



INDICADORES DE CAPACIDADE (C_p e C_{pk}) E PERFORMANCE DO PROCESSO (P_p e P_{pk}) EM UMA LINHA INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE SORVETES

D. V. FRANCESCHI¹, F. PELIZER², F.M.G. PIRES³, L. P. de OLIVEIRA⁴, T. L. BEZERRA⁵

^{1,2,3,4,5} Universidade de Uberaba, Curso de Engenharia de Produção.

RESUMO – *O controle Estatístico Processo (CEP) fornece uma descrição do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando controlar a produção ao longo do tempo. Dentre as principais ferramentas e uso no setor produtivo, os indicadores de performance e capacidade do processo auxiliam na análise de causas comuns e especiais de variação, a forma e modo de ocorrência, permitindo mensurar o status e eventuais lacunas de atuação no processo. Este trabalho tem como escopo, um estudo de caso sobre a aplicação dos indicadores de capacidade (C_p) e performance (P_p) em uma empresa de sorvetes situada na cidade de Uberlândia – MG. Para tanto, planejou-se uma pesquisa experimental, a partir de uma coleta de dados aleatorizada na linha de produção de sorvetes (sabor creme), a descrição dos limites de especificação do produto e plotagem do gráfico de capacidade e performance, como parte de um projeto de melhorias na empresa. Foi possível concluir através dos resultados obtidos que há indícios de causas especiais, as quais reduzem a capacidade do processo e aumentam o número de não-conformidades produzidas, e também há indícios de causas comuns (24% da variabilidade total). Com os resultados obtidos, foi possível concluir também que o processo é capaz de atender as especificações da empresa e com a atuação sobre as causas especiais, possivelmente a regulagem e manutenção da máquina de envase da linha de produção dos sorvetes sabor creme, poderá resultar em melhorias e conseqüentemente, elevar o nível de qualidade desse processo.*

1. INTRODUÇÃO

A sobrevivência e o crescimento das empresas no mercado competitivo estão diretamente ligados à produção de produtos de qualidade a um baixo custo. Desse modo, uma série de ferramentas e técnicas foram desenvolvidas para assegurar a melhoria dos serviços, processos e produtos e adequando os parâmetros industriais à qualidade desejada para o cliente.

Entende-se, que nesse perfil de inserção competitiva da organização no mercado, há necessidade de um alinhamento da gestão de pessoas em torno dos resultados e objetivos comerciais aliado ao uso de técnicas que auxiliem no controle de falhas e no aperfeiçoamento dos processos produtivos, incentivando a melhoria contínua.

Nesse sentido, o Controle Estatístico do Processo (CEP) abrange técnicas que permitem acompanhar, avaliar o desempenho e corrigir o processo produtivo da empresa, tendo em vista a



redução dos custos operacionais e melhoria da qualidade do processo de produção (Werkema, 1995). Pode ser compreendido como uma filosofia de gerenciamento da qualidade e atendimento das especificações de clientes, já que engloba um conjunto de conhecimentos, habilidades originárias da Estatística e da Engenharia de Produção (Ribeiro; Caten e Fritsch, 1998), com o objetivo de garantir a melhoria contínua, a estabilidade de um processo de produção e prestação de serviços e redução do desperdício (Montgomery, 2004).

A empresa alimentícia no ramo de sobremesas, objeto de estudo deste trabalho deve ter sob controle, o peso dos seus produtos comercializados, de acordo com o especificado no rótulo do pote do produto. Caso o valor registrado no rótulo da embalagem não for o mesmo, ou muito próximo daquele especificado no rótulo, o produto final estará fora das especificações estabelecidas e contratadas.

Em situações que o produto está abaixo do peso estipulado no rótulo, pode sofrer penalidades e retirar todo o lote do mercado gerando ainda mais prejuízos. Pode haver ainda, situações em que os produtos que vão para o mercado com sobrepeso, ou seja, quando o pote de sorvete está acima do peso especificado, representando desperdício para a empresa e, conseqüentemente, impactos nos custos da produção, redução da margem de lucro e, se for contínuo, proporcionar perda da competitividade no ramo de negócio.

