

## **CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO APLICADO AO PROCESSO DE ENVASAMENTO EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Ives Eduardo Ferreira (IFMG) ives.eduardo@hotmail.com

Lucas Mucidas de Almeida (IFMG) lucasmucidas@gmail.com

Paulo Eduardo Silva Costa (IFMG) paulo-eduardo07@hotmail.com

Rômulo Augusto Modesto Oliveira (IFMG) romulo.amo@outlook.com

Sílvia Maria Santana Mapa (IFMG) silvia.mapa@ifmg.edu.br

### **Resumo**

Em sua busca incessante por cada vez mais qualidade em produtos, serviços e processos, as empresas adotam um conjunto de técnicas e ferramentas que auxiliam nessa busca, sendo uma delas o Controle Estatístico do Processo (CEP) e da Qualidade (CEQ). Este trabalho possui como objetivo de seu estudo a aplicação de técnicas do CEP no processo de envase em uma indústria de bebidas, que produz suco de laranja concentrado. Para cumprir este objetivo, foram aplicadas ferramentas da qualidade como o diagrama de causa e efeito, testes de normalidade (necessários a este tipo de estudo), cartas de controle do tipo  $\bar{X}$  - R e uma análise de capacidade do processo. O processo se mostrou incapaz, repleto de causas especiais e com muitos pontos fora dos limites de especificação em primeira instância. Após a aplicação das técnicas citadas, se tornou um processo satisfatoriamente capaz, em controle estatístico e com produção dentro dos limites de especificação estabelecidos, o que reduziu uma série de custos provenientes de desperdícios e aumentou a eficiência produtiva. Os resultados indicam a necessidade de um constante monitoramento neste processo, a fim de garantir que as causas especiais sejam constantemente tratadas de modo que não comprometam o processo e a qualidade dos produtos obtidos.

**Palavras-Chaves:** Controle Estatístico da Qualidade, Indústria de Bebidas, Gráficos de Controle.

### **1. Introdução**

A laranja é um importante produto do agronegócio brasileiro, sendo o Brasil responsável por cerca de 87% da produção desta fruta na América do Sul e quase 50% a nível global (FAO, 2017), por isso é natural que em sua economia esteja presente múltiplos produtos derivados, dentre eles os sucos industrializados. O setor industrial da laranja brasileiro empregava por volta de 400 mil pessoas e respondia por 80% do suco concentrado em âmbito global,

movimentando cerca de U\$ 1,5 bilhões/ano (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2006). Em um mercado com grande movimentação de capital é de vital importância que um alto nível de qualidade seja empregado na produção.

Segundo Paladini (2008) a “[...] qualidade é um conjunto de características, propriedades, elementos ou atributos que compõem bens e serviços.” e este é um fator competitivo tanto na redução de custos quanto na captação de clientes, como dito por Campos (2014), a preferência do consumidor é o que guia o critério para uma boa qualidade.

O presente estudo busca a melhoria da qualidade do processo em uma indústria de bebidas que atua na produção de suco de laranja concentrado. A empresa se localiza na região de Belo Horizonte/MG e seu portfólio de produtos contempla copos e garrafas de 300 ml, o qual são destinados a hotéis, escolas, pequenos mercados, dentre outros.

Segundo Montgomery (2014), o Controle Estatístico do Processo, ou simplesmente CEP, traz uma poderosa coleção de ferramentas que estabilizam o processo e reduzem a variabilidade, ajudando a resolver múltiplos problemas. Este conjunto de técnicas será aplicado no processo de envase dos sucos de forma a garantir um controle estatístico e um processo estável.

## **2. Controle estatístico do processo e da qualidade**

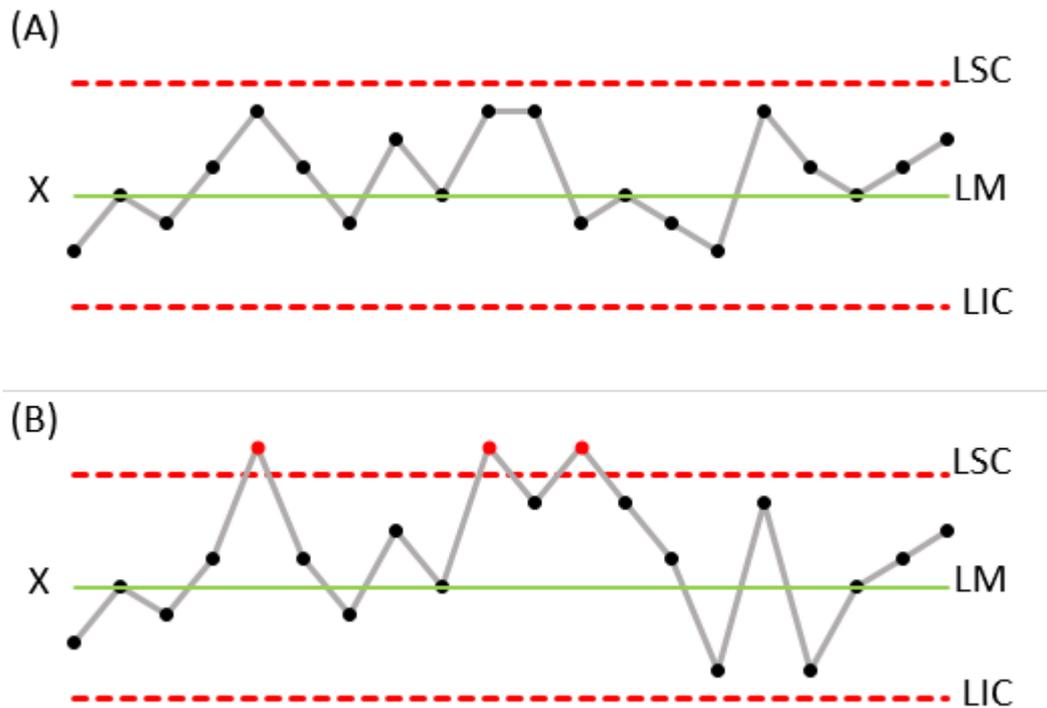
Um conjunto de ferramentas estatísticas e da qualidade foram aplicadas ao longo deste trabalho por meio do software *Action Stat Quality*<sup>®</sup>, que consiste em um sistema estatístico desenvolvido pela Estatcamp, utilizando a plataforma R, principal linguagem de programação estatística de uso mundial integrado ao *Microsoft Excel*<sup>®</sup> (PORTAL ACTION, 2017).

