

## Controle estatístico da etapa fermentativa no processo de produção da cerveja

Karina Sanderson<sup>1</sup>; Alesandra Oriente<sup>2</sup> e Emerson Mario Boldo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheira Química, docente Faculdade Assis Gurgacz – FAG. Avenida das Torres n. 500, CEP: 85.806-095, Bairro Santa Cruz, Cascavel, Pr.

<sup>2</sup>Discente Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste. Rua Universitária, 1619, CEP: 85 806 – 095, Bairro Jardim Universitário – Cascavel – Pr.

<sup>3</sup>Docente Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Rua Universitária, 1619, CEP: 85 806 – 095, Bairro Jardim Universitário – Cascavel – Pr.

[karinasanderson4@hotmail.com](mailto:karin sanderson4@hotmail.com); [aleorientel@hotmail.com](mailto:aleorientel@hotmail.com); [emb@unioeste.br](mailto:emb@unioeste.br)

**Resumo:** O controle rigoroso e permanente de processos por meio de técnicas estatísticas é fundamental para a manutenção da qualidade dos bens produzidos. Neste trabalho foram aplicadas técnicas de controle de qualidade estatístico para a avaliação da etapa fermentativa do processo produtivo de uma cervejaria do sul do Brasil. Para isso, foram coletados dados de extrato primitivo, álcool e extrato aparente final durante o período de fevereiro/2004 a fevereiro/2005. Por meio dos gráficos de controle observou-se que a produção dos extratos primitivos estava sob controle, porém, se compararmos com os limites de controle adotados pela cervejaria, os valores estavam baixos, próximos ao limite inferior de controle (LIC(cerv)). Pela análise dos gráficos de álcool teórico e álcool real, também observamos que o processo estava sob controle, no entanto, a média do álcool real (4,246 % v/v) mostrou-se abaixo do limite inferior de controle (LIC (cerv) = 4,34 % v/v). Foi observada uma ineficiência na fermentação, pois a eficiência real apresentou uma média de 76,66%, que fica abaixo do limite inferior de controle da cervejaria (LIC (cerv) = 78,91%).

**Palavras-chave:** controle de qualidade, fermentação, indústria cervejeira.

## Statistical control of the fermentative stage in the beer productive process

**Abstract:** The rigorous and permanent control of processes by statistical techniques is fundamental for the quality maintenance of the produced goods. In this work were applied techniques of statistical quality control to evaluation of the fermentation stage in productive process of a brewery in the south of Brazil. For that, data of primitive extract, alcohol and final apparent extract were collected between february/2004 and february/2005. By the control graphs it was observed that the production of the primitive extracts is under control, however, if we compare with the control limits adopted by the brewery, the values are low, affecting the process efficiency. Examining the graphs of theoretical alcohol and real alcohol, we also observed that the process is under control, nevertheless the average of the real alcohol (4,246% v/v) was below the lower control limit ( $LCL(cerv) = 4,34\% v/v$ ), that is consequence of the low values of primitive extracts. An inefficiency was observed in the fermentation, because the real efficiency had an average of 76,66%, that is below of the lower control limit of the brewery ( $LCL(cerv) = 78,91\%$ ).

**Key words:** quality control, fermentation, brewery

## Introdução

As empresas têm se preocupado com a qualidade de seus produtos desde os primórdios da era industrial. O que se pode considerar como mais recente é a preocupação, por parte das empresas, com os processos de produção, isto é, todo e qualquer procedimento que a empresa lança mão para atender e satisfazer aos consumidores. Essa preocupação com todos os processos industriais, de prestação de serviços e administrativos é conhecida como Controle de Qualidade Total (Total Quality Control) (Robles, 1994).

