



# **Aplicação de Controle Estatístico em Processo de Produção de Produtos Odontológicos**

Janine Dias Ferreira

## **Projeto Final de Curso**

Orientadora

Erika Christina Ashton N. Chrisman

Agosto de 2017

# **APLICAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PRODUTOS ODONTOLÓGICOS**

*Janine Dias Ferreira*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Química Industrial.

Aprovado por:

---

Carlos André Vaz Junior, D. Sc.

---

Mônica Antunes Pereira da Silva, D. Sc.

---

Yordanka Reyes Cruz, D. Sc.

Orientado por:

---

Erika Christina Ashton N. Chrisman, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2017

## Ficha Catalográfica

Ferreira, Janine Dias.

Aplicação de Controle Estatístico em Processo de Produção de Produtos Odontológicos

Janine Dias Ferreira.

Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2017.

x, 61. p.; il.

Projeto de Conclusão de Curso

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2017.

Orientador: Érika Christina Ashton N. Chrisman

1. Controle Estatístico de Processo 2. Qualidade 3. Monitoramento Estatístico 4. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – UFRJ/EQ) 5. Erika Christina Ashton N. Chrisman, D. Sc.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui e por ter abençoado meu caminho para que eu pudesse concluir mais essa etapa, a qual eu sonhei desde o dia que entrei na universidade.

Gostaria de agradecer por todas as oportunidades que eu tive de aprendizado nesta Universidade e por todos os docentes que contribuíram para a minha formação.

Agradeço também em especial à minha orientadora, por toda paciência, disponibilidade e carinho com que me orientou.

Agradeço ao meu pai e à minha mãe (*in memoriam*) por estarem ao meu lado desde o começo, desde a minha matrícula. Agradeço também à minha irmã, à minha sobrinha e ao meu namorado por todo apoio e incentivo que vocês sempre me deram.

Agradeço aos meus colegas de trabalho e ao meu gestor por todos os ensinamentos e aprendizados que vocês me possibilitaram.

Sem vocês, nada disso seria possível.

Meu muito obrigada a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Química Industrial.

## **APLICAÇÃO DE CONTROLE ESTATÍSTICO EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PRODUTOS ODONTOLÓGICOS**

Janine Dias Ferreira

Orientador: Prof. Érika Christina Ashton N. Chrisman, D. Sc.

### **RESUMO**

A qualidade dos produtos ou serviços é um fator crucial para a competição no mercado e é o que faz com que algumas organizações tenham vantagens em relação às outras. As Boas Práticas de Fabricação e Controle vêm incorporando alguns conceitos, como: otimizações e melhorias, redução de perdas e gestão ambiental. Uma ferramenta que vem se apresentando viável para avaliar estas questões é o Controle Estatístico de Processo (CEP), possibilitando o monitoramento dos processos fabris. O CEP age através do monitoramento de seu processo, avaliando-o e garantindo assim maior confiabilidade no produto final.

O presente trabalho tem como objetivo monitorar os resultados dos testes, realizados no Controle de Qualidade, de alguns produtos de uma empresa de materiais odontológicos empregando as ferramentas de CEP, de forma a analisar estatisticamente os dados obtidos e possibilitar maior conhecimento dos processos, podendo gerar possíveis melhorias.

Todos os resultados coletados foram compilados e submetidos ao software *Minitab Statistical Software*, versão 17, criado pela empresa *Minitab Inc* para o tratamento estatístico dos mesmos. Para realizar a análise estatística destes dados, foram plotados para cada teste, de cada produto, três gráficos: um de análise da normalidade, uma carta-controle e um de capacidade. São analisados através destes gráficos: a normalidade dos dados, se o processo está ou não sob controle e se os itens produzidos estão de acordo com o esperado, respectivamente. Os produtos escolhidos para serem monitorados foram: o produto mais vendido e o produto mais reclamado, atualmente.

O produto mais vendido encontra-se com o processo bem controlado estatisticamente, embora seja considerado um processo incapaz. Já o produto mais reclamado apresenta problemas no seu controle em todos os gráficos apresentados, necessitando realmente de projetos de melhoria para o seu processo.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. OBJETIVOS .....	1
1.2. ESCOPO DO TRABALHO .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	5
2.1.1. CONCEITOS BÁSICOS DO CEP.....	5
2.1.2. ANÁLISE DA NORMALIDADE .....	5
2.1.3. CARTAS DE CONTROLE .....	6
2.1.4. CAPACIDADE DO PROCESSO .....	8
3. METODOLOGIA .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	15
4.1. ALGINATO A .....	15
4.2. CIMENTO S (PÓ).....	18
4.3. CIMENTO S (RESINA) .....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
6. BIBLIOGRAFIA.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Histórico de Vendas da empresa de Abril de 2015 à Abril de 2016.....	2
Figura 2 - Diagrama de Pareto dos produtos pertencentes à Família 05 do portfólio da empresa..	3
Figura 3 - Exemplificando uma distribuição Normal.....	6
Figura 4- Representação gráfica de processos sob controle e fora de controle (Carneiro Neto, 2003).....	7
Figura 5 - Gráfico de Probabilidade do Tempo de Presa do Alginato A.....	15
Figura 6 - Carta I-AM do Tempo de Presa do Alginato A.....	16
Figura 7 - Gráfico da análise de capacidade do tempo de presa do Alginato A.....	17
Figura 8 - Gráfico de Probabilidade do teste de Granulação do Cimento S Pó. ....	19
Figura 9 - Carta I-AM do teste de granulação do Cimento S Pó.....	20
Figura 10 - Análise de Capacidade do Teste de Granulação do Cimento S Pó.....	21
Figura 11 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Pó. ....	22
Figura 12 - Carta I-AM do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Pó. ....	23
Figura 13 - Análise de Capacidade para o Teste de Espessura de filme para o Cimento S Pó. ....	24
Figura 14 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Pó.....	26
Figura 15 - Carta I-AM do Teste de Radiopacidade do Cimento S. ....	27
Figura 16 - Análise de Capacidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S.....	28
Figura 17 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Consistência para o Cimento S Pó. ....	29
Figura 18 - Carta I-AM para o teste de Consistência do Cimento S Pó. ....	30
Figura 19 - Análise de Capacidade para o Teste de Consistência do Cimento S Pó.....	31
Figura 20 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S Pó.....	32
Figura 21 - Carta I-AM do Teste de Tempo de Presa do Cimento S. ....	33
Figura 22 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S.....	34
Figura 23 - Gráfico de Probabilidade (AD) do Teste de Viscosidade do Cimento S Resina.....	36
Figura 24 - Gráfico de Probabilidade (RJ) do Teste de Viscosidade para o Cimento S Resina...	37
Figura 25 - Carta I-AM do teste de viscosidade do Cimento S Resina.....	38
Figura 26 - Análise de Capacidade do Teste de Viscosidade do Cimento S Resina.....	39
Figura 27 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Resina.40	40
Figura 28 - Carta I-AM para o Teste de Espessura de Filme do Cimento S Resina. ....	41



Figura 29 - Análise de Capacidade para o Teste de Espessura de Filme do Cimento S Resina. ...	42
Figura 30 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina. ....	43
Figura 31 - Carta I-AM para o Teste de Radiopacidade do Cimento S Resina.....	44
Figura 32 - Análise da Capacidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina.....	45
Figura 33 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Consistência do Cimento S Resina. ....	46
Figura 34 - Carta I-AM para o Teste de Consistência do Cimento S Resina. ....	47
Figura 35 - Análise de Capacidade do teste de consistência do cimento S Resina. ....	48
Figura 36 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Tempo de Presa para o Cimento S Resina. ....	50
Figura 37 - Carta I-AM para o Teste de Tempo de Presa do Cimento S Resina.....	51
Figura 38 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S Resina.....	52
Figura 39 - Gráfico de Probabilidade de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina. ....	53
Figura 40 - Carta I-AM do Teste de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina.....	54
Figura 41 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina. ....	55

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- BPF –Boas Práticas de Fabricação
- CEP – Controle Estatístico de Processo
- ANVISA – Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
- LSC – Limite Superior de Controle
- LIC – Limite Inferior de Controle
- RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
- LSE – Limite Superior de Especificação
- LIE – Limite Inferior de Especificação
- StDev (Dentro) – Desvio-padrão calculado
- StDev (Global) – Desvio-padrão estimado
- mmAl – Altura correspondente em milímetros de uma escala de Alumínio

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de produtos odontológicos é um setor regulado igualmente como uma indústria farmacêutica. Em ambas, as Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Controle vêm incorporando alguns conceitos, como: otimizações e melhorias, redução de perdas e gestão ambiental.