Portanto, a aplicação do Controle Estatístico do Processo (CEP) em um determinado processo tem como objetivo reduzir custos, melhorar a qualidade e aumentar a competitividade no mercado (Montgomery, 2004), possibilitando uma interferência técnica no desempenho do lote em produção, tomando as ações que evitem a ocorrência de problemas. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é o de analisar a capacidade e performance do processo de envase de sorvetes em uma indústria situada na cidade de Uberlândia (MG), com enfoque na variabilidade dos pesos registrados nos potes de sorvetes de dois litros.

2. ANÁLISE DE DESEMPENHO NOS PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS

2.1. O Controle Estatístico do Processo

De modo prático, o conceito de Controle Estatístico de Processo (CEP) baseia-se no fato de que para se exercer o controle de um processo, ou uma série de processos que levam ao produto acabado é necessário compreender o seu comportamento ao longo do tempo (Montgomery, 2004). Pode indicar um parâmetro de avaliação do comportamento de determinado indicador no processo. Dessa forma, os problemas podem ser rastreados, identificados e eliminados de um processo, de modo que ele continue a produzir produtos com qualidade aceitável de acordo com as especificações estabelecidas (Galuch, 2002).

Sabe-se que a ocorrência de variabilidade é inerente aos processos de produção, gerando produtos ou serviços que diferem entre si. Os fatores que podem contribuir para estas mudanças nas características da qualidade do produto ou serviço são variações naturais existentes nas máquinas, no meio ambiente, na matéria-prima, no método de trabalho utilizado, na mão-de-obra,

nas medidas ou observações efetuadas nos produtos (Siqueira, 1997; Kume, 1993).

Portanto, o controle da qualidade e suas premissas, baseiam-se justamente em propor cartas gráficas que permitam acompanhar e verificar o desempenho da produção. Desse modo, torna-se confiável a análise da natureza e das variações do processo agroindustrial e propor ações efetivas para reduzi-las e melhorar a estabilidade do processo.

2.2. O Processo Industrial de Fabricação de Sorvete

O processo de fabricação de um sorvete exige a composição balanceada entre seus ingredientes como exemplo quantidade de sólidos totais, gordura, açúcar, estabilizante, emulsificante e aromatizantes (Figura 1). Existem várias características da mistura do sorvete que devem ser analisadas para sua validação como: custo, propriedades de manipulação, viscosidade, ponto de congelamento, sabor, cor, textura, valor nutritivo e corpo (Souza, 2010).

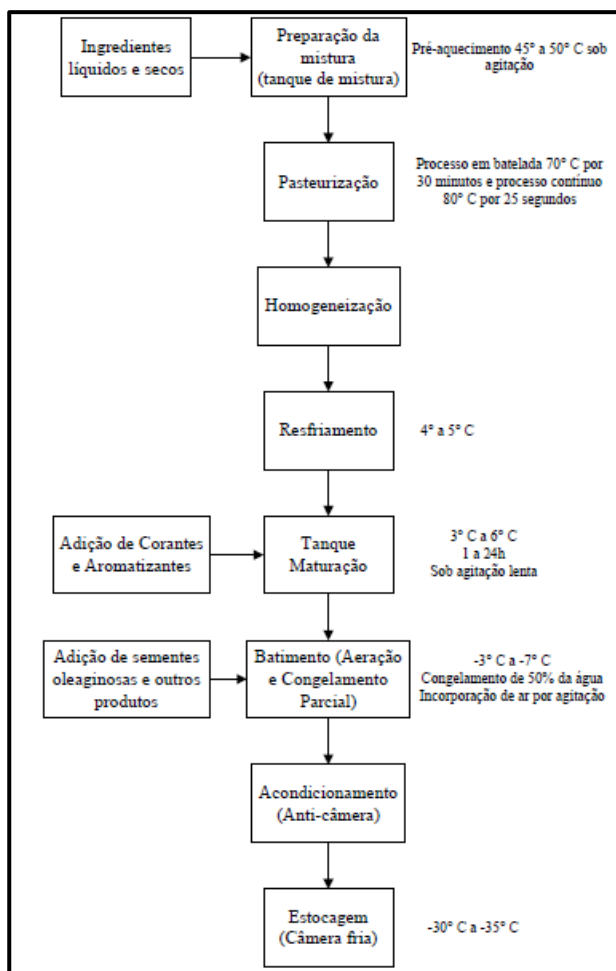


Figura 1 – Processo esquemático de fabricação do sorvete na indústria.
(Fonte: adaptado de Souza, 2010)