Segundo Paladini (1990), a avaliação da qualidade pode ser feita observando-se as características gerais dos processos produtivos quando do seu desenvolvimento, já que a idéia básica é a de que, controlando-se o processo, o produto dele resultante estará também controlado. A análise de processos industriais baseia-se no estudo das variações com a utilização de modelos estatísticos adequados a cada caso que forneçam informações precisas sobre a natureza destas variações e seus possíveis reflexos na qualidade do produto. Desta forma torna-se importante observar que cada modelo de avaliação apresenta características específicas que precisam ser observadas em termos de sua estruturação, utilização e interpretação de resultados obtidos.

De forma geral, observa-se que o controle da qualidade atua de duas formas básicas nos processos de fabricação: atuação sobre o produto e prioridade sobre o processo.

O controle de qualidade moderno, ou controle de qualidade estatístico (CQE), como é conhecido atualmente, começou a ser implementado nos anos 30 com a aplicação industrial dos gráficos de controle, uma das ferramentas mais poderosas do controle estatístico de processos, e do Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action), ferramenta fundamental para o gerenciamento da qualidade inventado pelo Dr. W. A. Shewhart, da Bell Laboratories (Ishikawa, 1993).

A eficácia de um gráfico de controle é medida pela rapidez com que esse dispositivo detecta alterações no processo. A análise da relação entre o custo de operação e a eficácia do gráfico de controle deve nortear a escolha de seus parâmetros de implementação: tamanho das amostras, o intervalo de tempo entre amostragens e o fator que estabelece o posicionamento dos limites de controle no gráfico (Costa, 2004).

Montgomery (2000), destaca algumas das razões que contemplam a popularidade dos gráficos de controle:

- são técnicas comprovadas de melhoria da produtividade;
- são eficazes na prevenção de defeitos;

- evitam ajustes desnecessários nos processos;
- fornecem informações confiáveis para diagnóstico sobre o desempenho e capacidade dos processos.

Neste trabalho, foram aplicadas as técnicas de controle de qualidade estatístico desenvolvidas por W. A. Shewhart no processo de produção da cerveja, visando avaliar a eficiência da etapa de fermentação através dos gráficos de controle (Shewhart, 1931). Por ser a cerveja um produto milenar e de grande consumo no mundo todo, o mercado é extremamente competitivo e os consumidores estão cada vez mais exigentes.

As ferramentas estatísticas vêm para auxiliar no controle mais seguro e eficaz da qualidade do produto, podendo assim, garantir uma maior competitividade entre as cervejarias, proporcionando aos seus consumidores um produto de elevada qualidade.

O processo básico de fabricação da cerveja consiste de várias etapas, sendo elas mosturação, clarificação do mosto, fervura do mosto, decantação, resfriamento e aeração do mosto, a etapa de fermentação, maturação, filtração e acondicionamento da cerveja.

Tendo em vista que qualquer variação de ingredientes e/ou processos produzirá diferentes tipos de cerveja (Araújo, 2003), o objetivo deste trabalho foi aplicar técnicas de controle de qualidade estatístico utilizando os dados de extrato primitivo, álcool e extrato aparente final fornecidos por uma cervejaria no sul do Brasil no período de fevereiro/2004 a fevereiro/2005.

### **Material e Métodos**

Foram utilizados os gráficos de controle de qualidade fornecidos por uma cervejaria no sul do Brasil no período de fevereiro/2004 a fevereiro/2005, para identificar se os extratos primitivos e o álcool produzido na fermentação estão sobre controle e se o processo de fermentação está sendo eficiente.

#### **Determinações Analíticas**

##### ***Extrato primitivo (grau Plato ( $^{\circ}P$ ) ou % em peso (% w/w) e Álcool (% em volume (% v/v))***

Para se ter o resultado do extrato primitivo e do álcool utilizou-se o Beer Analyser (Kyoto, 2006) que é um instrumento completo de análise e de simples operação. Através da medição de densidade e velocidade do som, determinam-se automaticamente todos os valores relevantes no processo de fabricação: % W/W álcool, % W/W extrato real, % W/W extrato primitivo (original), % W/W extrato aparente, grau real de fermentação, grau aparente de fermentação, % de V/V de álcool, densidade relativa SG 20<sup>0</sup>/20<sup>0</sup>C e quilocalorias.