Um diferencial para qualquer indústria é a qualidade de seus produtos ou serviços. Este é um fator crucial para a competição no mercado e é o que faz com que algumas organizações tenham vantagens em relação às outras. Desta forma, a garantia da qualidade vem sendo primordial para manter e administrar todos estes aspectos.

Uma ferramenta que vem se apresentando viável para avaliar estas questões é o Controle Estatístico de Processo (CEP), possibilitando o monitoramento dos processos fabris. Como o CEP vai interferir na qualidade de um produto ou serviço? Através do monitoramento de seu processo, avaliando-o e garantindo assim maior confiabilidade no produto final. Através desse monitoramento, também há a possibilidade de visualizar e atuar em melhorias no processo, com a identificação de problemas e gerando planos de ações para reduzir ou até eliminar as causas mais importantes das variabilidades.

Não há muitas publicações de aplicações industriais do CEP, somente algumas voltadas para a área alimentícia. Para aplicações em processos farmacêuticos, estas aplicações são ainda mais raras, por isso, é de todo interessante testar a contribuição que pode ser conseguida pela aplicação desta ferramenta nesta área

### 1.1.OBJETIVOS

Monitorar os resultados dos testes de alguns produtos realizados no Controle de Qualidade de uma empresa de materiais odontológicos empregando as ferramentas de CEP, de forma a analisar estatisticamente os dados obtidos e possibilitar maior conhecimento dos processos, através de uma avaliação dos riscos de desvio de qualidade e da estabilidade dos mesmos, podendo gerar possíveis melhorias.

## 1.2.ESCOPO DO TRABALHO

O portfólio de produtos fabricados atualmente pela indústria do setor odontológico estudada possui cerca de 170 modelos comerciais. Num primeiro momento, não foi possível o mapeamento e monitoramento dos dados analíticos de todos esses produtos, visto que por serem muitos, gerariam alta demanda de hora/homem. Diante deste fato, traçou-se a estratégia de monitorar os dados de produtos com maior impacto ao negócio.

Desta forma, foi definido iniciar o monitoramento estatístico dos produtos com maior representatividade no histórico de vendas e dos produtos com um alto índice de reclamações.

Foram analisadas as vendas da empresa entre Abril/15 e Abril/16, e como é possível perceber na Figura 1, a família com maior impacto nas vendas é a de Material de Impressão, chamada de família 05. Só ela é responsável por 46,4% das vendas da empresa, uma grande diferença em relação às demais famílias.

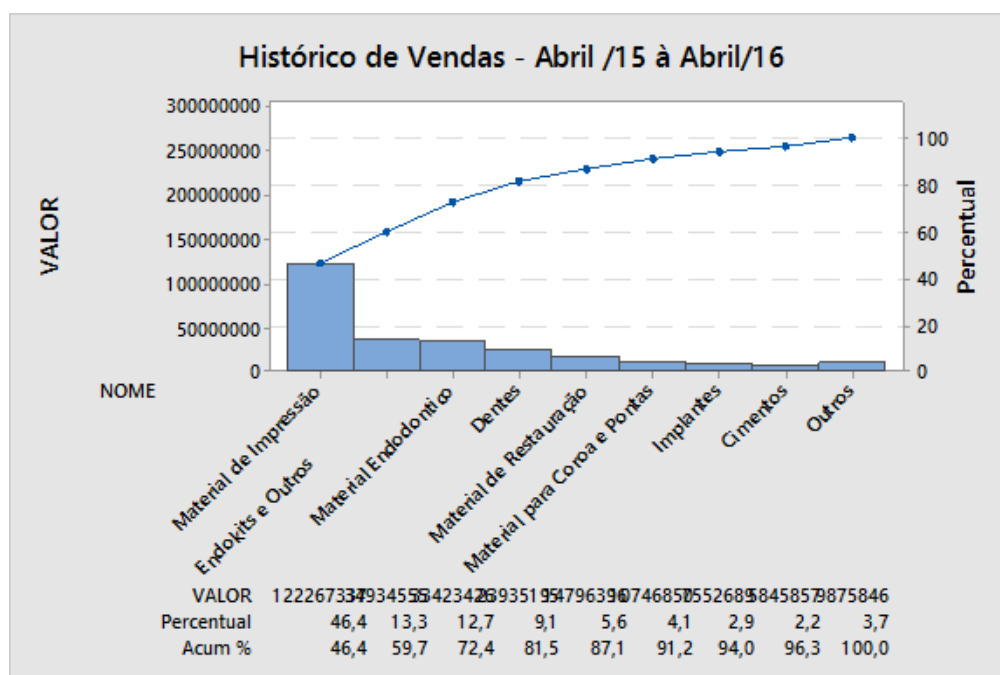


Figura 1 - Histórico de Vendas da empresa de Abril de 2015 à Abril de 2016.

A família de Materiais de Impressão é majoritariamente composta pelos alginatos e por mais um outro material de impressão A, que representam 98.7% das vendas dessa família.

Na Figura 2 é apresentado o gráfico da representatividade de cada item da família 05.

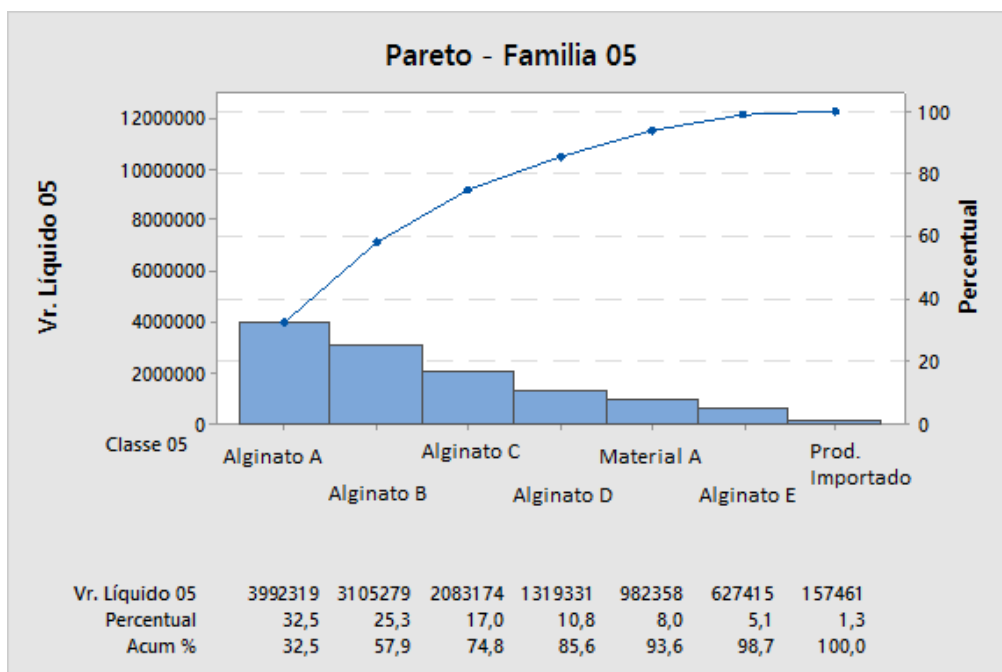


Figura 2 - Diagrama de Pareto dos produtos pertencentes à Família 05 do portfólio da empresa

Pode-se observar que o produto mais vendido desta família foi o Alginato A sendo, por isso, o produto que foi inicialmente monitorado.

Outro produto que também foi inserido no escopo foi o Cimento S, por ser muito reclamado. Ele teve o maior índice de reclamações em 2015 e permaneceu entre os dez mais reclamados no ano de 2016, de acordo com o setor de reclamações da empresa.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado em capítulos que fornecem análise de conteúdo teórico fundamental ao tratamento e interpretação dos dados deste estudo de caso, bem como os resultados obtidos e considerações finais.