No processo de fabricação do sorvete a primeira etapa obrigatória é a pasteurização, que utiliza a variação de temperaturas altas e baixas, sendo possível a eliminação de germes e bactérias existentes. Depois desta etapa as seguintes fases devem ser seguidas: a) a homogeneização da mistura que tem como objetivo reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura da emulsão; b) a maturação da calda homogeneizada onde são adicionados aromatizantes, polpas de frutas, emulsificantes, acidulantes; c) congelamento e batimento da calda, onde ocorre a incorporação de ar, formação de cristais e aparecimento de uma fase não congelada.

Na homogeneização o produto adquire a textura mais cremosa, além de facilitar as ações dos agentes emulsificantes. Nessa fase fatores como a temperatura, pressão do homogeneizador, teor de gordura e a composição da calda são importantes para a determinação dessas características. A fase de maturação consiste em manter a calda por um mínimo de 4 horas a temperatura de 2 a 5°C antes do congelamento contribuindo para o aumento de viscosidade e resistência ao derretimento do sorvete. Por fim, a calda segue para a sorveteira subdividida em dois tipos de congeladores, os descontínuos e contínuos. As descontínuas são utilizadas para processos artesanais e em baixa escala de produção, enquanto as contínuas são utilizadas para produção em escala industrial (Souza, 2010).

O sorvete deve sair da sorveteira a uma temperatura de -6°C para o envase. O processo de congelamento deve continuar até o endurecimento, quando o produto será colocado em câmaras frias de temperatura -20° a -30°C, concluindo finalmente o processo de fabricação do sorvete.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A empresa objeto de estudo é uma indústria alimentícia localizada no município de Uberlândia, que realiza os processos de fabricação de sorvete e picolé, fundada em julho de 1986. Inicialmente a produção industrial era estritamente direcionada ao mercado consumidor local. Porém, a partir da década de 2000, ocorreram etapas de modernização tecnológica industrial e desenvolvimento de sua capacidade produtiva, permitindo que a empresa atingisse a média de produção em torno de 400.000 litros de sorvete mensalmente e ampliando muito, a visibilidade de sua marca no mercado regional.

O presente trabalho é resultado de um projeto de melhoria contínua na empresa iniciado em setembro de 2010 e que foi totalmente concluído em dezembro de 2014. O desenvolvimento desse trabalho, especificamente, ocorreu no período de julho a dezembro de 2014.

As coletas foram programadas e realizadas em um período amostral aleatório, durante o turno de operação do sorvete *sabor creme*, sendo obtidas dez amostras de produtos à cada sessenta minutos corridos do turno de fabricação (Tabela 1). As embalagens de dois litros de sorvete foram pesadas individualmente, e os valores obtidos, confrontados com aqueles especificados nos rótulos das embalagens, permitindo identificar o modo, ocorrência e demais características técnicas da variabilidade dessa medida nos produtos analisados nesse estudo (Figura 2). Esse procedimento amostral confere com o adotado pela empresa que já possui um padrão operacional padrão (POP) para a amostragem dos lotes, baseado na portaria INMETRO n° 74, de 25 de maio de 1995.



Figura 2 – Processo de envase e registro individual dos potes de sorvete (sabor creme) na indústria. (Fonte: organizado pelos autores).

Tabela 1 - Registro dos valores individuais, média e desvios do peso de potes de sorvetes (tipo creme) obtidos por amostragem. (Fonte: Dados da pesquisa).

