um. O quadro a seguir mostra todas as correlações entre o peso dos sacos de leite retirados das sete bocas da embalagem avaliada.

Quadro 1: Matriz de Correlação Entre os Pesos dos Sacos de Leite

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	1	0,920307	0,647437	0,560182	0,598195	0,601538	0,621168
B2	0,920307	1	0,576664	0,522907	0,536275	0,545506	0,563853
B3	0,647437	0,576664	1	0,679364	0,7451	0,715062	0,760096
B4	0,560182	0,522907	0,679364	1	0,671254	0,649916	0,650186
B5	0,598195	0,536275	0,7451	0,671254	1	0,723183	0,769186
B6	0,601538	0,545506	0,715062	0,649916	0,723183	1	0,747191
B7	0,621168	0,563853	0,760096	0,650186	0,769186	0,747191	1

Desta forma, procurou-se determinar os autovalores dos componentes principais, cuja representação pode ser vista no quadro 2, bem como pode ser visualizado graficamente na figura 2, respectivamente:

Quadro 2: Autovalor dos Componentes Extraídos

Fator	Autovalores	(%) de Contribuição dos fatores selecionados
1	4,950343	70,71919
2	0,824203	82,49353

Conforme pode ser visto na figura 2, com a utilização do método de Catter, as sete bocas analisadas foram transformadas em dois componentes principais, tendo um poder de explicação em torno de 82,49%, sendo que, com apenas um único fator o grau de explicação já é satisfatório (70,72%) para se utilizar as cartas de controle, que servirão para o monitoramento do processo.

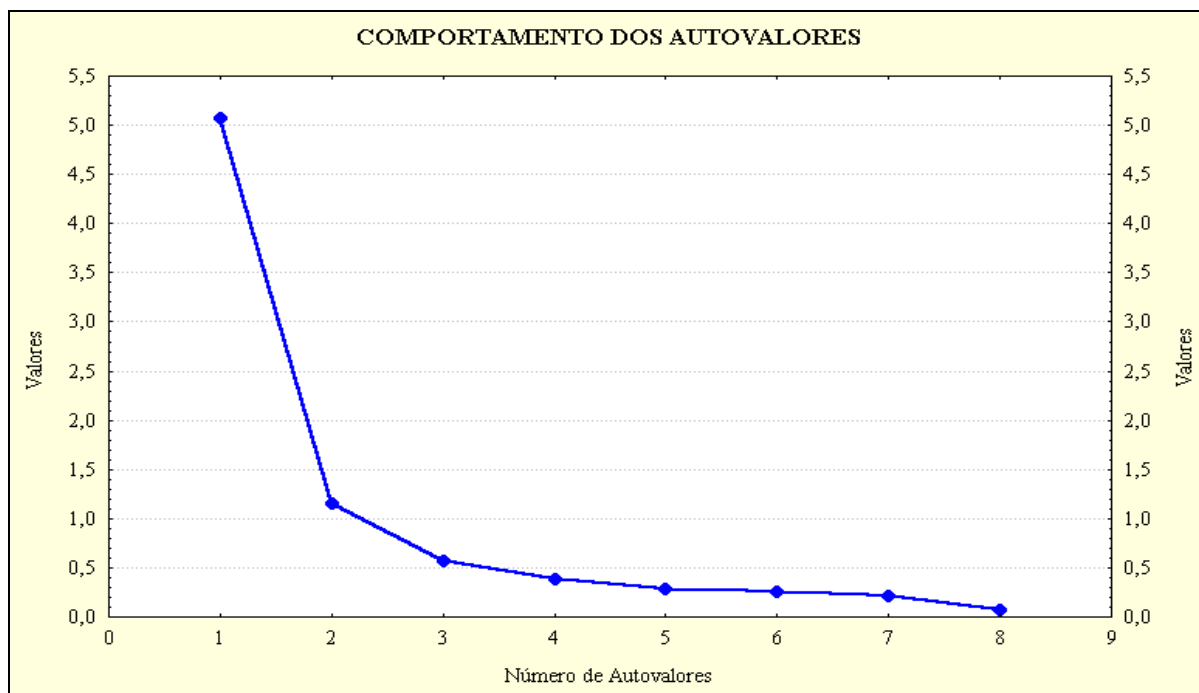


Figura 2: Comportamento dos Autovalores

Assim, o uso da técnica de análise de componentes principais torna-se uma ferramenta bastante útil para reduzir a dimensionalidade do problema passando de sete variáveis para apenas uma, através de uma combinação linear. A partir da seleção dos autovalores e autovetores, procurou-se *plotar* os gráficos \bar{X} e S , consideradas como as mais simples cartas de controle em termos de operacionalização e que são eficientes nos resultados obtidos.