O primeiro capítulo contempla introdução da pesquisa, a justificativa e os objetivos que envolvem o estudo, bem como as delimitações de escopo.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica, expondo os principais conceitos selecionados, que possuem relação direta com o estudo de caso. Abordagens teóricas acerca do controle estatístico do processo (CEP), ferramentas auxiliares para a qualidade, gráficos de controle, inspeção e amostragem foram analisadas.

No terceiro capítulo, a metodologia que é empregada é detalhada.

Já no quarto capítulo, há a avaliação dos dados obtidos no estudo de caso abordado neste trabalho.

Por fim, o trabalho apresenta as conclusões do estudo, indicando a importância das ações na indústria visando reduzir a variabilidade do processo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Os métodos estatísticos são uma maneira lógica e organizada para determinar os principais problemas de um processo produtivo e a sua proporção. O CEP é um conjunto de ferramentas de monitoramento da qualidade, que abrangem a coleta, a análise e interpretação dos dados, de forma continuada. A utilização do CEP é eficaz devido ao conceito de que, em um processo conhecido, é possível prever a sua ocorrência.

Um princípio do CEP é agir de forma preventiva no processo de produção. Utiliza-se da estatística como um instrumento para que haja a organização, tratamento e análise dos dados gerados por um processo, auxiliando assim na visualização de problemas e defeitos no processo produtivo.

#### 2.1.1. CONCEITOS BÁSICOS DO CEP

Inevitavelmente, haverá diferença nas características das unidades de um produto ao longo de sua produção, isto ocorre em função da existência natural de variabilidade do processo. Segundo Costa et al. (2005), por mais que um processo seja bem projetado e controlado, sempre haverá algum componente, ou alguma causa inerente ao processo, que não é possível de ser eliminado, causando uma variabilidade inevitável, que é chamada de variabilidade natural do processo. Quando há somente esta variabilidade natural, diz-se que este processo está sob controle.

Porém, a variabilidade pode ser oriunda de outras causas como matérias-primas fora de especificação, máquinas descalibradas, erros de operação, entre outras, denominadas de causas atribuíveis que geram um nível inaceitável no desempenho do processo, resultando em um processo fora de controle.

O CEP auxilia na detecção rápida dessas mudanças no processo sendo possível agir antes que haja uma grande produção de itens fora da especificação. Isto reduz custos, diminuindo perdas, evitando retrabalhos e garantindo assim uma maior qualidade ao consumidor.

#### 2.1.2. ANÁLISE DA NORMALIDADE

A distribuição normal padrão é uma distribuição em forma de sino onde desvios padrão sucessivos da média estabelecem referências para estimativa da porcentagem das observações de dados.

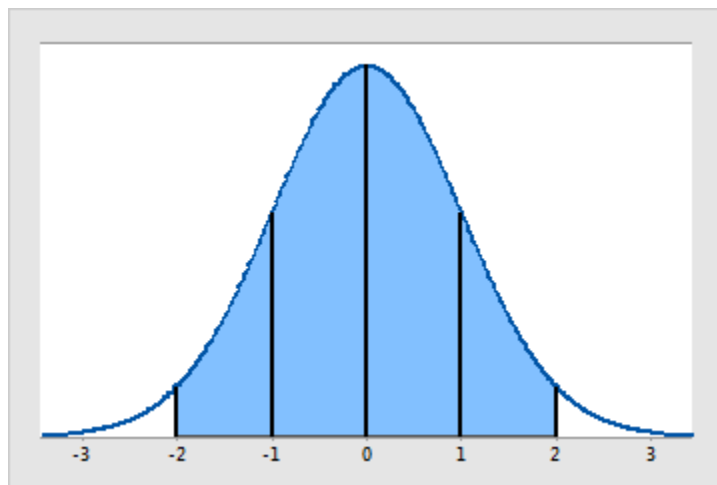


Figura 3 - Exemplificando uma distribuição Normal

Como a distribuição dos dados é normal, é possível determinar exatamente qual porcentagem dos valores estará dentro de um intervalo específico. Por exemplo:

- Cerca de 95% das observações estão dentro de 2 desvios padrão da média, exibidos pela área sombreada azul. 95% dos valores estará dentro de 1,96 desvios padrão da média (entre -1,96 e +1,96). Assim, menos de 5% (0,05) das observações estarão fora desta amplitude. Esta amplitude é a base por trás do nível alfa de 0,05 de diversos testes de hipótese.
- Cerca de 68% das observações estão dentro de 1 desvio padrão da média (-1 a +1), e cerca de 99,7% das observações estarão dentro de 3 desvios padrão da média (-3 a +3).

### 2.1.3. CARTAS DE CONTROLE

As cartas de controle são ferramentas bastante utilizadas, senão as principais, no controle estatístico de processo. Elas são usadas para registro de medições das variáveis de interesse em pontos distintos ao longo de um tempo, e com base nos dados coletados, é possível identificar desvios significativos do processo.



Coincidindo com a ideia principal do CEP, as cartas de controle permitem que haja uma ação preventiva ao se detectar desvios de qualidade, atuando “*just in time*”. Estas cartas não possibilitam a identificação de quais seriam as causas especiais que estão atuando no processo para causar tais desvios, mas possuem informações que auxiliam na identificação destas causas.

As cartas de controle contêm, em sua maioria, somente uma linha central e um par de linhas de limites de controle, uma localizada abaixo e outra acima da linha central, e valores característicos marcados no gráfico representando o estado de um processo. Se todos esses valores marcados estiverem dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência particular e a disposição dos pontos dentro dos limites for aleatória, o processo é considerado sob controle. Entretanto, se os pontos incidirem fora dos limites de controle ou apresentarem uma disposição atípica, o processo é julgado fora de controle (Kume, 1993; Vieira, 1999).

A Figura 4 representa num mesmo gráfico, o mesmo processo em uma faixa sob controle e em outra faixa fora de controle. O modelo estabelecido por Shewart utiliza a média aritmética dos valores resultantes das medições realizadas de forma amostral, como medida de posição do processo. Fixa três desvios - padrões acrescidos à média, definindo o Limite Superior de Controle (LSC) e três desvios – padrões decrescidos à média, definindo o Limite Inferior de Controle (LIC) do processo (Pinton, 1997; Thompson & Koronacki, 1993).

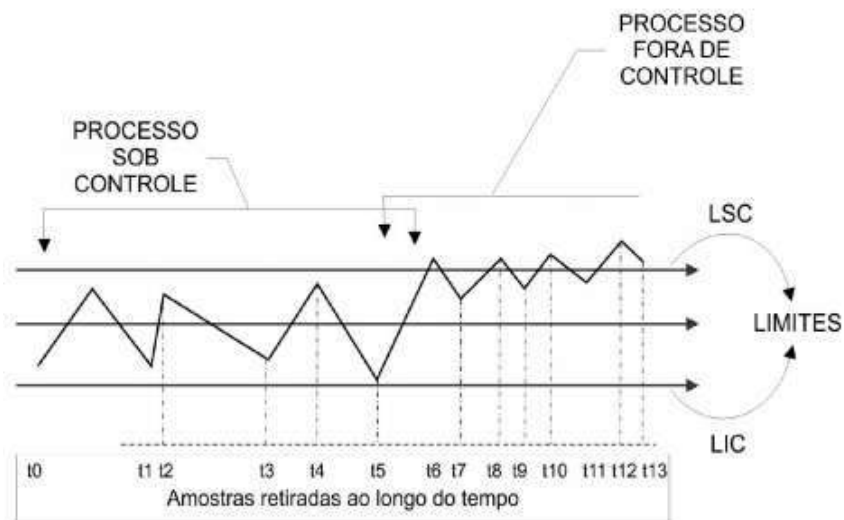


Figura 4- Representação gráfica de processos sob controle e fora de controle (Carneiro Neto, 2003).

As cartas podem ser baseadas em variáveis ou atributos. Os atributos referem-se a resultados conformes ou não conformes, ou seja, como uma linguagem binária, que só reconhece “0” ou “1” como resposta. Já as variáveis referem-se às medições contínuas.

Um processo considerado estatisticamente estável é aquele em que os pontos nos gráficos de controle estão distribuídos aleatoriamente em torno da linha central sem que haja tendências ou pontos fora dos limites de controle.

Processos estáveis apresentam previsibilidade. Porém, é possível que estes processos produzam itens defeituosos ou não-conformes. Depois do processo estar estabilizado, a análise sobre a capacidade do mesmo irá proporcionar as diretrizes para as tomadas de decisão.