### **2.1. Gráfico de controle por variáveis**

O gráfico de  $\bar{X}$  é utilizado para controle da média do processo, e o de R de sua variabilidade (amplitude) e, segundo Ramos (2000), sua utilização em conjunto é de extrema importância para um controle eficiente do processo. Todos processos estão sujeitos a causas aleatórias contra qual pouco se pode fazer e ocasionalmente a causas especiais: que são problemas que causam anormalidade ao processo (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). As cartas (ou gráficos) de controle propostas originalmente por Shewhart surgem justamente para mostrar visualmente o processo e intervir quando problemas surgirem.

O gráfico demonstra duas linhas pontilhadas de limites superior e inferior de controle (LSC/LIC) que irão delimitar uma área, onde os pontos internos indicam que o processo ainda está sob controle, conforme Figura 1 – (A), caso os pontos extrapolem estes limites o processo se encontra fora de controle estatístico e é necessário intervir no processo, Figura 1 – (B).

Figura 1 – Gráficos de Controle



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os gráficos utilizados neste trabalho são os de controle por variáveis, que são utilizados quando a grandeza em estudo é mensurável (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). Estes podem ser dos seguintes tipos, segundo Montgomery (2014):

- a) Gráfico da Média ( $\bar{X}$ ): Na construção do gráfico são plotados as médias das amostras, mostrando a variabilidade do processo em relação a média;
- b) Gráfico da Amplitude (R): Na construção do gráfico são plotados as amplitudes das amostras, mostrando a variabilidade dentro de uma mesma coleta. É utilizado em conjunto ao gráfico da média;

- c) Gráfico de Medidas Individuais (MI): Na construção do gráfico é utilizado amostras de uma única unidade, é utilizado majoritariamente em processos que são produzidas poucas unidades em um intervalo longo de tempo;
- d) Gráfico do Desvio Padrão ( $\sigma$ ): Na construção do gráfico são plotados os valores do desvio padrão e é utilizado em conjunto ao gráfico da média.

## 2.2. Teste de normalidade

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov é um teste não-paramétrico que irá definir baseado em suas hipóteses se a amostra segue uma distribuição normal ou não (ENCYCLOPEDIA OF MATHEMATICS, 2010):

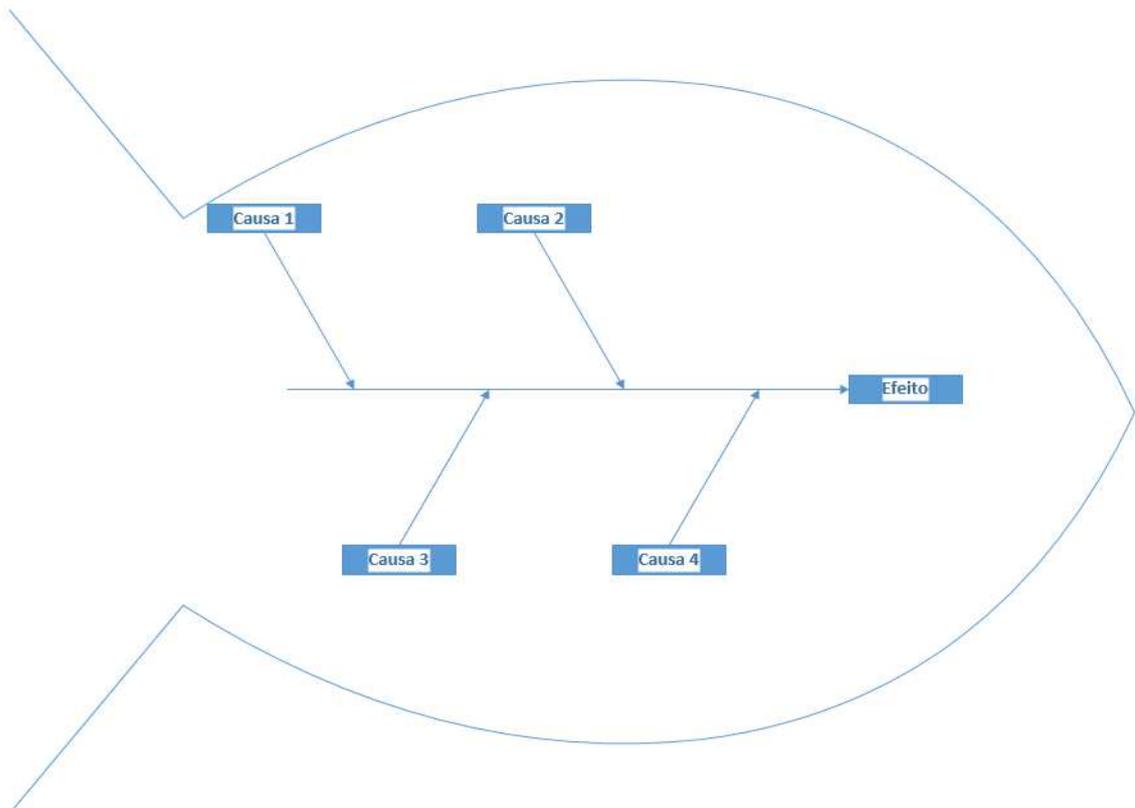
- H0: Distribuição normal;
- H1: Distribuição diferente da normal.

Segundo Costa, Epprecht e Carpinetti (2005), a utilização de uma amostra seguindo uma distribuição normal é de extrema importância para a aplicação das ferramentas do CEP.

## 2.3. Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito é também conhecido como espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador o engenheiro Kaoro Ishikawa (LINS, 1993).

Figura 2 – Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Elaborado pelos autores.

É utilizado para identificar as causas de um problema a partir de grupos básicos de possíveis causas, conhecido como os 6M's:

- a) Máquinas;
- b) Materiais;
- c) Mão-de-obra;
- d) Métodos;
- e) Meio ambiente;
- f) Medidas.