No caso de amostras contendo CO<sub>2</sub> é necessário descarbonatar com amostra contendo leveduras que foram primeiramente clarificadas por filtração.

### **Extrato Aparente Final (grau Plato (<sup>0</sup>P) ou % em peso (% w/w))**

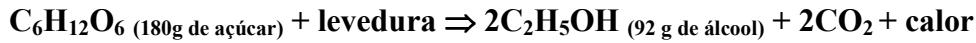
É o grau máximo de atenuação do mosto cervejeiro conseguido por uma determinada cepa de levedura, é obtido pela fermentação completa em laboratório, corresponde a quantidade de mosto que não foi fermentado.

Para a obtenção do extrato aparente final, foram coletadas amostras dos fermentadores assim que foram cheios.

Pesou-se 50 gramas de levedura, para 250 mL do mosto coletado agitando por 5 horas, após esse tempo filtrou-se à amostra e fez-se a leitura para cada fermentador no Beer Analyzer (Kyoto, 2006).

### **Cálculos dos Parâmetros de Fermentação:**

A descrição tradicional do processo de fermentação em cervejarias é a conversão processada pela levedura (fermento) de glucose, em etanol e gás carbônico. Sob condições anaeróbicas, esta conversão se dá com liberação de calor, conforme a equação abaixo:



Com a equação da fermentação alcoólica, obteve-se os parâmetros desejados para avaliar o processo fermentativo da cerveja.

Com os dados dos extratos primitivos coletados na cervejaria, calculou-se o valor dos álcoois dos fermentadores que estavam sendo avaliados mensalmente para uma eficiência de 100%.

Para calcular o valor dos álcoois e das eficiências teóricas a partir dos extratos primitivos, utilizou-se os resultados dos extratos aparente final, que foram obtidos pela fermentação completa de cada fermentador em laboratório e do álcool que foi calculado para uma eficiência de 100%.

Com os valores dos álcoois que foram obtidos do processo real da fermentação, calculou-se a eficiência real dos fermentadores.

### **Construção dos Gráficos de Controle:**

Utilizou-se os gráficos de controle da média ( $\bar{X}$ ) e da amplitude ( $R$ ) (diferença entre o maior e o menor valor da amostra), pois servem para monitorar processos onde as características de qualidade de interesse  $X$  sejam grandezas mensuráveis.

O gráfico da média amostral  $\bar{X}$  monitora a centralidade e o gráfico da amplitude  $R$  monitora a dispersão da variável em análise.

Para a construção dos gráficos de controle realiza-se o monitoramento do processo a intervalos regulares de tempo  $h$ , formando amostras de  $n$  unidades.

Deve-se calcular a média  $\bar{X}$  dos valores medidos e a amplitude  $R$  para cada amostra, onde os valores de  $\bar{X}$  e  $R$  das diversas amostras são marcados, respectivamente nos gráficos da média e amplitude.

Os gráficos de controle possuem limites de controle, chamados de limite superior de controle (*LSC*) e limite inferior de controle (*LIC*). Deve-se observar se os pontos estão distribuídos aleatoriamente em torno da linha média (*LM*), pois nesse caso não se deve intervir no processo, a variação é devida a causas aleatórias ao processo.

Porém, se um dos pontos cair acima do *LSC* ou abaixo do *LIC*, o processo deve sofrer intervenção, pois essa variação é decorrente a alguma causa especial.

Os limites de controle (*LSC* e *LIC*) para o gráfico são usualmente estabelecidos a três desvios-padrão da média e a linha média (*LM*) é localizada na média de  $\bar{X}$ , isto é:

$$LSC_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} \quad (1)$$

$$LM_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} \quad (2)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} \quad (3)$$

onde  $\mu_{\bar{X}}$  e  $\sigma_{\bar{X}}$  são a média amostral e desvio padrão da média respectivamente.