No caso deste trabalho, o controle dos processos é realizado retirando-se amostras de uma unidade para que sejam realizados os testes no Controle de Qualidade. Como não é possível estimar a variabilidade através da amplitude ou do desvio padrão de cada amostra (eles não estão definidos para amostras de tamanho 1), usa-se como estimativa da variabilidade a amplitude móvel de duas (ou mais) observações sucessivas.

#### 2.1.4. CAPACIDADE DO PROCESSO

Basicamente, o estudo da capacidade visa verificar se o processo consegue atender às especificações, ou não. Porém, é necessário que, antes de se analisar a capacidade do processo, a carta controle seja avaliada para determinar previamente se o processo é estável.

São gerados quatro índices no estudo de capacidade:  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$  e  $P_{pk}$ . Os dois primeiros são índices de capacidade do processo, que informam como o processo poderá agir no futuro. Enquanto os outros dois são de performance do processo, que informam como o processo agiu no passado ou está agindo no momento.

O cálculo dos índices de capacidade leva em conta o desvio-padrão, que pode ser calculado ou estimado. O desvio padrão é uma medida de dispersão dos valores de uma distribuição normal em relação à sua média.

- i. **Desvio-padrão estimado:** é dado pela equação abaixo.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Onde:

- $\bar{R}$  é a amplitude média do processo.
- $d_2$  é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos.

Desta forma, não é possível estimar o desvio-padrão de um processo com uma única amostra, já que não é possível calcular a amplitude de cada subgrupo.

O *Software Minitab* utiliza a nomenclatura de Desvio-padrão (Global), que captura todas as fontes de variação sistêmica. Ele representa a variação real do processo que o cliente experimenta ao longo do tempo.

- ii. **Desvio-padrão calculado:** é dado pela equação abaixo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{\bar{X}})^2}{(n - 1)}}$$

Onde:

- $\bar{\bar{X}}$  é a média das médias dos subgrupos.
- $n$  é o número total de amostras.

O *Software Minitab* utiliza a nomenclatura de Desvio-padrão (Dentro), que representa a variação natural e inerente do processo durante um curto período de tempo. Ele indica a variação potencial do processo caso desvios e deslocamentos entre os subgrupos fossem eliminados.

#### 2.1.4.1. Índices de Capacidade

##### i. Cp

- Índice mais simples, considerado como a taxa de tolerância à variação do processo;
- Desconsidera a centralização do processo;
- Não é sensível aos deslocamentos (causas especiais) dos dados;
- Quanto maior o índice, menos provável que o processo esteja fora das especificações;
- Um processo com uma curva estreita (um Cp elevado) pode não estar de acordo com as necessidades do cliente se não for centrado dentro das especificações.

- Cálculo do índice:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Onde:

- LSE: Limite Superior de Especificação
- LIE: Limite Inferior de Especificação
- $\hat{\sigma}$  é o desvio-padrão estimado
- Avaliação do cálculo do índice:
  - Processo incapaz:  $Cp < 1$
  - Processo aceitável:  $1 \leq Cp \leq 1,33$
  - Processo capaz:  $Cp \geq 1,33$

## ii. Cpk

- Considera a centralização do processo;
- É o ajuste do índice Cp para uma distribuição não-centrada entre os limites de especificação;
- É sensível aos deslocamentos (causas especiais) dos dados;
- Cálculo do índice: é dado pelo menor valor de Cpk (1 ou 2) conforme as equações abaixo.

$$Cpk_1 = \frac{LSE \times \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}}$$

$$Cpk_2 = \frac{LIE \times \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}}$$

Onde:

- LSE: Limite Superior de Especificação
- LIE: Limite Inferior de Especificação
- $\hat{\sigma}$  é o desvio-padrão estimado
- $\bar{\bar{X}}$  é a média das médias dos subgrupos
- Avaliação do cálculo do índice:
  - Processo incapaz:  $Cpk < 1$

- Processo aceitável:  $1 \leq Cpk \leq 1,33$
- Processo capaz:  $Cpk \geq 1,33$

#### 2.1.4.2. Índices de Performance

##### i. Pp

- Desempenho: Intervalo de tolerância dividido pelo desempenho do processo;
- Desconsidera a centralização do processo;
- Não é sensível aos deslocamentos (causas especiais) dos dados;
- Quanto maior o índice, menos provável que o processo esteja fora das especificações;
- Um processo com uma curva estreita (um Pp elevado) pode não estar de acordo com as necessidades do cliente se não for centrado dentro das especificações.
- Cálculo do índice:

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Onde:

- LSE: Limite Superior de Especificação
- LIE: Limite Inferior de Especificação
- $\sigma$  é o desvio-padrão calculado

##### ii. Ppk

- Indica quão próxima a média está do valor alvo do processo;
- É o ajuste do índice Pp para uma distribuição não-centrada entre os limites de especificação;
- É sensível aos deslocamentos (causas especiais) dos dados;
- Cálculo do índice: é dado pelo menor valor de Ppk (1 ou 2) conforme as equações abaixo.

$$Ppk_1 = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$Ppk_2 = \frac{LIE \times \bar{\bar{X}}}{3\sigma}$$

Onde:

- LSE: Limite Superior de Especificação
- LIE: Limite Inferior de Especificação
- $\sigma$  é o desvio-padrão calculado
- $\bar{\bar{X}}$  é a média das médias dos subgrupos

#### 2.1.4.3. Outros conceitos utilizados pelo software adotado (*Minitab*)

##### i. Dispersão

A dispersão da especificação é a distância entre o limite superior da especificação e do limite inferior da especificação.

##### ii. Alvo

É o valor ideal de um processo com base nas necessidades do cliente. O alvo é usado para definir o desempenho ideal processo e comparar com a média do processo.

##### iii. Média da Amostra

A média da amostra é a média das medições da amostra ou a média do processo histórico que você especificar para a análise. A média da amostra é usada para estimar onde o processo está centralizado.

Se os dados forem normais, a média ocorre no pico da curva de distribuição. Se os dados não seguem uma distribuição simétrica em forma de sino, a média pode não ocorrer no pico da curva de distribuição. Os outliers, que são dados que estão muito distantes dos demais dados amostrados, também podem afetar fortemente o valor da média. Se os dados não são distribuídos normalmente ou se eles contêm outliers, é desejável transformá-los ou usar uma distribuição não normal.

iv. Valor-P

O nível do Valor-P representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado, ou seja, quanto mais alto for o Valor-P, menos provável é que os dados amostrados representem a população como um todo. Pode ser entendido também como a representação da probabilidade de erro em aceitar o resultado observado como válido, ou seja, afirmar um “falso-positivo”.

O Valor-P, em muitas áreas de pesquisa, que é considerado como um “limite aceitável” é inferior a 0,05, valor que também será adotado neste trabalho.

### 3. METODOLOGIA

A partir das análises físico-químicas realizadas no laboratório do controle de qualidade da empresa, foram coletados os resultados das análises dos produtos: *Alginato A* e do *Cimento S*, sob apresentações tanto em pó quanto em resina.

Para o controle estatístico do *Alginato A*, foram coletados os dados dos lotes analisados em 2016, totalizando 374 lotes. Dentre os testes realizados, estão: Aparência, Cor, Odor, Uniformidade da Mistura, Tempo de Presa e Escoamento.

O *Cimento S* é analisado em duas fases diferentes: a fase pó e a fase resina (líquida). O dentista usa ambas as fases que são misturadas de acordo com a bula que acompanha o produto.

Para o *Cimento S em pó*, foram coletados os dados dos lotes fabricados em 2016 e de Janeiro a Abril de 2017, totalizando 61 lotes. Os testes realizados são: Aparência, Odor, Granulação, Espessura de filme, Radiopacidade, Consistência e Tempo de presa.

Para o *Cimento S Resina* foram coletados os dados dos lotes fabricados em 2015 e 2016, totalizando 51 lotes. Os testes realizados são: Aparência, Odor, Viscosidade, Espessura de filme, Radiopacidade, Consistência, Tempo de presa e Tempo de Trabalho.