#### **2.4. Capacidade do processo**

A análise de capacidade do processo consiste em verificar a que nível se é produzido itens conforme as especificações do projeto (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). A capacidade depende da variabilidade do processo e das especificações, sendo assim, um

processo com a presença de causas especiais pode ainda produzir unidades dentro das especificações. O contrário também pode ocorrer: um processo isento de causas especiais produzindo fora dos limites especificados, ou seja, a capacidade do processo não está vinculada exclusivamente as causas especiais (embora estas reduzam a capacidade).

Os ICPs (Índices de Capacidade do Processo), são parâmetros adimensionais que indiretamente medem a capacidade do processo de atender as especificações (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005). Existem diversos ICPs, sendo os principais o  $C_p$ ,  $C_{pk}$  e  $C_{pm}$  que podem ser calculados segundo as equações a seguir:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \times \sigma}$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3 \times \sigma}, \frac{\mu - LIE}{3 \times \sigma} \right\}$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6 \times \sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$

Onde,

LSE = Limite Superior de Especificação;

LIE = Limite Inferior de Especificação;

$\sigma$  = Desvio padrão;

$\mu$  = Média amostral;

d = Ponto médio do intervalo de especificação, que pode ser obtido através da equação:

$$d = \frac{LSE + LIE}{2}$$

Quanto maior o valor destes índices, melhor. Uma classificação do processo em relação a capacidade pode ser observada a seguir:

Tabela 1 – Interpretação do  $C_{pk}$

<b>Valor do Cpk</b>	<b>Status</b>	<b>Relação com Cp</b>
$Cpk \geq 1,33$	Processo CAPAZ	Processo Centrado: $Cp = Cpk$ Fora de Alvo: $Cp \neq Cpk$
$1 \leq Cpk < 1,33$	Processo RAZOAVELMENTE CAPAZ	$Cpk < Cp$ Processo dentro dos limites de especificação, mas fora de alvo
$Cpk < 1$	Processo INCAPAZ	$Cpk \ll Cp$ Processo fora dos limites de especificação e do alvo

Fonte: Adaptado de Costa, Epprecht e Carpinetti (2005) e Portal Action (2017).

### 3. CEP aplicado ao processo de envase

Após uma visita à indústria, optou-se por fazer o estudo do processo de envase, que consiste em preencher os recipientes com o suco de laranja já em seu estado próprio para consumo, onde em sequência são enviados para refrigeração até sua distribuição ao consumidor. O motivo da escolha se deu após notar-se um constante desperdício do suco de laranja ao longo do processo, onde o líquido constantemente atingia as bordas e caía para fora do recipiente. Outro ponto importante a ser notado foi a diferença entre os jatos de envase, onde surgiu a hipótese que estes não estavam controlados corretamente.

O operador responsável pela qualidade informou que muitos produtos não seguiam para distribuição, pois não se encontravam dentro dos limites de especificação estabelecidos pela empresa (LSE = 305,0; LIE = 295,0), que contemplam as legislações vigentes e necessidades técnicas

Após esta identificação de oportunidades, foram seguidos os passos abaixo e adotado como a metodologia do estudo:

- a) Entender os princípios de funcionamento da máquina responsável pelo envase;
- b) Coletar amostras;
- c) Tratar os dados e realizar testes de normalidade e capacidade do processo;
- d) Realizar uma análise plotando os dados e verificar sua relação com os limites de especificação;

- e) Ao identificar a presença de causas especiais, utilizar o diagrama de causa e efeito para identifica-las e propor soluções;
- f) Tratar as causas especiais;
- g) Realizar novamente uma coleta de amostras, realizando novamente os estudos c) e d);
- h) Criar e analisar os Gráficos de Controle de  $\bar{X}$  e R.

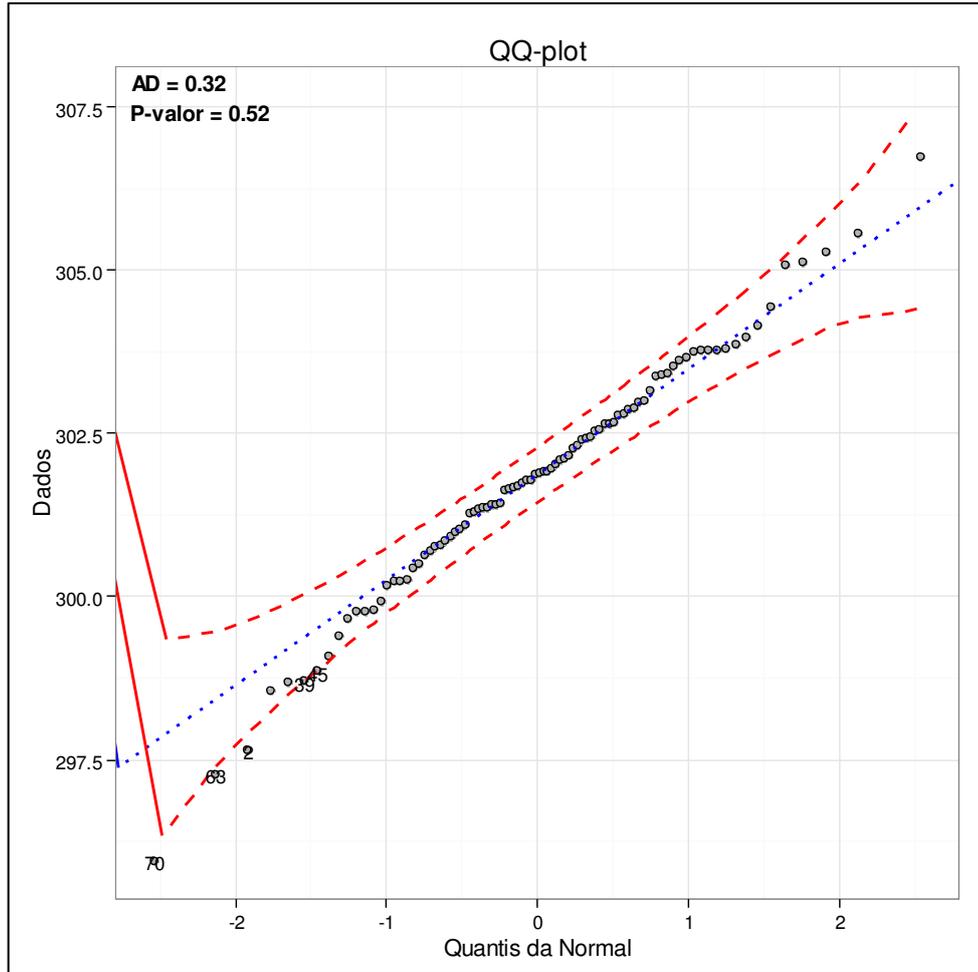
A primeira coleta foi realizada por dois operadores (um a cada turno) ao longo de um dia, em intervalos de 30 a 30 minutos, verificando o conteúdo dos recipientes de 300 ml, sendo coletadas 5 amostras por intervalo de tempo, em 18 intervalos. Os recipientes tiveram seus pesos descartados medindo apenas o conteúdo presente. A primeira coleta pode ser vista a seguir:

Tabela 2 – Primeira coleta realizada

Controle - Envase de Suco de Laranja - 300ml						
n	Intervalo	A1	A2	A3	A4	A5
1	08:30	301,73	297,65	300,25	303,42	303,76
2	09:00	301,89	299,39	301,43	302,65	301,92
3	09:30	302,43	300,98	301,29	303,75	305,11
4	10:00	303,38	299,76	300,44	305,07	303,86
5	10:30	301,64	301,09	302,15	300,70	302,79
6	11:00	302,30	301,40	302,98	301,03	302,44
7	11:30	300,49	299,76	302,99	301,92	302,02
8	12:00	305,28	301,41	299,09	298,70	303,96
9	12:30	301,78	302,52	303,77	301,69	298,85
10	13:00	300,24	300,79	302,66	302,89	300,77
11	13:30	301,37	302,87	302,64	300,92	301,33
12	14:00	301,86	302,56	302,39	303,65	302,10
13	14:30	298,69	302,78	297,27	306,74	303,80
14	15:00	305,57	303,40	299,78	301,79	295,95
15	15:30	301,95	303,62	300,64	304,14	301,28
16	16:00	300,17	301,66	300,85	299,66	303,52
17	16:30	298,56	303,16	301,37	302,26	300,24
18	17:00	299,93	301,62	304,43	302,08	303,78

Ao realizar os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, notamos que a amostra segue a distribuição normal com seus pontos seguindo a linha e obtendo um p-valor condizente, estando apta a ser analisada e trabalhada sob as ferramentas do CEP.

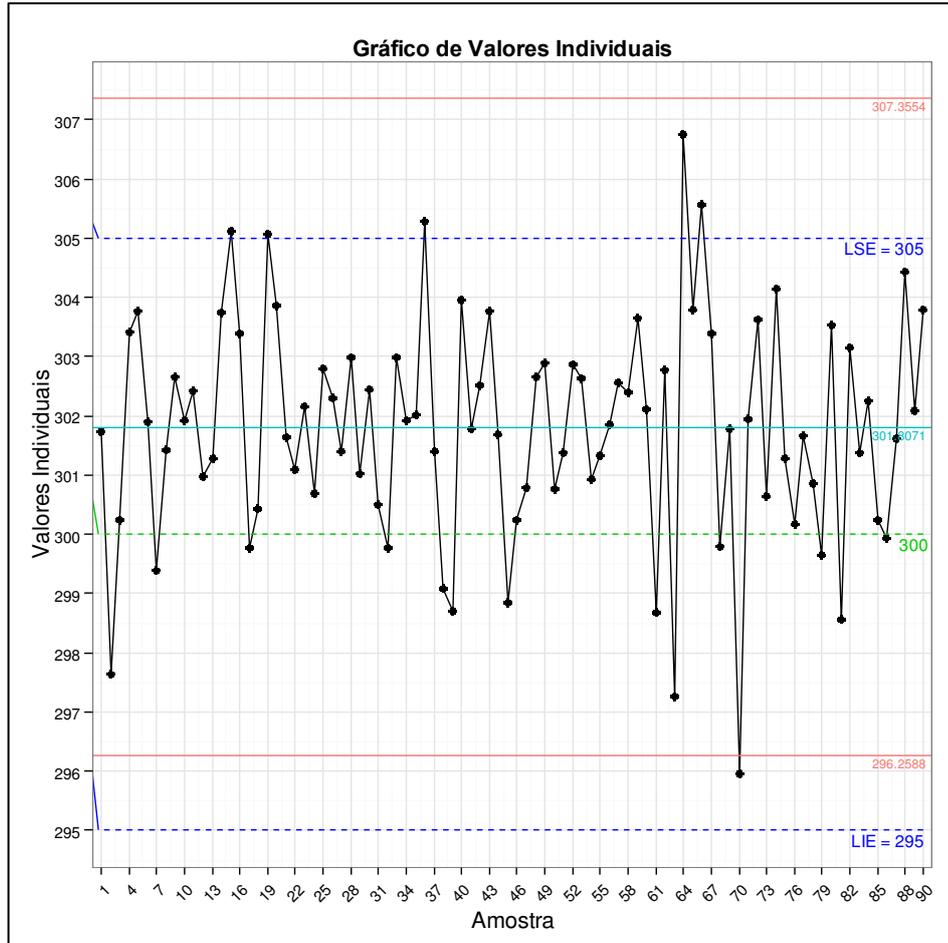
Figura 3 – Teste K-S de normalidade



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao plotarmos os pontos em um gráfico e calcularmos seus limites de controle (LC) e demarcarmos os limites de especificação (LE), observamos que os LC estão muito além dos LE e que a média dos dados se encontra distante do valor-alvo, que é 300ml. Embora apenas um ponto tenha se demonstrado fora de controle, é notável que este processo está gerando um número muito grande de itens fora de especificação, que não podem ser enviados ao consumidor, gerando retrabalho.