Os limites de controle com três desvios-padrão de afastamento em relação à linha média são para evitar ajustes desnecessários. Caso o processo esteja em controle, estes ajustes só tendem a aumentar a variabilidade do processo (Costa, 2004).

Para a determinação dos limites para o gráfico de  $R$ , que monitora a dispersão do processo, também considera-se três desvios-padrão de afastamento da média, ou seja:

$$LSC_R = \mu_R + 3\sigma_R \quad (7)$$

$$LM_R = \mu_R \quad (8)$$

$$LIC_R = \mu_R - 3\sigma_R \quad (9)$$

onde  $\mu_R$  e  $\sigma_R$  são a média e desvio padrão da amplitude amostral respectivamente.

Se a distribuição da variável de interesse for normal com desvio-padrão igual a  $\sigma$ , então a distribuição da amplitude amostral  $R$  terá média e desvio-padrão dados por:

$$\mu_R = d_2 \sigma \quad (10)$$

$$\sigma_R = d_3 \sigma \quad (11)$$

onde as constantes  $d_2$  e  $d_3$  dependem apenas do tamanho da amostra  $n$ .

Substituindo (10) e (11) nas equações (7), (8) e (9) temos:

$$LSC_R = d_2 \sigma + 3d_3 \sigma \quad (12)$$

$$LM_R = d_2 \sigma \quad (13)$$

$$LIC_R = d_2 \sigma - 3d_3 \sigma \quad (14)$$

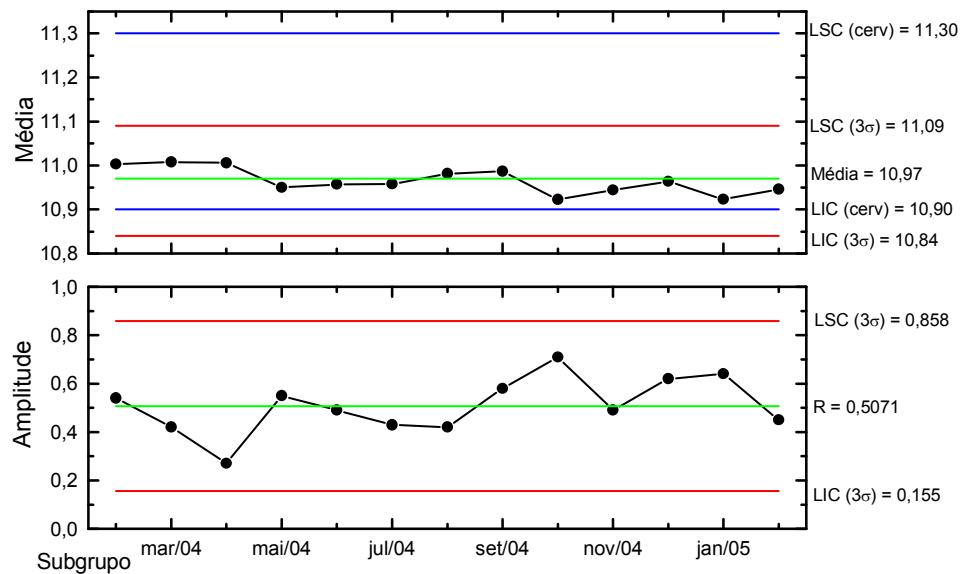
Como a amplitude, por definição, não pode ser negativa, quando o valor calculado para  $LIC_R$  pela equação (14) for negativo, adota-se  $LIC_R = 0$ , significando, na realidade, a ausência de um limite inferior de controle (Costa, 2004).

## Resultados e Discussão

### Análise do extrato primitivo

A legislação brasileira estabelece parâmetros de extrato primitivo para a cerveja comum, iguais ou superiores a 10,5 e inferiores a 12,5 por cento, em peso (Brasil, 1994). Porém, a cervejaria possui um controle particular que fica entre os valores da legislação, 10,9 a 11,3 por cento, em peso.