Todos os resultados coletados foram compilados e submetidos a um software chamado *Minitab Statistical Software*, versão 17, criado pela empresa *Minitab Inc* para o tratamento estatístico dos mesmos. Para realizar a análise estatística destes dados, foram plotados para cada teste, de cada produto, três gráficos: um de análise da normalidade, uma carta-controle e um de capacidade. São analisados através destes gráficos: a normalidade dos dados, se o processo está ou não sob controle e se os itens produzidos estão de acordo com o esperado, respectivamente.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ALGINATO A

Os testes de Aparência, Cor, Odor e Uniformidade da Mistura obtiveram resultados conformes para todos os lotes analisados. E o teste de Escoamento obteve resultado nulo para todos os lotes analisados. Desta forma, não é possível fazer a análise estatística por atributos destes testes.

#### I. Tempo de Presa

Especificação: 95 a 120 segundos

- Análise de Normalidade:

Na Figura 5, são apresentados os dados coletados do teste de tempo de presa no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

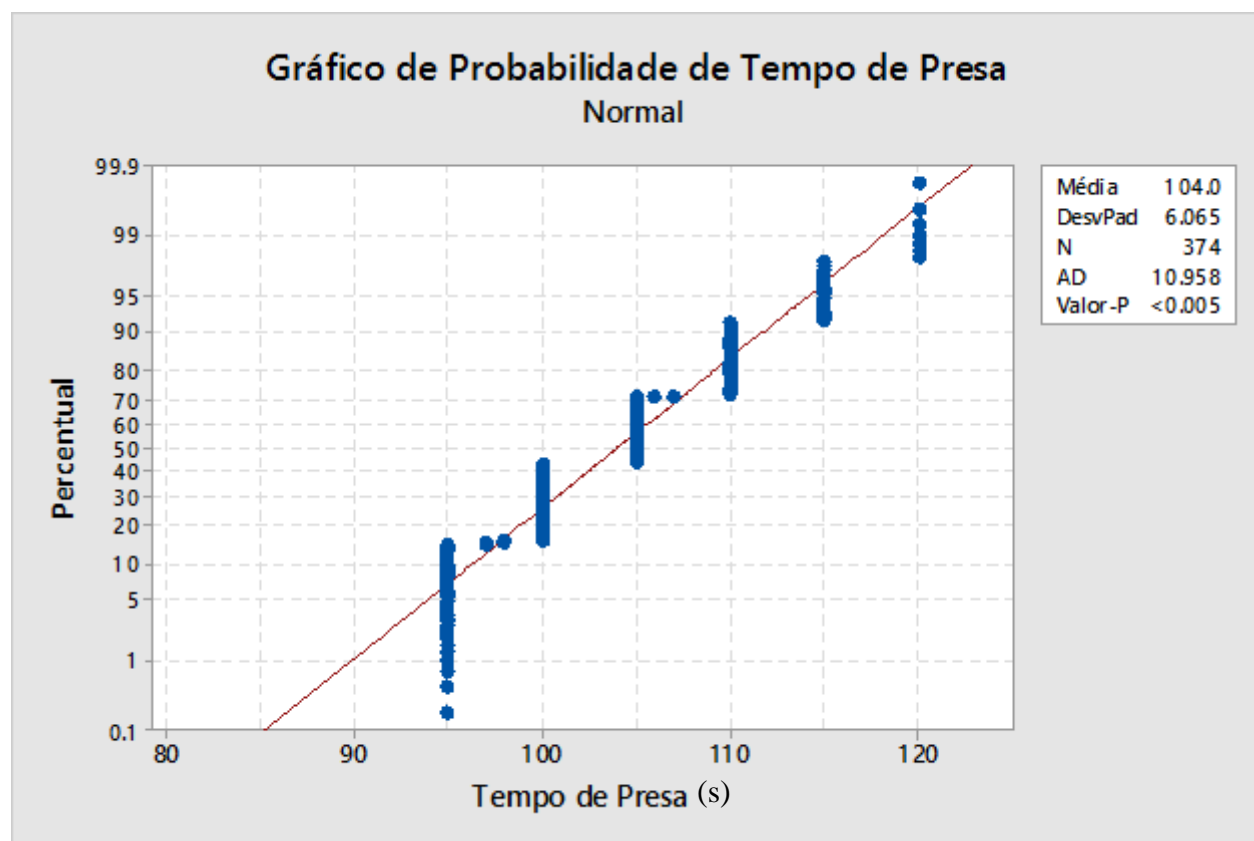


Figura 5 - Gráfico de Probabilidade do Tempo de Presa do Alginato A

A Figura 5 mostra que a média do tempo de presa para o Alginato A é de 104 segundos, um desvio padrão de aproximadamente 6 segundos e um Valor-p inferior a 0,005, para uma amostra de 374 observações. Pelo gráfico, é possível observar que há uma densidade amostral maior próxima do LIE, o que é confirmado pela média, que está mais próxima também do LIE.

Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 6, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Presa na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

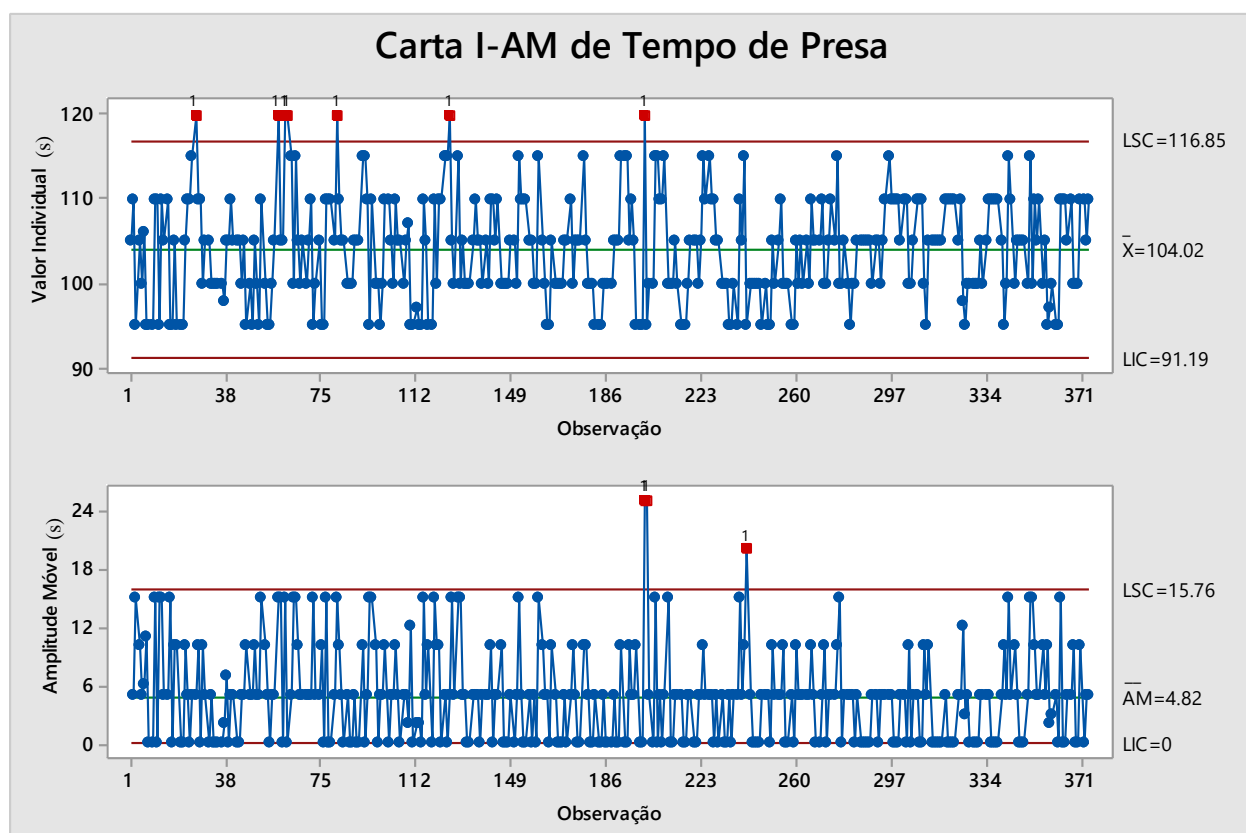


Figura 6 - Carta I-AM do Tempo de Presa do Alginato A

Como é possível observar na figura 6, os resultados do tempo de presa para o alginato A têm, em sua maioria, um comportamento aleatório, indicando que o processo estaria sob controle estatístico. Não é possível afirmar isto, pois há 7 observações acima do LSC no gráfico do valor individual e 2 observações acima do LSC também no gráfico de amplitude móvel. É razoável considerar também que o número total de observações foi de 374, desta forma, a quantidade de observações acima do LSC em ambos os gráficos é pouco significativa (2%).