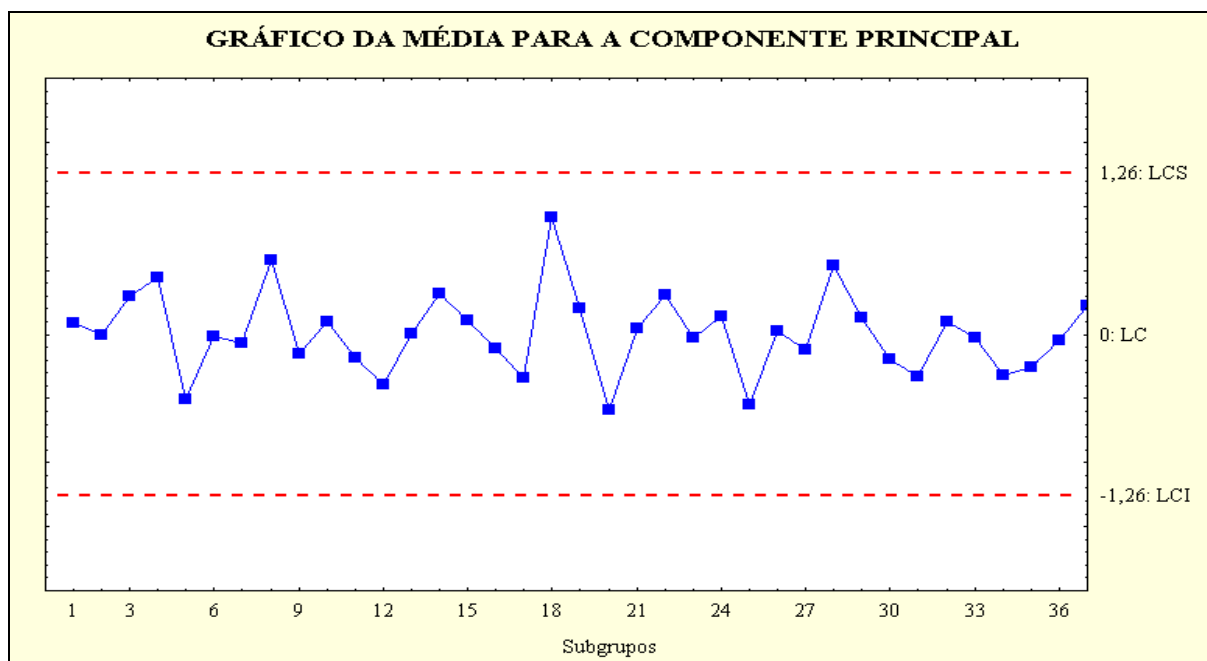


Figura 3: Gráfico de Controle da Média para a Componente Principal

Nos resultados apresentados na figura 3, observa-se que no gráfico da média para a componente principal não apresenta pontos fora dos limites de controle, apesar disso o gráfico \bar{X} apresenta alguns comportamentos não aleatórios, com vários pontos próximos da

linha central, na sequência de 3 a 5 pontos de modo decrescente. Esses comportamentos do gráfico da média indicam que entre um subgrupo e outro não houve comunicação entre os operadores, fazendo com que um operador ajustasse a máquina sem comunicar ao colega.

Em seguida, pode ser observado o gráfico do desvio padrão, que tem como finalidade detectar mudanças ocorridas dentro do subgrupo, ou seja, de cada etapa de coleta da amostra.