A figura 1 mostra os gráficos de controle da média e da amplitude para os valores do extrato primitivo das amostras no período de fevereiro/2004 a fevereiro/2005. Os gráficos de controle mostram que a produção dos extratos primitivos estão sob controle sem nenhum ponto caindo na região de ação, acima ou abaixo dos limites de controle ( $LSC (3\sigma)$  e  $LIC (3\sigma)$ ). Porém, se comparados com os limites de controle adotados pela cervejaria ( $LSC (cerv)$  e  $LIC (cerv)$ ) os valores estão baixos, muito próximos do limite inferior de controle. Esses valores baixos de extrato primitivo podem afetar ou não a eficiência do processo como será mostrado na figura 1.



**Figura 1 – Gráficos de controle da média e da amplitude para os valores de extrato primitivo**

#### *Análise do álcool teórico e álcool real*

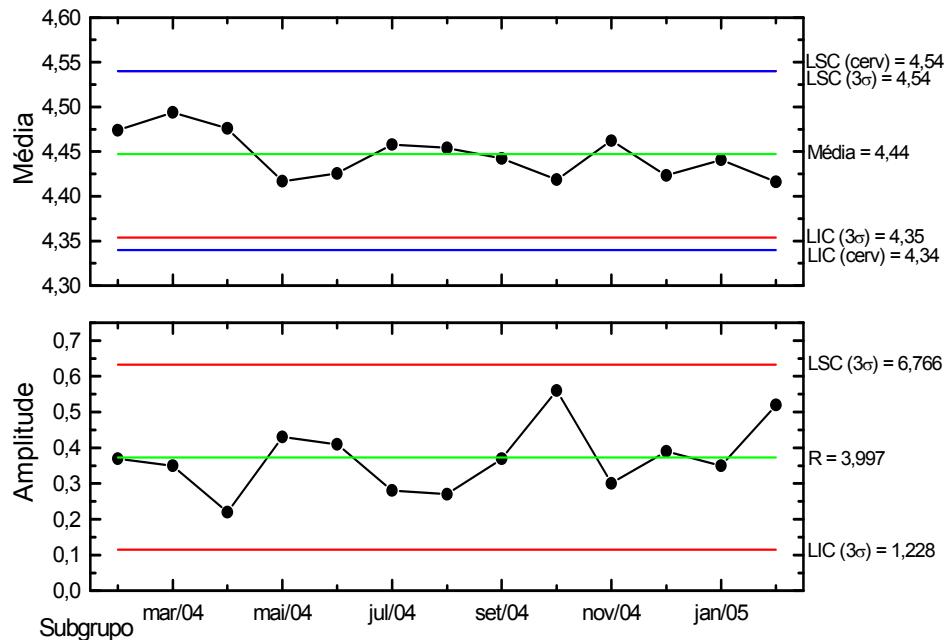
A legislação brasileira também estabelece o percentual de álcool, que pode ser igual ou superior a meio por cento em volume, devendo obrigatoriamente constar no rótulo o percentual de álcool em volume (Brasil, 1994). Tomando o parâmetro particular que foi estabelecido pela cervejaria de extrato primitivo ( $10,9$  a  $11,3$  °P) e diminuindo do valor de extrato aparente final que a cervejaria estabelece como ideal ( $2,30$  °P), o valor de álcool que a cervejaria deveria utilizar como sendo o seu parâmetro particular seria de  $4,34$  a  $4,54$  por cento em volume, que é valor de álcool que teria que ser formado durante o processo fermentativo para os extratos correspondentes ( $10,9$  a  $11,3$  °P).

No entanto, a cervejaria utiliza-se de critérios particulares para avaliar e estipular os valores de álcool para fazer o seu controle, sendo esses valores de  $3,90$  a  $4,30$  por cento em volume.