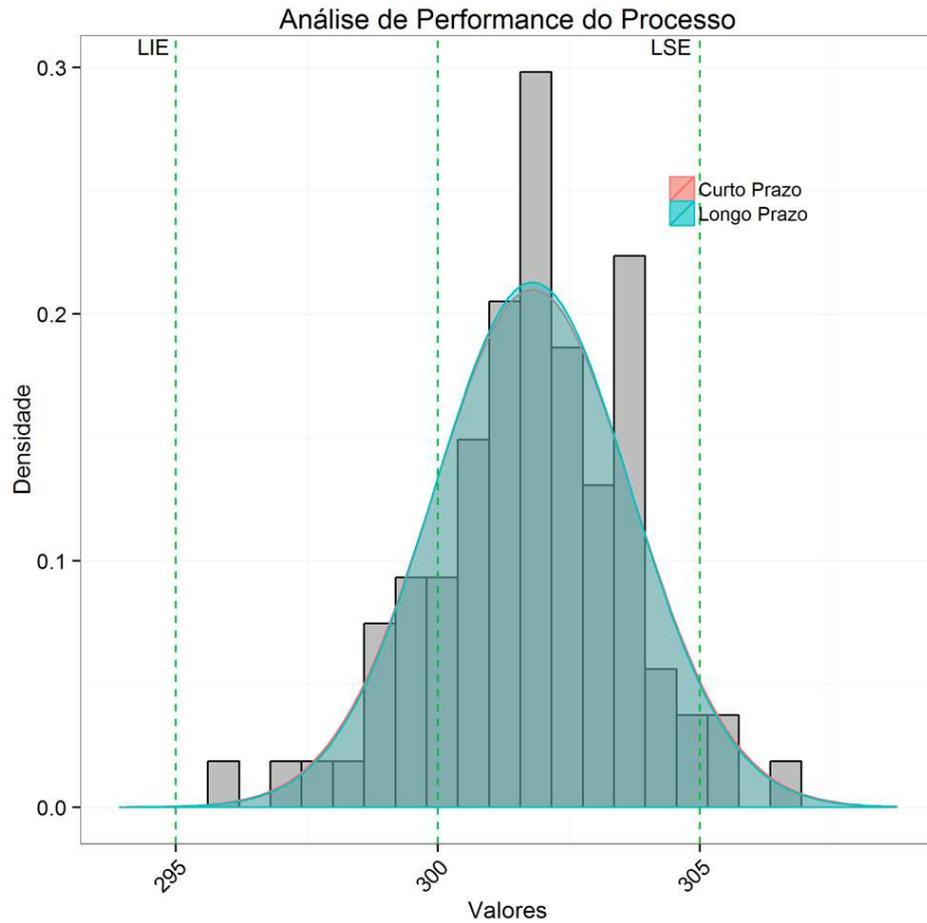
Figura 4 – Gráfico com os LC e LE gerados para a primeira coleta



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao realizar uma análise de capacidade do processo, através do *Action Quality*<sup>®</sup>, obtivemos os ICPs,  $C_{pk} = 0,56$  e  $C_p = 0,88$ . É possível observar através do histograma que o índice  $C_{pk}$  se encontra inferior ao  $C_p$ , em vista que sua média dista do valor-alvo. É notório também o número de pontos que são produzidos acima do LSE (305), que diminui drasticamente a capacidade do processo. Pelo próprio valor do  $C_{pk}=0,56$ , ao consultar a tabela concluímos que o processo se classifica como INCAPAZ.

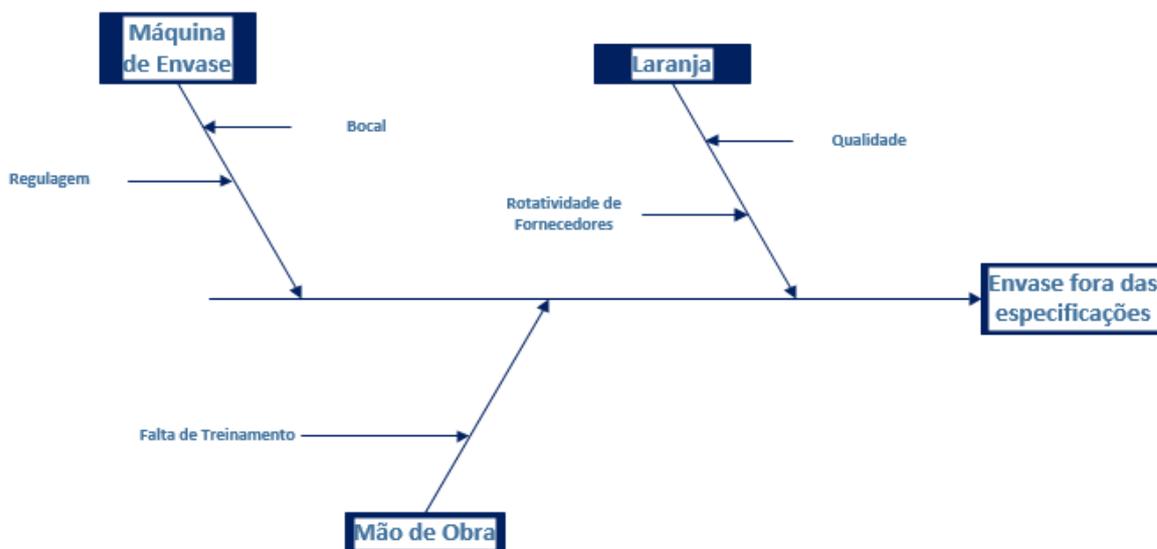
Figura 5 – Análise de capacidade do processo para a primeira coleta.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A alta variabilidade deste processo é inerente a um conjunto de causas especiais que devem ser tratadas e controladas de forma que o processo se torne estável. Para identificação destas causas especiais foi feito um diagrama de causa e efeito, com todas as possíveis causas, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Elaborado pelos autores.

As primeiras hipóteses antecedendo o próprio processo de envase seriam a respeito da matéria-prima, a laranja, que vêm de múltiplos fornecedores e poderia ter uma qualidade destoante, assim como o processo de seleção, que é realizado por dois funcionários e poderiam não ter um treinamento adequado para o mesmo. Ao questionar a gerência sobre estes, verificou-se que o processo de qualidade garante que a matéria-prima vinda de múltiplos fornecedores fique homogênea, através de um *blend* realizado com os múltiplos tipos de laranja. Os funcionários responsáveis pelo processo de seleção também possuem treinamento e seguem um padrão para identificar quais laranjas estão ou não aptas a seguirem no processo.

Sendo assim, sobrou apenas uma das causas que já eram notórias desde o processo de seleção para o estudo: a máquina de envase. O diâmetro do bocal, juntamente à ausência de regulagem, acabava por gerar desperdícios do suco e gerar jatos com quantidades diferentes, que muitas vezes acabavam por ultrapassar os limites especificados, como visto na Tabela 2.