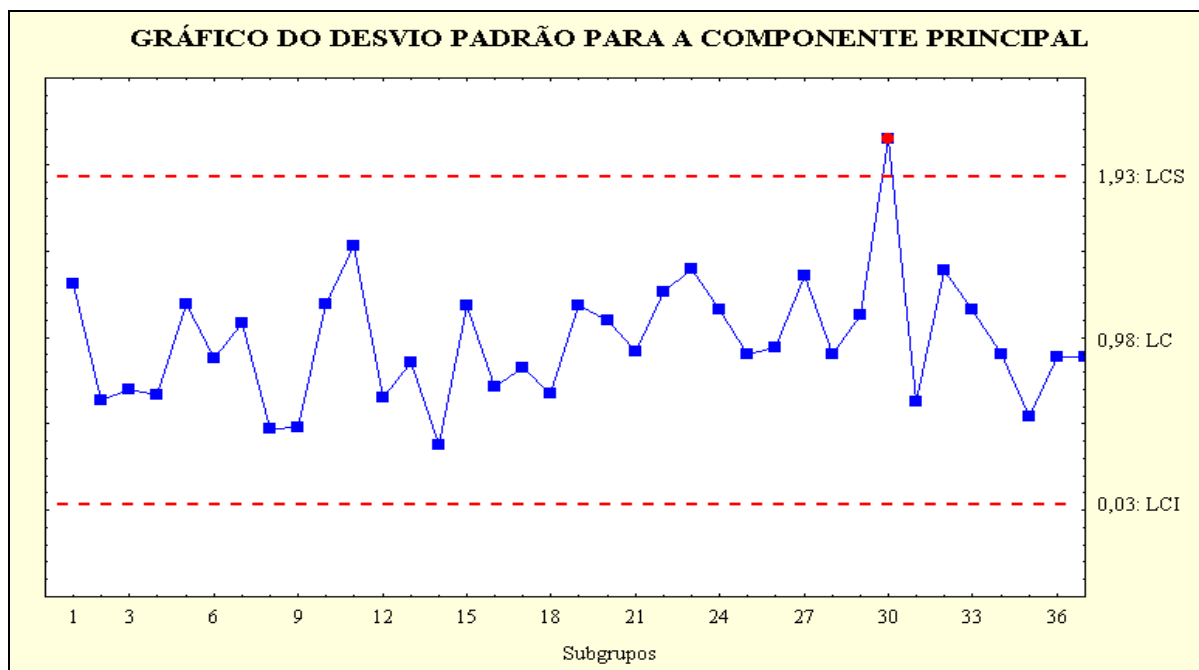


Figura 4: Gráfico de Controle do Desvio Padrão para a Componente Principal

Nos resultados apresentados na figura 4, observa-se que no gráfico do desvio padrão para a componente principal, o subgrupo 30, apresenta um ponto acima do limite de controle superior de controle, indicando uma causa especial. Uma das explicações foi o ajuste muito forte no equipamento, fazendo com que o mesmo fosse desregulado. Vale salientar que para todas as variáveis analisadas, foram feitos os testes de normalidade Jarque e Bera, nos quais as bocas 1 e 2 aceitaram a hipótese nula de normalidade ao nível de 5% e as demais bocas ao nível de 10%. Já com relação a autocorrelação serial foi feito o teste Ljung & Box (1979), onde todas as bocas aceitaram a hipótese nula de ausência de autocorrelação, ao nível de 5%.

Com o intuito de identificar quais as bocas que provocaram instabilidade no processo, foi feita uma análise individual das variáveis utilizando o gráfico Box-Wisker para comparar graficamente as sete bocas com respeito à média, dispersão e distribuição, visualizada através da figura 5:

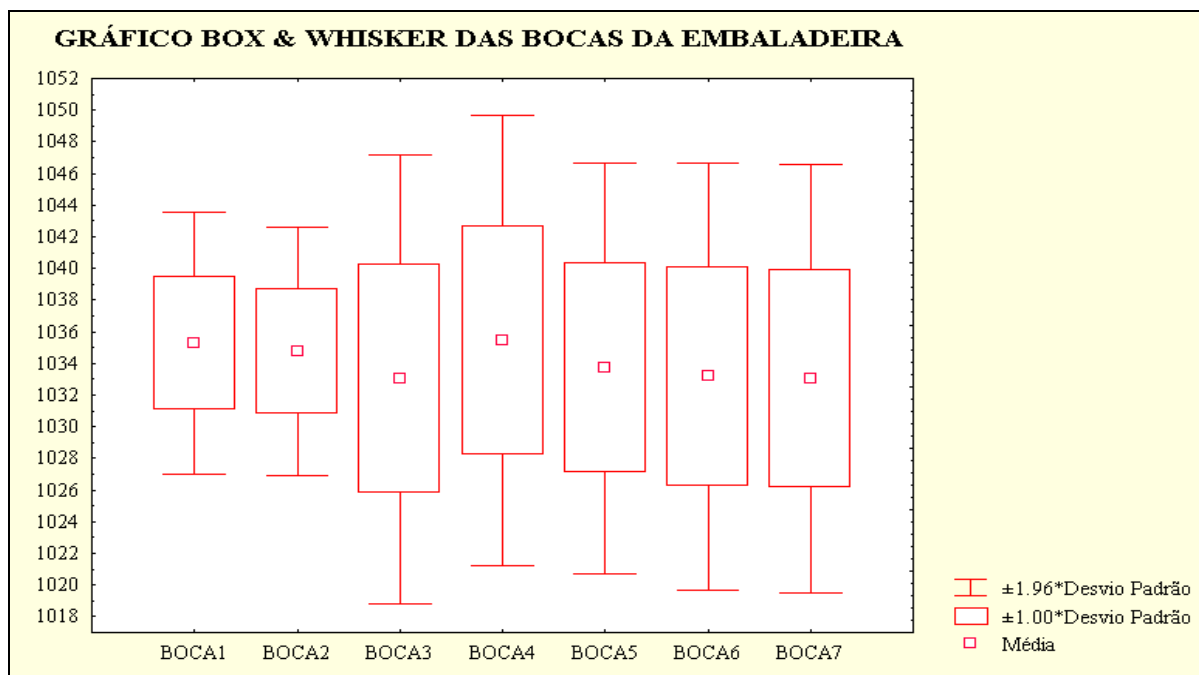


Figura 5: Gráfico Box& Whisker das Bocas da Embaladeira

Observa-se então que à exceção das bocas 1 e 2, as demais apresentam uma grande variabilidade. Em adição a isso, foi verificada a carga fatorial de cada boca, ratificando a análise feita com o gráfico Box & Whisker. Assim, através dessas ferramentas utilizadas é possível analisar com mais eficiência o processo, incorrendo em menos alarmes falsos, podendo identificar e resolver os problemas de forma mais rápida.

Finalmente, cabe destacar que diversas vezes as mudanças a serem feitas nesse processo produtivo demandam alguma troca de equipamento ou até mesmo de projeto, devendo a administração da indústria de leite contabilizar os custos e benefícios provenientes das respectivas mudanças, para que a falta de provisão de recursos não impeça dar continuidade a potenciais reestruturações acarretando conseqüentemente mais problemas. Entretanto, é sempre viável e necessário investir em qualidade, pois os ganhos obtidos na grande maioria das vezes são sempre satisfatórios, seja a curto ou longo prazo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cartas de controle estatístico são ferramentas para o monitoramento do desempenho de processos industriais, muito utilizadas na prática, devido à simplicidade e eficácia. Contudo, o uso dos métodos mais tradicionais utilizados nas empresas, tais como os gráficos de Shewhart, muitas vezes precisam ser auxiliados por outras ferramentas que facilitam a sua aplicação, principalmente quando o monitoramento do processo envolve diversas características de controle, fazendo com que a análise das variáveis isoladamente gere muitos gráficos e com isso dificulte a interpretação global do processo.

Na tentativa de solucionar o problema de controle em processos, procurou-se aplicar o gráfico de controle \bar{X} e S conhecido como gráfico de controle da média e do desvio padrão, numa das etapas do processo, mais precisamente a embaladeira, que faz o envase de leite tipos “B e C”, que são responsáveis pela vazão da quantidade de leite que será embalado na quantidade de 1 litro, ou equivalente a 1033 gramas). Foi utilizado também como uma etapa anterior aos gráficos de controle, a análise de componentes principais, uma ferramenta da estatística multivariada, que tem o objetivo de reduzir inicialmente a dimensão das variáveis através de uma combinação linear, transformando em fatores ou componentes sem com isso

perder as características originais dos dados. Assim, foram coletados os pesos de leite dos sacos envasados pelas sete bocas da embaladeira, constituindo-se numa amostra de 1596, ou 228 amostras para cada boca, divididas em subgrupos de tamanho 6, onde através da análise multivariada, foi selecionado o componente/fator proporcionando um poder de explicação de 70,72% reduzindo assim o número de variáveis de sete para um.

Finalmente, verificou-se que o processo de envase do leite merece ser monitorado sistematicamente, de modo que os problemas apresentados possam ser sanados e com isso estabilizem o processo. Sugere-se ainda que outras cartas sejam aplicadas de modo que as detecções de pontos de instabilidade no processo possam ser identificados com mais rapidez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, G. M. & COLLINS, A. J. **Interpretation of transformed axes in multivariate analysis**. *Applied Statistical*, v.42, 1993, p. 381-400.

BOUROCHE, J. M. , SAPORTA, G. **Análise de Dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade: Guia Prático para Implementação do Controle Estatístico de Processo - CEP**. Tradução: Maria Cláudia de Oliveira Santos. São Paulo: McGraw-Hill, 1989, p. 151.

JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 3 ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade**. Tradução: Dario Ikuo Miyake, São Paulo: Editora Gente, 1993, 11ª ed.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

RENCER, A.C. **Methods of Multivariate Analysis**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.

REYNOLDS Jr. M. R., RAID W. A. and ARNOLD, J. C. CUSUM Charts with Variable Sampling Intervals. **Technometrics**. November, 1990, v. 32, n.4, pp. 371-384.

SEBER, G.A.F. **Multivariate Observations**. New York: John Wiley, 1986.

SILVA, L. S. C. V. da. Aplicação do Controle Estatístico de Processos na Indústria de Laticínios Lactoplasa: Um Estudo de Caso. **Dissertação de Mestrado** pela Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia de Produção, dezembro de 1999.

SIQUEIRA, L. G. P. **Controle Estatístico de Processos**. Equipe Grifo. São Paulo: Pioneira, 1997, Série Qualidade Brasil, Livro n.9, p. 12-13.

STRANG, G. **Linear Algebra and its Applications**. 3ª Ed. Harcourt Brase Jovanovich, Inc, Tokio, 1998