Para a determinação do álcool teórico, que é o álcool que deveria ter se formado durante a fermentação nos tanques analisados na cervejaria, utilizou-se a diferença dos valores de extratos primitivos e dos extratos aparente final. Estes valores do álcool teórico foram comparados com o álcool real obtido da fermentação dos mesmos tanques avaliados.

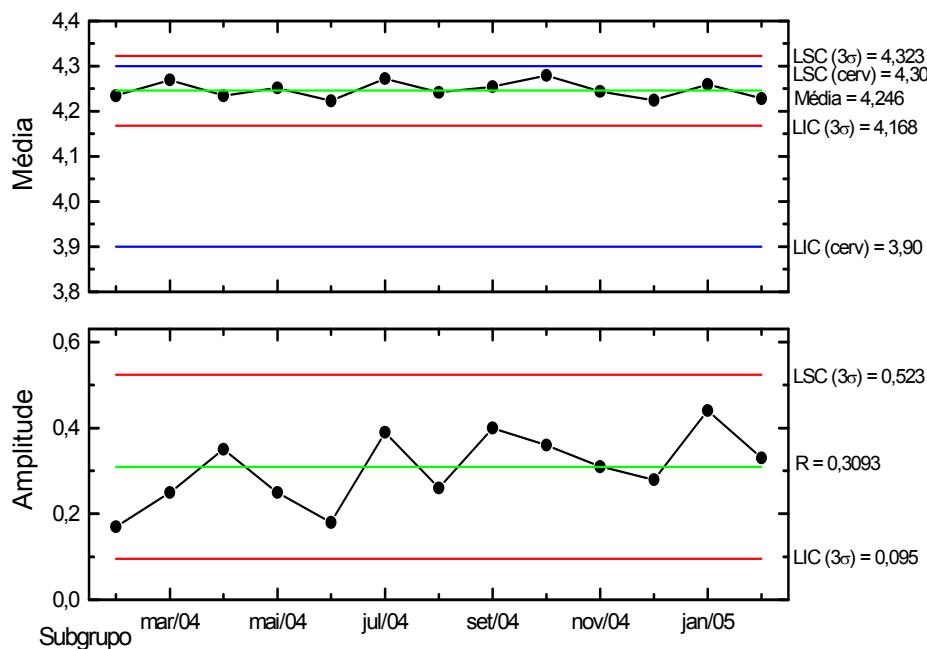
Pelos gráficos do álcool teórico e do álcool real apresentados nas Figuras 2 e 3 respectivamente, observa-se que os gráficos da média e da amplitude amostral estão sobre controle, nem um ponto está fora dos limites de controle.

Porém se a cervejaria empregasse como parâmetro o percentual de álcool de meio por cento em volume, como sugere a legislação (4,34 a 4,54 % v/v), ela estaria com o seu processo fora de controle, já que na Figura 3 observa-se que a média de álcool formado do processo de fermentação da cervejaria (4,246 % v/v) está bem abaixo do limite inferior de controle (LIC (cerv) = 4,34% v/v) do álcool teórico.