Para eliminar estas causas especiais, primeiramente foram instalados bocais afunilados que ocasionavam em diâmetros menores e mais precisos. Estes bocais foram produzidos sob demanda através de impressão 3D, utilizando materiais que atendiam às necessidades estabelecidas pela empresa. Com o novo bocal, entrou-se em contato com a empresa que produzira a máquina e foi solicitado um técnico para proceder a regulagem.

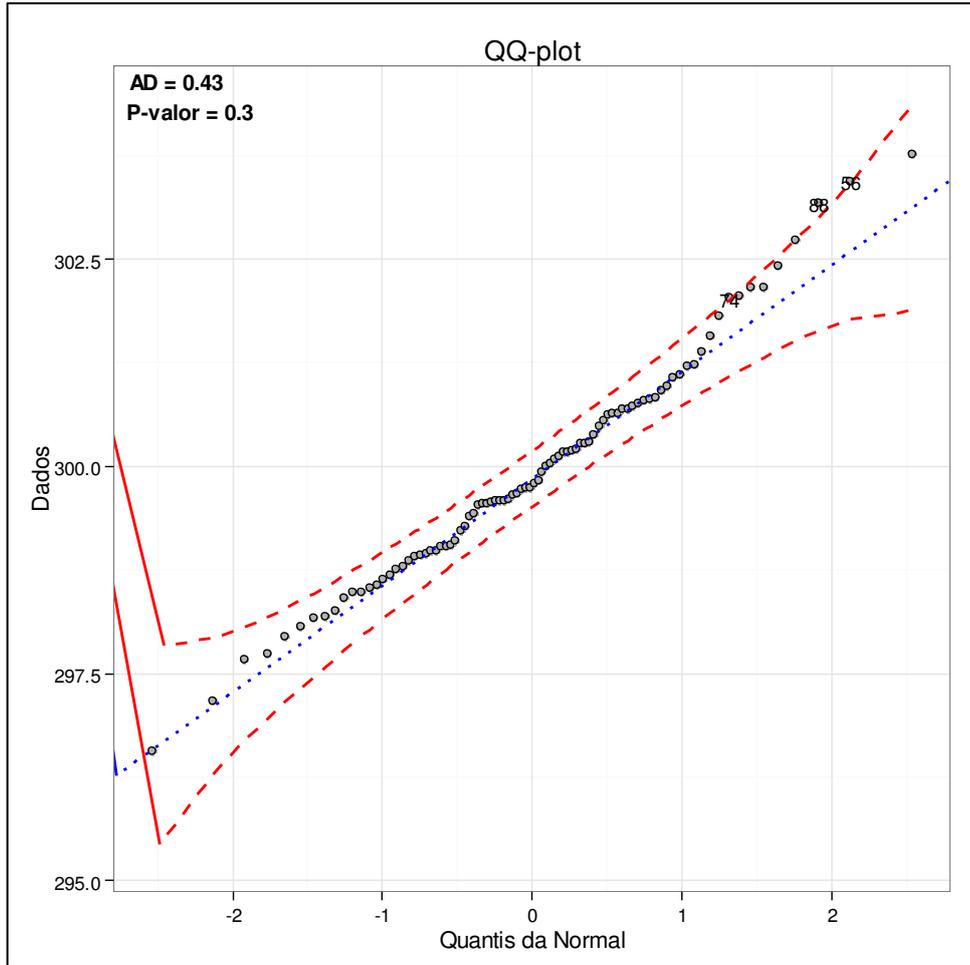
Com as causas especiais tratadas, foi realizada uma segunda coleta seguindo os mesmos moldes da anterior, que pode ser observada a seguir.

Tabela 3 – Segunda coleta realizada

Controle - Envase de Suco de Laranja - 300ml						
n	Intervalo	A1	A2	A3	A4	A5
1	08:30	302,14	300,96	298,40	301,37	299,41
2	09:00	299,56	299,27	303,76	299,66	300,63
3	09:30	297,15	298,24	300,19	299,71	297,66
4	10:00	300,72	299,74	300,78	300,12	299,39
5	10:30	296,56	299,79	301,56	300,82	299,09
6	11:00	300,90	299,58	298,97	300,75	298,75
7	11:30	300,68	302,72	302,15	298,98	299,04
8	12:00	298,85	298,17	301,06	298,48	298,55
9	12:30	301,23	299,82	298,62	300,69	299,64
10	13:00	297,72	302,05	299,57	299,73	300,47
11	13:30	299,21	300,63	300,54	302,42	299,58
12	14:00	303,43	300,62	297,94	299,02	301,19
13	14:30	301,10	300,38	300,27	300,27	299,55
14	15:00	300,17	299,03	298,68	300,18	298,17
15	15:30	300,81	300,28	298,90	302,03	299,54
16	16:00	298,93	298,92	298,52	300,07	299,60
17	16:30	300,17	298,06	299,92	298,77	299,99
18	17:00	300,03	298,46	303,18	301,80	299,52

Com a nova coleta, o mesmo procedimento de testar a normalidade foi feito, a fim de garantir a possibilidade de aplicação das ferramentas do CEP, novamente atendendo e se mostrando seguir uma distribuição normal.