- Capacidade do Processo:

Na Figura 7 são apresentados os dados do teste de Tempo de Presa no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

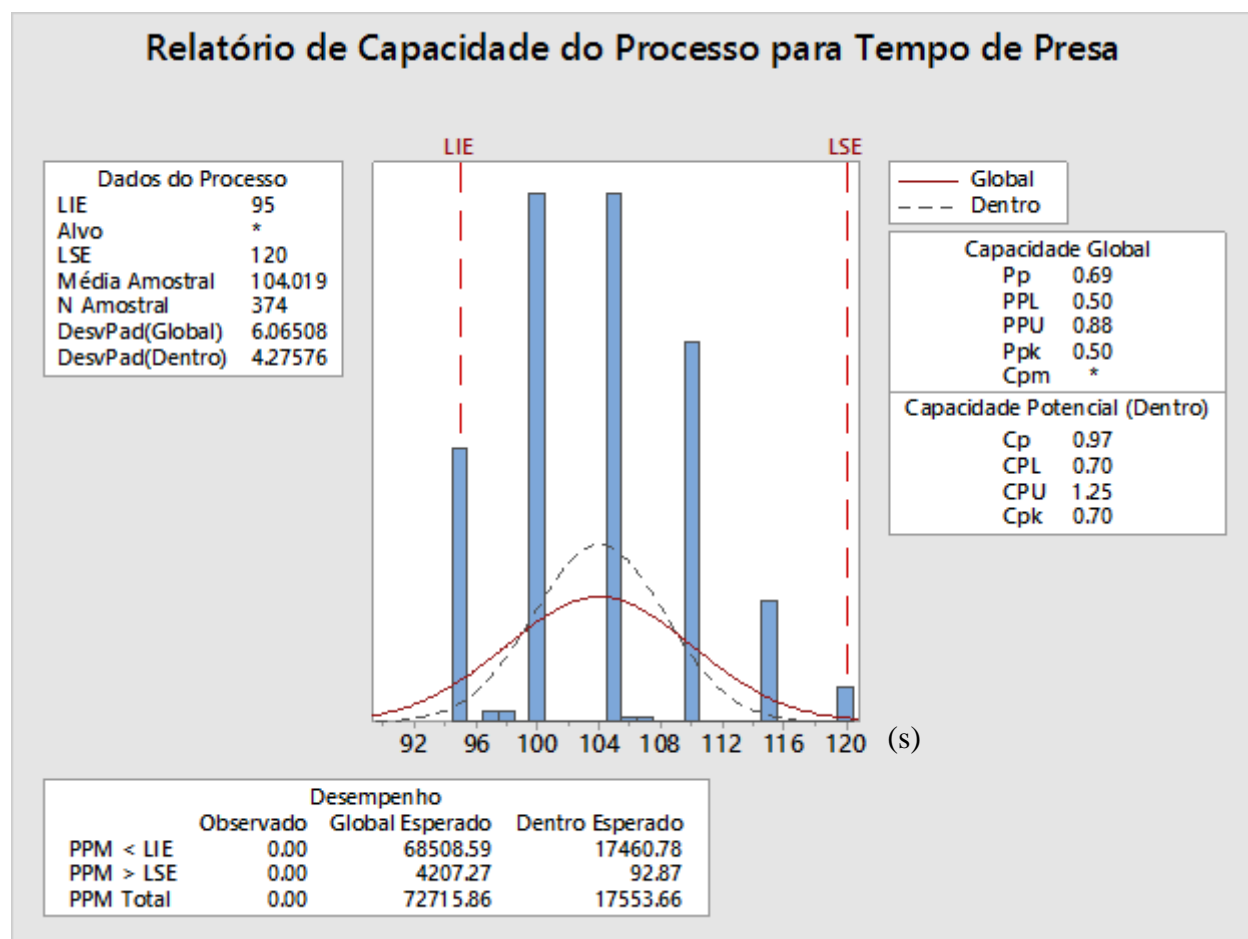


Figura 7 - Gráfico da análise de capacidade do tempo de presa do Alginato A

Ao avaliar os índices de performance, tem-se que  $P_p$  e  $P_{pk}$  são menores que 1, caracterizando um processo incapaz.

Avaliando os índices de capacidade, tem-se que  $C_p$  e  $C_{pk}$  também são menores que 1, caracterizando também o processo como incapaz.

Isto se deve ao fato de que a variação apresenta-se maior que os limites de especificação e também não está centrada.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter 7,3% de resultados fora do especificado sendo 6,9% mais provável dos resultados ultrapassarem a especificação em relação ao limite inferior de especificação.

#### 4.2.CIMENTOS (PÓ)

##### I. Teste de Granulação (Mesh 325)

Especificação: Máximo 8%

- Análise de Normalidade (Anderson Darling):

Na Figura 8, são apresentados os dados coletados do teste de Granulação no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

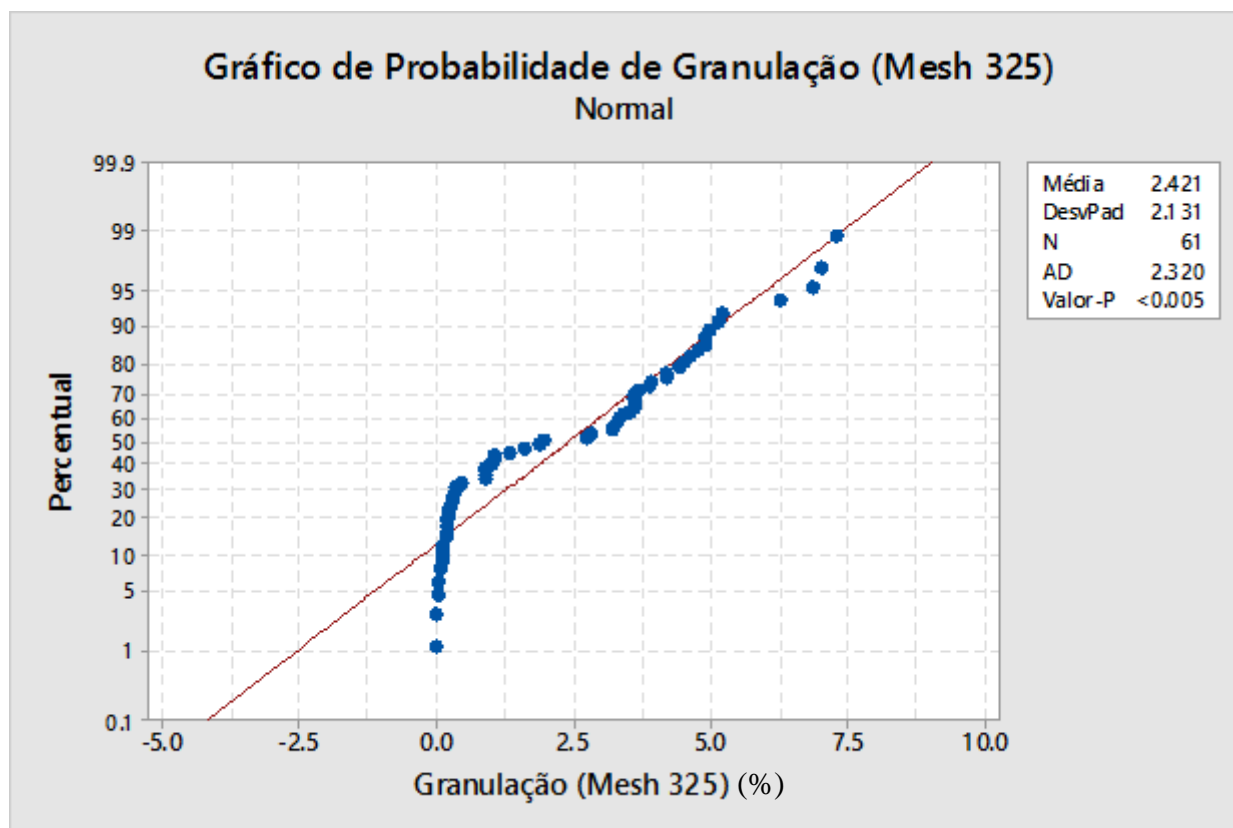


Figura 8 - Gráfico de Probabilidade do teste de Granulação do Cimento S Pó.