Hora	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Média	Desvio-padrão
08:18	2008	2004	2000	2001	2005	2012	2010	2011	2015	2018	2008,4	5,6
09:18	2022	2024	2029	2008	2000	1991	1996	1998	1999	2001	2006,8	12,7
10:18	2003	2005	2004	2009	2016	2019	2022	2024	2033	2011	2014,6	9,4
11:18	2024	2022	2011	2012	2006	2002	2009	2011	2012	1998	2010,7	7,6
12:18	2014	2018	1996	2020	2020	2024	2021	2022	2026	2024	2018,5	8,2
13:18	2022	2026	2014	2012	2016	2019	2017	2019	2005	2015	2016,5	5,4
14:18	2018	2006	2003	2010	2004	2009	2003	2006	2004	2008	2007,1	4,3
15:18	2005	2008	1998	2000	2008	1995	1998	1999	2000	2006	2001,7	4,4
16:18	2016	2018	2020	2022	2026	2012	2014	2018	2020	2024	2019	4,1
17:18	2029	2024	2022	2017	2018	2021	2016	2010	2013	2018	2018,8	5,2

O procedimento operacional, adotado pela empresa possibilita melhor controle do indicador ‘peso’ do produto, pois os potes que estão abaixo do peso nominal de 1980 gramas são retirados do processo. Após fazer coletas de dados diariamente, intercalando várias horas dos turnos de trabalho, pode-se analisar o peso dos potes de sorvete em diferentes lotes e dentro de um único dia.

A coleta de dados permitiu fazer uma investigação sobre possíveis erros em horas do dia e, assim, permitiu a investigação mais aprofundada das possíveis causas de divergências nos pesos mensurados. Em um processo bastante automatizado, o sorvete é embalado através de roletas mecânicas que são responsáveis por despejar o sorvete dentro do pote de envase. Após o envase dos potes de sorvete, os produtos são encaminhados para uma esteira de rolagem até o registro dos pesos individuais.



Baseando-se nesses registros desenvolveu-se um estudo de capacidade do processo, que tem o objetivo de definir se um processo é capaz ou não de atender as especificações definidas pelo cliente. Sendo assim os principais índices são: C_P e o P_P . Para que seja possível o cálculo desses indicadores é necessário conhecer a quantidade de defeitos que ocorreram em um determinado processo e obter a fração defeituosa da operação (Montgomery, 1997).

O C_P compara a tolerância especificada com a variação potencial do processo, ou seja, se o processo estiver sob controle o C_P representa a capacidade real do processo, porém se o processo é imprevisível ou fora de controle, o C_P não será representativo (Equação 1).

Já o P_P compara a tolerância especificada com a performance do processo no passado, utilizando-se do desvio padrão de longo prazo. O C_P e o P_P são diferentes por considerarem o fator de dispersão (σ e s) do denominador; enquanto o P_P utiliza o desvio padrão global de todas as amostras, o C_P baseia-se a medida de dispersão média, obtida entre os valores de um mesmo subgrupo (Equação 2).

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma_{within}} \quad \text{Equação 1}$$

$$P_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma_{overall}} \quad \text{Equação 2}$$

sendo, LSE o limite superior de especificação, LIE o limite inferior de especificação, σ o desvio-padrão dentro dos grupos (em inglês, emprega-se o termo *within*) e o desvio-padrão natural do processo (em inglês, emprega-se o termo *overall*).

Assim, a proximidade entre os valores de C_P e P_P caracteriza um processo quanto à operação consistente. Quando esses dois índices diferem amplamente entre si, o processo está operando de forma imprevisível e, portanto, pouco capaz de atingir um nível desejado de qualidade baseado nos limites de especificação do processo.

Para os processos com algum deslocamento da média (ou média não centralizada), pode-se utilizar os índices C_{pk} e P_{pk} , conforme demonstrado em Herman (1989). Os valores obtidos são os mínimos calculados, considerando a distância entre a média e os limites de especificação para os desvios naturais (Equação 3) e geral do processo (Equação 4).

$$C_{pk} = \min \left[\frac{LSE-\bar{X}}{3\hat{\sigma}_{within}}; \frac{\bar{X}-LIE}{3\hat{\sigma}_{within}} \right] \quad \text{Equação 3}$$

$$P_{pk} = \min \left[\frac{LSE-\bar{X}}{3\hat{\sigma}_{overall}}; \frac{\bar{X}-LIE}{3\hat{\sigma}_{overall}} \right] \quad \text{Equação 4}$$

Os resultados são demonstrados graficamente com a plotagem dos LSE e LIE, média, desvio-padrão e enfoque nos índices C_P e P_P , a partir da função *Capability Analysis* no pacote *Quality Tools* do software MINITAB (v.17), amplamente empregado para o controle estatístico e confiabilidade de processos.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de peso dos potes de sorvete de dois litros para o sabor creme, coletados e tabulados, conforme demonstrado na Tabela 1 propôs-se gráfico de capacidade do processo em relação aos limites de especificação (Figura 3).