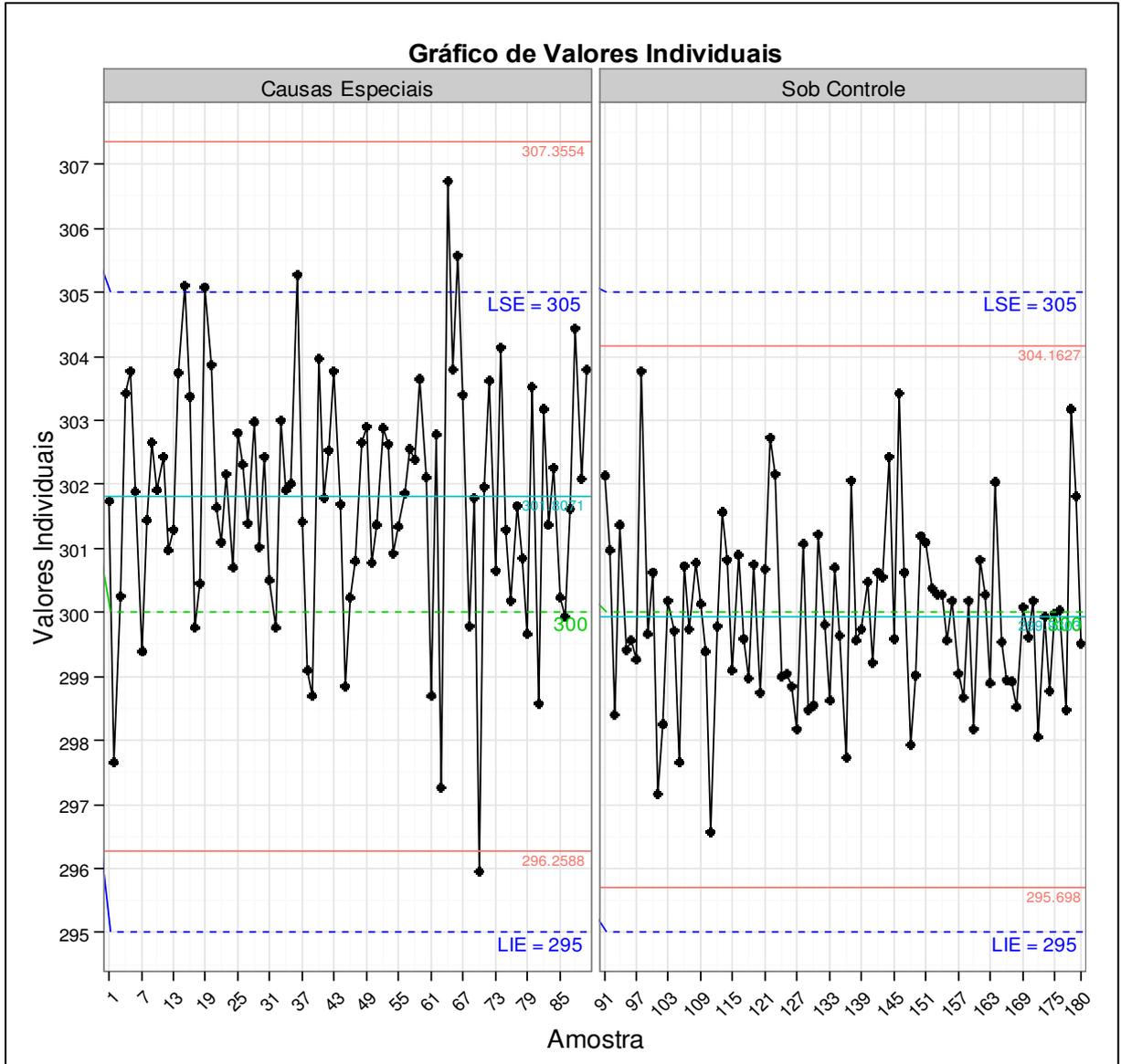
Figura 7 – Teste K-S de normalidade



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao plotarmos os dados da nova coleta e compararmos com a primeira, notamos que os limites de controle do processo se encontram dentro dos limites de especificação, onde todos os pontos estão contidos entre os mesmos, não produzindo itens fora de especificação. Outro item a ser observado é que a média se encontra próxima ao valor-alvo de 300ml após as causas especiais terem sido eliminadas.

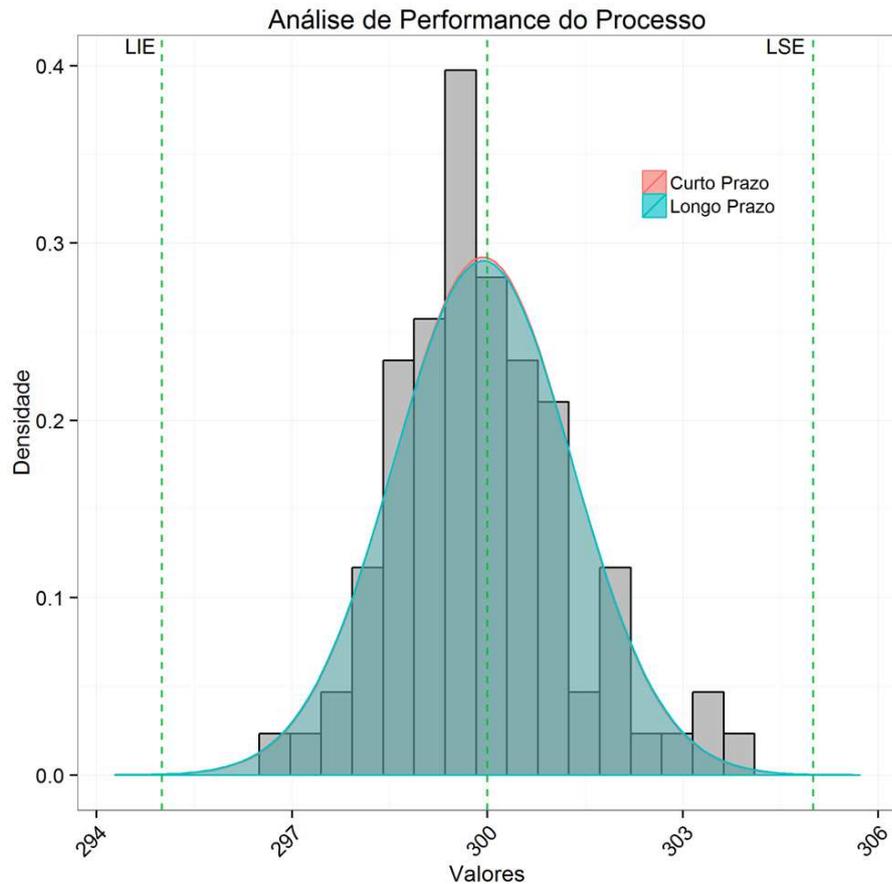
Figura 8 – LC e LE do processo com e sem causas especiais



Fonte: Elaborado pelos autores.