A Figura 8 mostra que a média dos 61 resultados do teste de granulação para o Cimento S Pó é de 2,421% e um desvio padrão de 2,131%, ou seja, um valor de desvio padrão bem elevado (88% da média), o que indica que a distribuição tem uma elevada variação de valores em torno da média.

Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 9, são apresentados os dados coletados do teste de Granulação na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

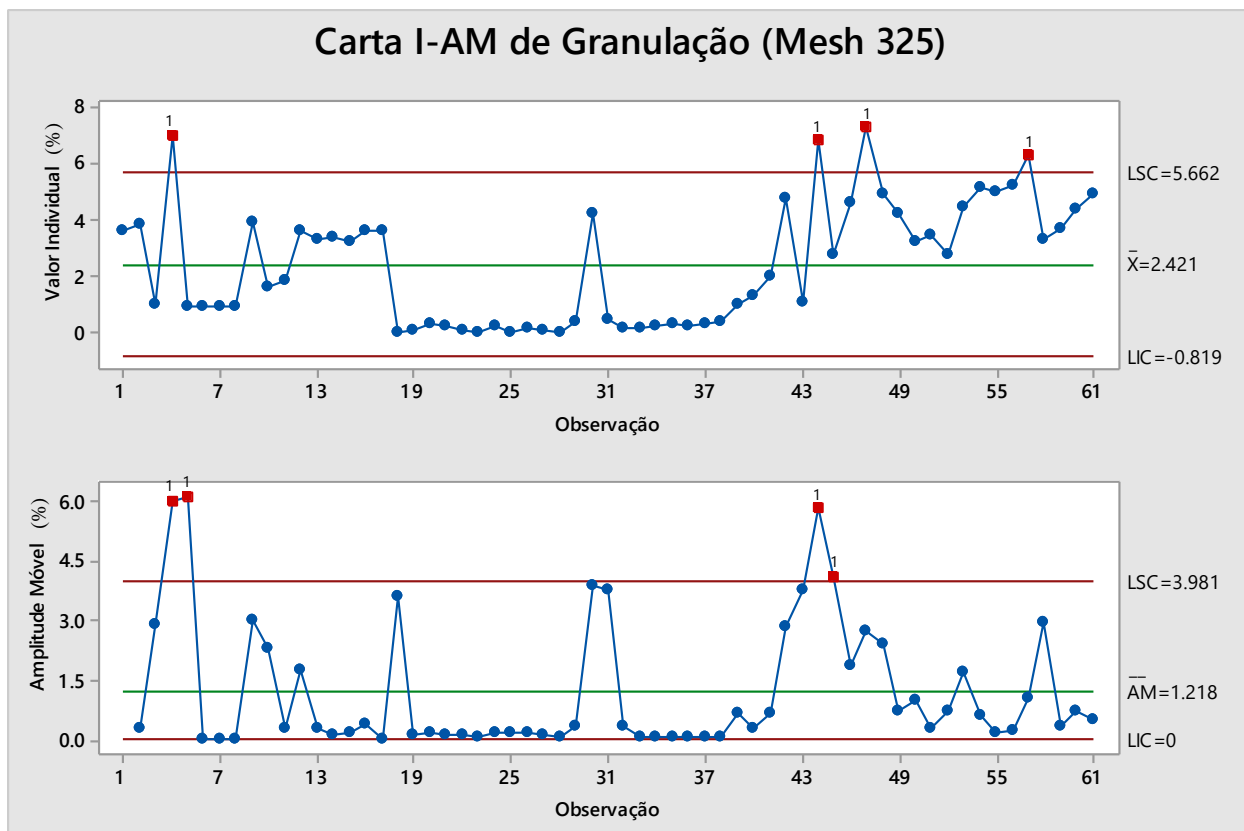


Figura 9 - Carta I-AM do teste de granulação do Cimento S Pó.

São observados 4 pontos acima do LSC em ambos os gráficos e apresentando valores distantes do LSC. Além disso, as observações dentro dos limites de controle apresentam uma tendência de permanecer entre a linha central e o LIC. É possível concluir então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 10 são apresentados os dados do teste de Granulação no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

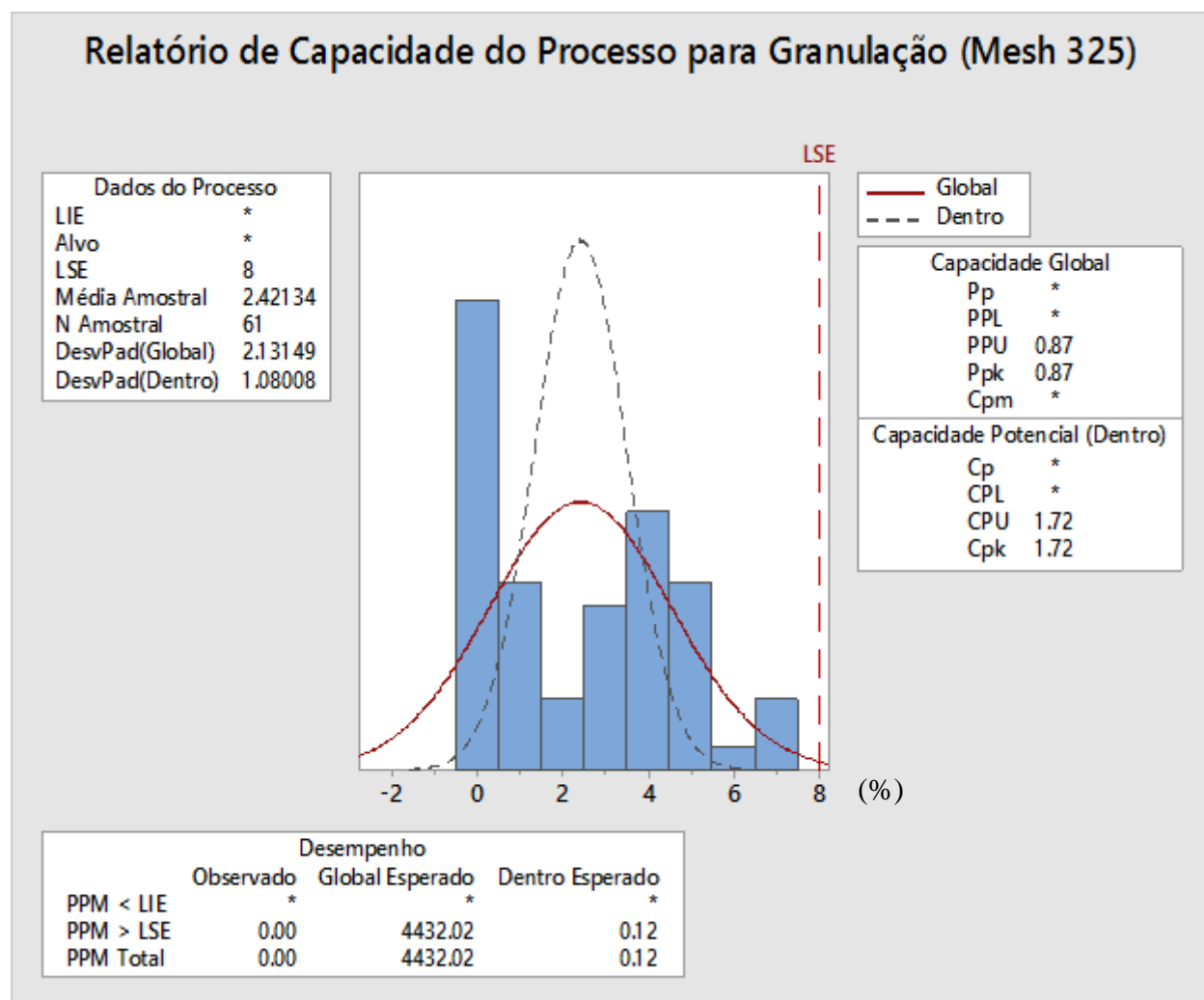


Figura 10 - Análise de Capacidade do Teste de Granulação do Cimento S Pó.