Percebe-se que o processo não está centralizado, observando-se que os dados estão deslocados para o lado direito, mais próximo do limite superior. Os índices C_{pk} e P_{pk} divergem dos índices de um processo supostamente centrado (C_p e P_p). Nesse sentido, um processo com deslocamento dos dados (i.e. média), torna-se incapaz de atendimento das especificações do cliente ou de engenharia. Portanto, entende-se que, havendo implementação de melhorias no processo, pode-se atingir um ganho expressivo com o ajuste da média, centralizando-a. Essa descentralização da média e o deslocamento dos dados para o limite superior caracteriza uma perda no processo, como desperdício, devido aos pesos dos potes estarem maior que a média. Ou seja, as oportunidades de melhorias que forem implementadas, poderão elevar a lucratividade da empresa, uma vez que, os potes terão o peso ideal.

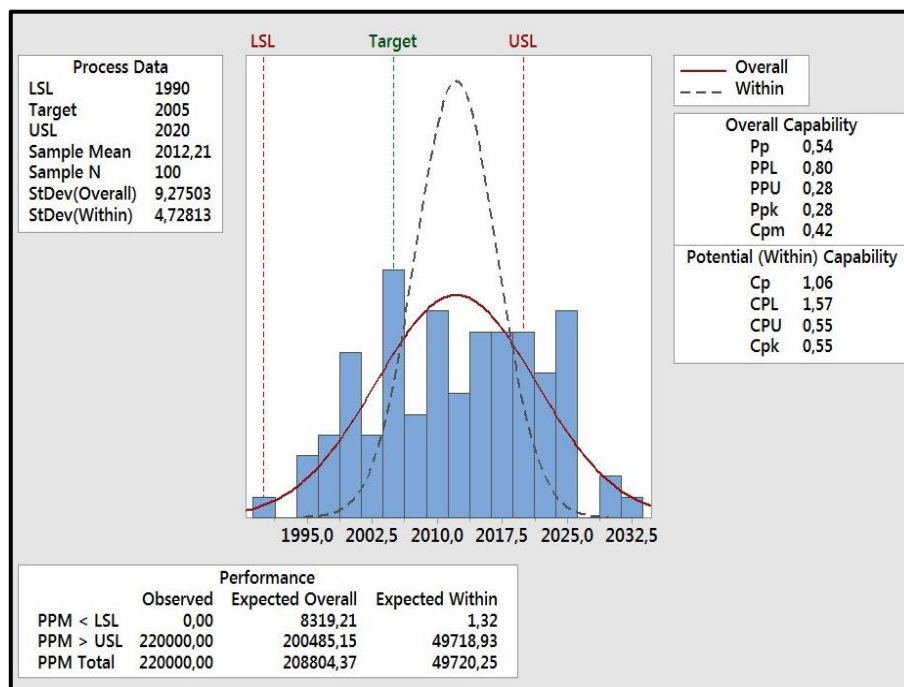


Figura 3 – Capacidade do Processo para o peso individual de sorvetes de dois litros.
(Fonte: Dados da pesquisa).

A divergência entre P_p (0,54) e C_p (1,06) por ser elevada sugere que há oportunidades de melhoria no processo devido à presença de causas especiais de variação (cerca de 76% das variações percebidas). Um projeto de melhoria contínua, baseado em detectá-las e atuar sobre elas,



poderia trazer ganhos expressivos no processo, centralizando a média e atendendo as especificações do cliente.

Em um programa de *seis sigma*, à partir da quantificação de defeitos produzidos pelo processo de envase de sorvetes sabor creme na empresa em estudo, pode-se afirmar que a incidência de causas especiais de variação são determinantes para o não atendimento no nível de qualidade *sigma*, ou o alcance de C_p maior ou igual 1,33. A *expectativa overall* (208.804,37 ppm) é bem superior à *expectativa within* (49.720,25 ppm), ou seja, a diferença (ou 159.084 ppm) é devida à ocorrência de defeitos por causas especiais, em 1.000.000 de oportunidades.