**a 2 – Gráficos de controle da média e da amplitude para os valores de álcool teórico**

**Figur**



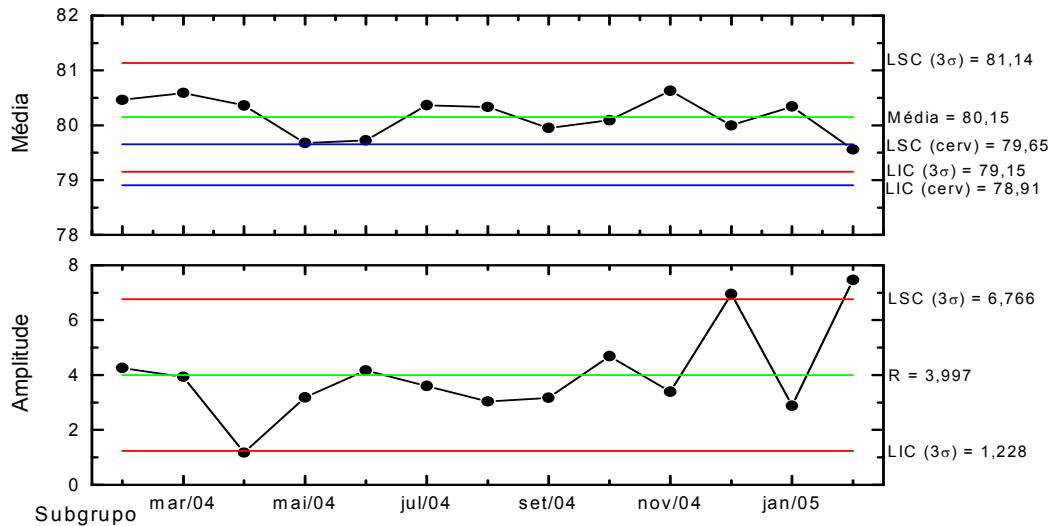
**Figura 3 – Gráficos de controle da média e da amplitude para os valores de álcool real**

#### *Análise da eficiência teórica e eficiência real*

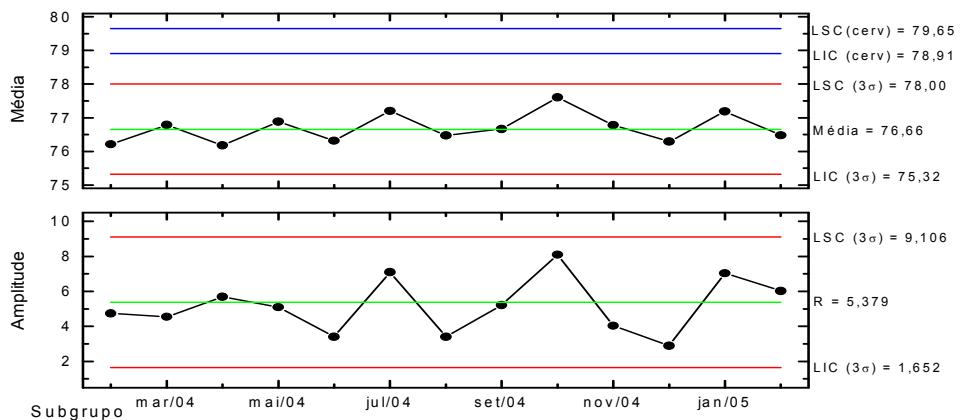
Nesta etapa, analisou-se a eficiência dos fermentadores da cervejaria, para termos uma avaliação real das perdas do processo fermentativo.

Pelos parâmetros estipulados pela cervejaria de extratos primitivos ( $10,9$  a  $11,3^{\circ}\text{P}$ ) a eficiência ideal para esses valores seria de  $78,91\%$  a  $79,65\%$  (LIC (cerv) e LSC (cerv)).

Analizando a Figura 4, observam-se alguns pontos que caíram na região de ação do gráfico da amplitude evidenciando um aumento da dispersão da eficiência teórica nos meses de abril/2004, dezembro/2004 e fevereiro/2005, essa dispersão se deve a causas especiais que ocorreram no processo. No entanto, a eficiência manteve-se centralizada como pode ser observado no gráfico da média, não havendo pontos fora dos limites de controle.



**Figura 4 – Gráficos de controle da média e da amplitude para os valores de eficiência teórica**



**Figura 5 – Gráficos de controle da média e da amplitude para os valores de eficiência real.**

O gráfico de controle da eficiência real na Figura 5 mostra amplitudes e médias bem distribuídas evidenciando um processo controlado nos fermentadores.