A capacidade do processo também conquistou melhoras significativas: Os novos valores dos ICPs foram  $C_{pk} = 1,2$  e  $C_p = 1,22$ . É possível perceber que o processo ainda não se encontra centrado ( $C_{pk} < C_p$ ), mas já se encontra no nível de RAZOAVELMENTE CAPAZ, possuindo todos os pontos dentro dos limites de especificação. Com o processo isento de causas especiais, sob controle estatístico e seguindo a distribuição normal, estamos aptos a plotar os gráficos de controle de  $\bar{X}$  e R. O histograma com a capacidade do processo pode ser observado abaixo, refletindo a análise acima:

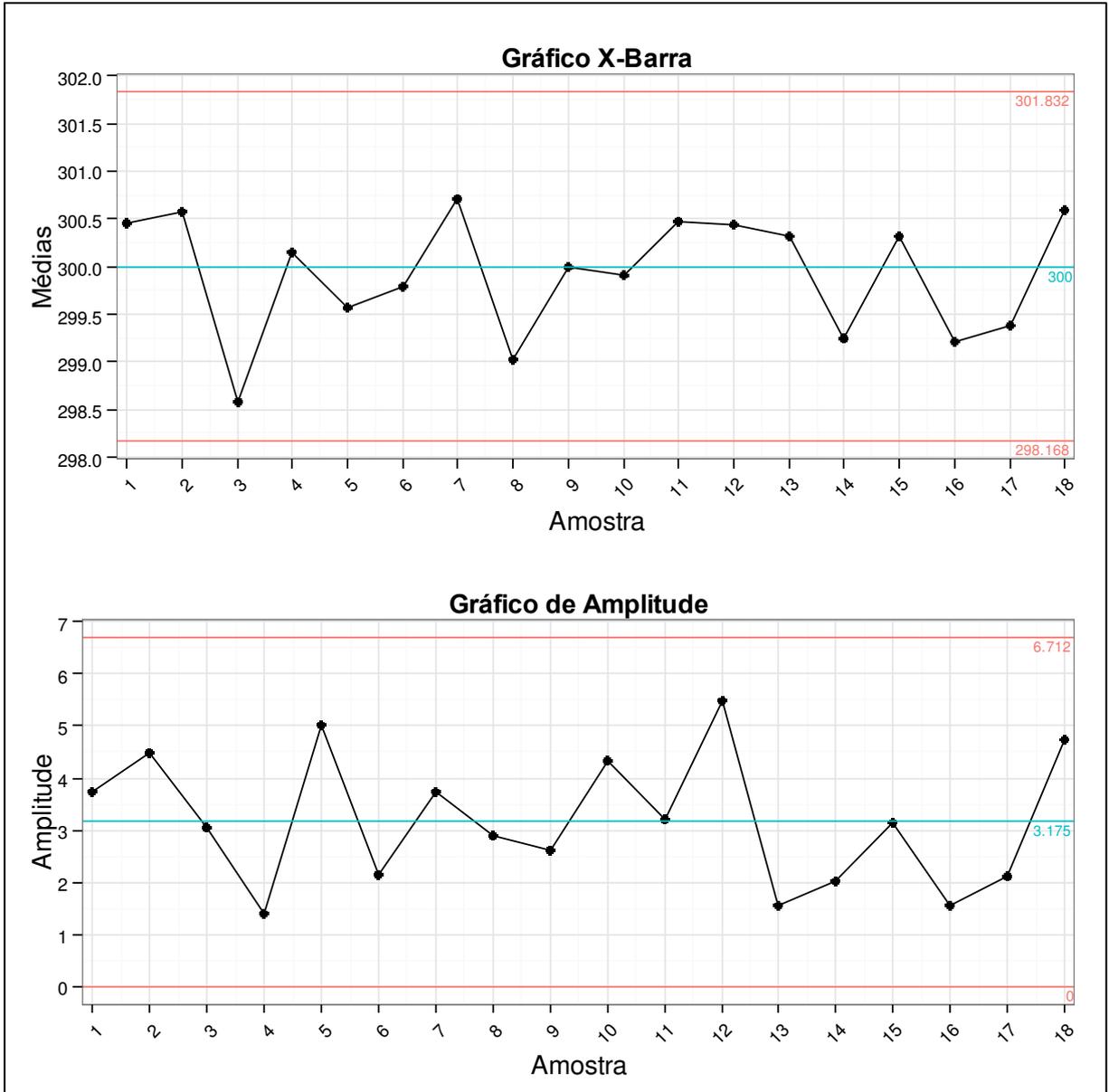
Figura 9 – Análise de capacidade do processo para a segunda coleta



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para elaboração dos gráficos de controle, são calculados os LSC e LIC para os dados com subgrupos de 5 amostras. Quando os pontos ultrapassarem estes LC é um sinal que deve-se intervir no processo e tratar as novas causas especiais, de forma que nenhum item fora de conformidade seja produzido. Os gráficos de controle de  $\bar{X}$  e R plotados na Figura 10 demonstram o processo sob controle estatístico.

Figura 10 – Gráficos de  $\bar{X}$  e R



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4. Conclusão

O presente trabalho demonstrou através do processo de envase como o Controle Estatístico do Processo é uma importante ferramenta competitiva para as empresas. Ao ser aplicado, foi economizado cerca de 12% de suco de laranja que era desperdiçado ao longo do processo, além de produzir apenas itens dentro dos limites de especificação e funcionar como uma ferramenta analítica para atuar nas causas especiais antes que elas de fato se tornem danosas ao processo. A indústria alimentícia, devido ao seu processo rigoroso, necessita do CEP aplicado aos

processos mais complexos (como a pasteurização), porém, em processos simples como o envase também é de grande utilidade.

## 5. Referências

CAMPOS, V. F. **TQC. Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês**. 9ª. ed. Nova Lima: INDG, 2014.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

ENCYCLOPEDIA OF MATHEMATICS. Kolmogorov-Smirnov test. **Encyclopedia of Mathematics Website**, 2010. Disponível em:  
<[https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Kolmogorov%E2%80%93Smirnov\\_test](https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Kolmogorov%E2%80%93Smirnov_test)>. Acesso em: 15 Janeiro 2017.

FAO. FAOSTAT. **FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2017. Disponível em:  
<<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 14 Janeiro 2017.

LINS, B. F. E. Ferramentas básicas da qualidade. **Ci Inf.**, Brasília, Maio/Agosto 1993. 153-161.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

PALADINI, E. P. **Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PORTAL ACTION. Sobre o Action. **Site Portal Action**, 2017. Disponível em:  
<<http://www.portalaction.com.br/sobre-o-action>>. Acesso em: 14 Janeiro 2017.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

RODRIGUES, L. R.; OLIVEIRA, E. A. D. A. Q. A trajetória das exportações de laranja do Brasil. **X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**, São José dos Campos, 2006. 3081-3084.