Com essa análise é possível verificar também que aproximadamente 24% da variação total do processo deve-se às causas comuns de variabilidade. Além disso, com o valor de Z_{Bench} (0,81), é possível identificar que o nível de qualidade sigma do processo de envase de sorvete sabor creme é 2,31, ou seja, é reafirmado que os produtos que são produzidos nestes processos possuem um nível elevado de não-conformidade.

Para melhorar o processo de envase de sorvete sabor creme e conseqüentemente, aumentar o nível de qualidade do peso do pote de sorvete, faz-se necessário a implementação de algumas ações imediatas que farão com que o processo eleve o nível de qualidade e de confiabilidade. Desse modo, é necessário atuar possivelmente sobre a regulação e manutenção da máquina de envase da linha de produção dos sorvetes sabor morando, de modo que a máquina opere da melhor forma constantemente.

É possível também considerar a implementação de sensores na máquina de envase para se ter uma melhor eficiência e padronização no enchimento do pote de sorvete de sabor creme, podendo assim, ter um melhor controle do produto e possivelmente, poderá ocorrer uma diminuição ou até a eliminação de ocorrência de defeitos por causas especiais.

Uma vez comprovada a efetividade das ações, este processo deve atender o nível de qualidade sigma (C_p maior ou igual a 1,33) e como consequência, obter redução de ocorrência não-conformidades, o maior controle da variabilidade de seus processos e o aumento da lucratividade da empresa.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir acerca da aplicação das ferramentas de Controle Estatístico do Processo (CEP), em especial da análise de capacidade e performance do processo que:

- Especificamente quanto à variabilidade de peso de potes de sorvete *sabor creme* em uma linha industrial, há indícios de ocorrência de causas especiais. Estas causas reduzem a capacidade do processo e aumentam o número de não-conformidades produzidas.



- Há maior registro de valores próximos ao limite superior, ou seja, os produtos podem chegar ao mercado com sobrepeso, caracterizando desperdício para a empresa e, conseqüentemente, redução das margens de lucro.
- Além das causas especiais, foi possível identificar que aproximadamente 24% da variação total do processo é devido a causas comuns de variabilidade, que podem ser reduzidas com ações internas.
- O processo pode ser capaz ($C_p > 1,00$), quanto ao atendimento de especificação. A atuação sobre as causas especiais – possivelmente a regulagem e manutenção da máquina de envase da linha de produção dos sorvetes sabor creme – pode representar melhorias significativas nesse indicador, reforçando a premissa de capacidade do processo.

REFERÊNCIAS

GALUCH, L. Modelo para implementação das ferramentas básicas do controle do processo – CEP em pequenas empresas manufatureiras. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

HERMAN, J. T. Capability Index - Enough for Process Industries. Transactions of the ASQC Quality Congress, Toronto, p. 670-675.1989.

INMETRO – Portaria nº 74. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 25 de mai. 1995.

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

MINITAB. Release 17 for Windows. Copyright 1972-2017.

MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. John Wiley and Sons: New York. 1997.

_____. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

OLIVEIRA, J. B. Análise da capacidade de um processo: Um estudo de caso baseado nos indicadores C_p e C_{pk} . MG: Belo Horizonte, 2011.

PINTO, S. H. B. Indicadores de capacidade sigma de processos e melhoria de desempenho: Estudo de caso em serviços ao cliente. CE: Fortaleza, 2015.

RIBEIRO, J. L.; CATEN, C. S.; e FRITSCH, C. Controle Integrado de Processos. Revista Produto e Produção, vol. 2, n. 3, p. 160-175. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia –UFRGS, outubro 1998.

SIQUEIRA, L.G.P. Controle Estatístico do Processo. 1.ed. São Paulo: Editora Pioneira, 1997.

SOUZA, J.C.B, Sorvete: Composição, Processamento e Viabilidade da Adição de Probiótico. São Paulo: Araraquara, 2010.

WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte – MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.