Comparando as médias dos gráficos de controle das eficiências, nota-se que na Figura 4 a eficiência teórica apresentou uma média de 80,15%, ficando acima do limite superior de controle da cervejaria (LSC (cerv) = 79,65%). Ou seja, teoricamente os valores de extratos primitivos, mesmo estando muito próximos do limite inferior de controle da cervejaria (LIC (cerv)), como pode ser observado na Figura 1, estariam mais que suficientes para os níveis de eficiência esperados pela cervejaria. No entanto, a Figura 5 mostra o contrário, uma média de

76,66% para a eficiência real dos fermentadores, valor este abaixo do limite inferior de controle (LIC (cerv) = 78,91%) estipulado pela cervejaria.

Este resultado é consequência da insuficiência na formação de álcool, que foi observada nas Figuras 2 e 3. As causas dessas insuficiências na formação de álcool se devem a alguns fatores como: contaminações, temperaturas inadequadas, má formação de calor, pH altos ou baixos, entre outros, que levam assim, a uma ineficiência na etapa fermentativa.

### Conclusões

Os métodos estatísticos apresentados foram considerados adequados para monitorar os parâmetros avaliados.

Se observarmos os gráficos de eficiência teórica, veremos que o processo fermentativo, está com os níveis de eficiência mais que suficientes. Porém, observa-se que a etapa de fermentação da cervejaria não está sendo eficiente, está ocorrendo uma perda na formação de álcool no processo.

Essa ineficiência na etapa fermentativa, pode estar sendo reavaliada pela cervejaria, observando-se alguns fatores de controle de processo. A qualidade microbiológica do fermento é um fator muito importante que demanda um controle rígido, pois dependendo do grau de contaminação e do tipo de contaminação, existe o risco de danos irreversíveis ao produto. A não observação da qualidade microbiológica acarreta um início retardado da fermentação e, consequentemente, uma fermentação mais lenta e inadequada. Deve-se também ter o cuidado de ter uma levedura com alta tolerância ao etanol e tolerância a toxina.

O controle de temperatura também deve ser rígido, pois pode inibir ou estimular a atividade metabólica das leveduras.

O pH é outro fator a ser controlado, valores baixos (3,5 - 5,0) são desejáveis quando dentro de certos limites, porque contribuem para uma menor predisposição para contaminação microbiológica, uma maior estabilidade da espuma, redução das concentrações de diacetil. Valores altos de pH podem indicar a ocorrência de autólise do fermento.

Logo, a ineficiência da fermentação é prejudicial ao produto acabado. A cerveja pode apresentar-se mais incorporada (adocicada) e consequentemente mais suscetível a contaminações. Problemas na consistência da espuma e um aumento na turvação da cerveja também podem ocorrer, diminuindo a vida de prateleira do produto.

Podemos concluir que, mesmo os gráficos mostrando que o processo está sob controle, a cervejaria precisa rever criteriosamente seu processo produtivo para que possa aperfeiçoar a eficiência da fermentação.

### Referências

ARAÚJO F. B., SILVA, P. H. A., MININ, V. P. R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, v. 23, n. 2, p.121-128, 2003.

BRASIL, **Regulamento a Lei nº 8.918 de 14 de julho de 1994**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Capítulo II: Das bebidas alcoólicas fermentadas.

COSTA, A.F.B. **Controle estatístico de Qualidade**. São Paulo: Ed. Atlas, 2004.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa**. 2<sup>º</sup> Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1993. p. 13.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.

KYOTO ELETRONICS. Disponível em <[www.kyoto-kem.com/english/products/density/wba505b.php](http://www.kyoto-kem.com/english/products/density/wba505b.php)> Último acesso em 24/out/06

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4th Edition, New York : John Wiley, 2000.

PALADINI, E. P. **Controle de Qualidade – Uma Abordagem Abrangente**. São Paulo: Atlas. S. A., 1990. p. 239.

ROBLES, JR. A. **Custos da Qualidade: uma estratégia para competição global**. São Paulo: Atlas, 1994. p. 135

SHEWHART, W. A. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. New York, D. Van Nostrand. 1931.

---

*Recebido em: 10/08/2010*

*Aceito para publicação em: 12/09/2010*