Ao analisar o gráfico, é possível identificar que o software só forneceu os valores de Ppk e Cpk, pois, para este teste só há como especificação o limite superior. O Ppk fornece um valor inferior a 1, o que caracterizaria um processo incapaz. Já o Cpk fornece um valor maior que 1,33, o que caracterizaria um processo capaz.

Seria possível avaliar o processo como satisfatório, avaliação que está entre os valores calculados em ambos os índices. Mas, é importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE, como explicado anteriormente. Desta forma, a análise da capacidade do processo fica prejudicada, pois pela análise somente dos índices, haveria uma avaliação errônea da capacidade do processo, considerando-a como aceitável. Como é possível verificar pelo valor

do desvio padrão, a variação dos resultados em relação à média é muito elevada. Sendo assim, o processo não pode ser considerado aceitável.

## II. Espessura de filme

Especificação: Máximo 0,05 mm

- Análise de Normalidade:

Na Figura 11, são apresentados os dados coletados do teste de Espessura de Filme no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

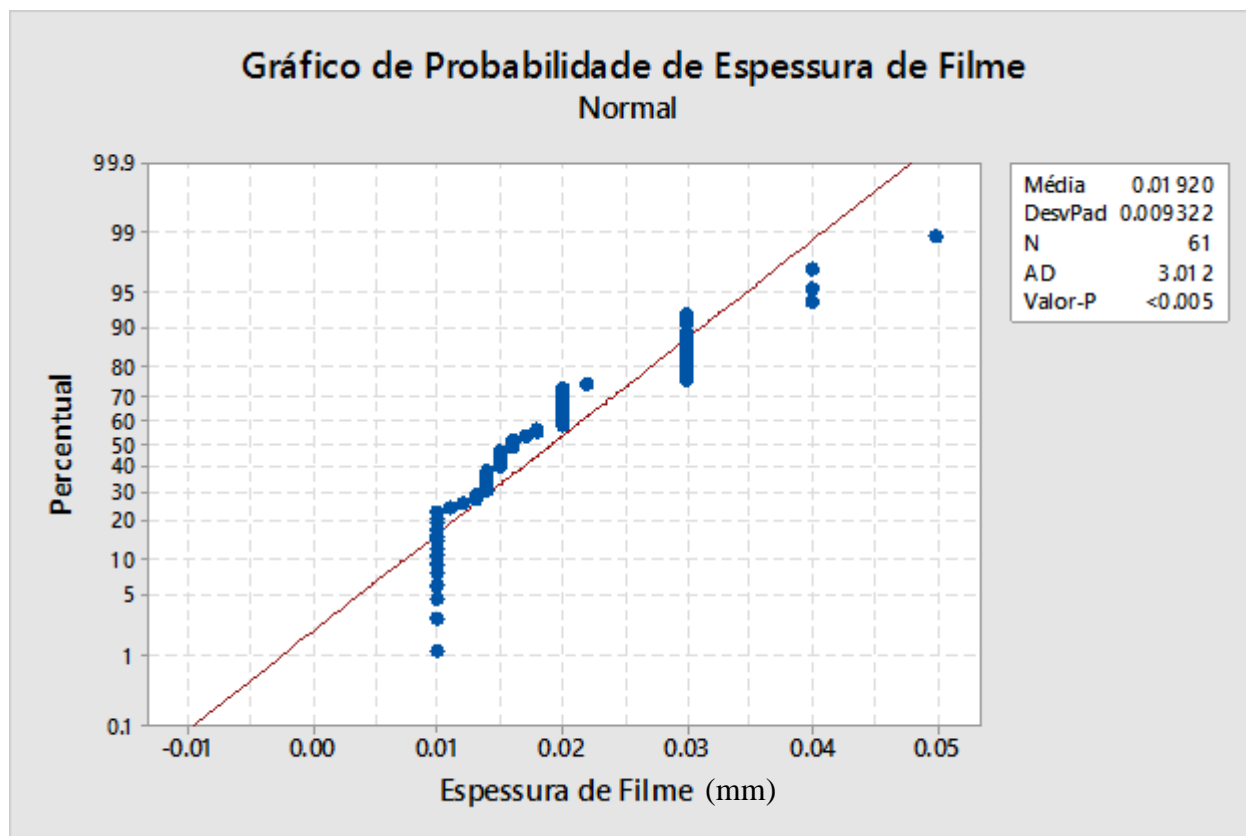


Figura 11 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Pó.

A Figura 11 mostra que a média dos resultados do teste de espessura de filme para o Cimento S Pó é de aproximadamente 0,02%, um desvio padrão de 0,009% e um Valor-p inferior a 0,005, para uma amostra de 61 observações.



Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 12, são apresentados os dados coletados do teste de Espessura de Filme na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

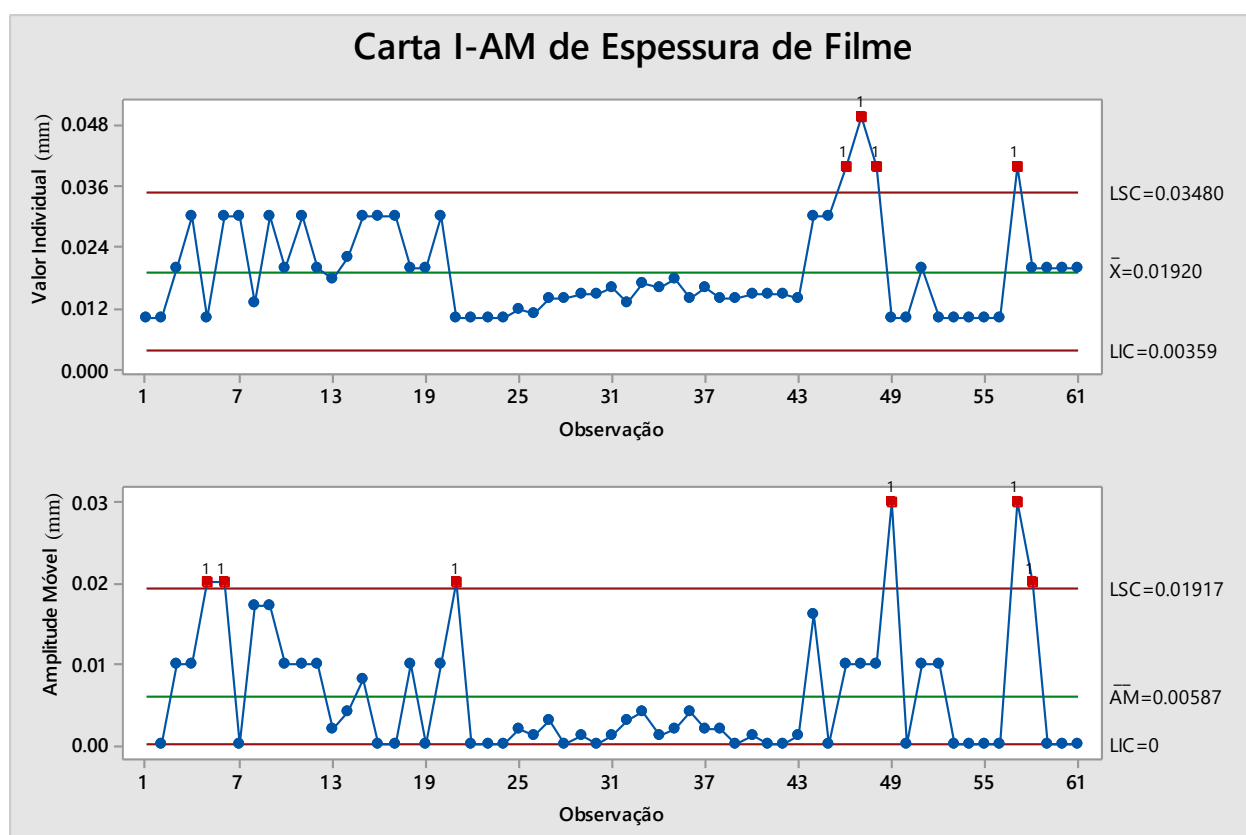


Figura 12 - Carta I-AM do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Pó.

São observados 4 pontos acima do LSC no gráfico de valor individual e 6 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. Além disso, as observações dentro dos limites de controle apresentam uma tendência de permanecer entre a linha central e o LIC, especialmente nas observações centrais nos gráficos. É possível concluir então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 13 são apresentados os dados do teste de Espessura de Filme no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

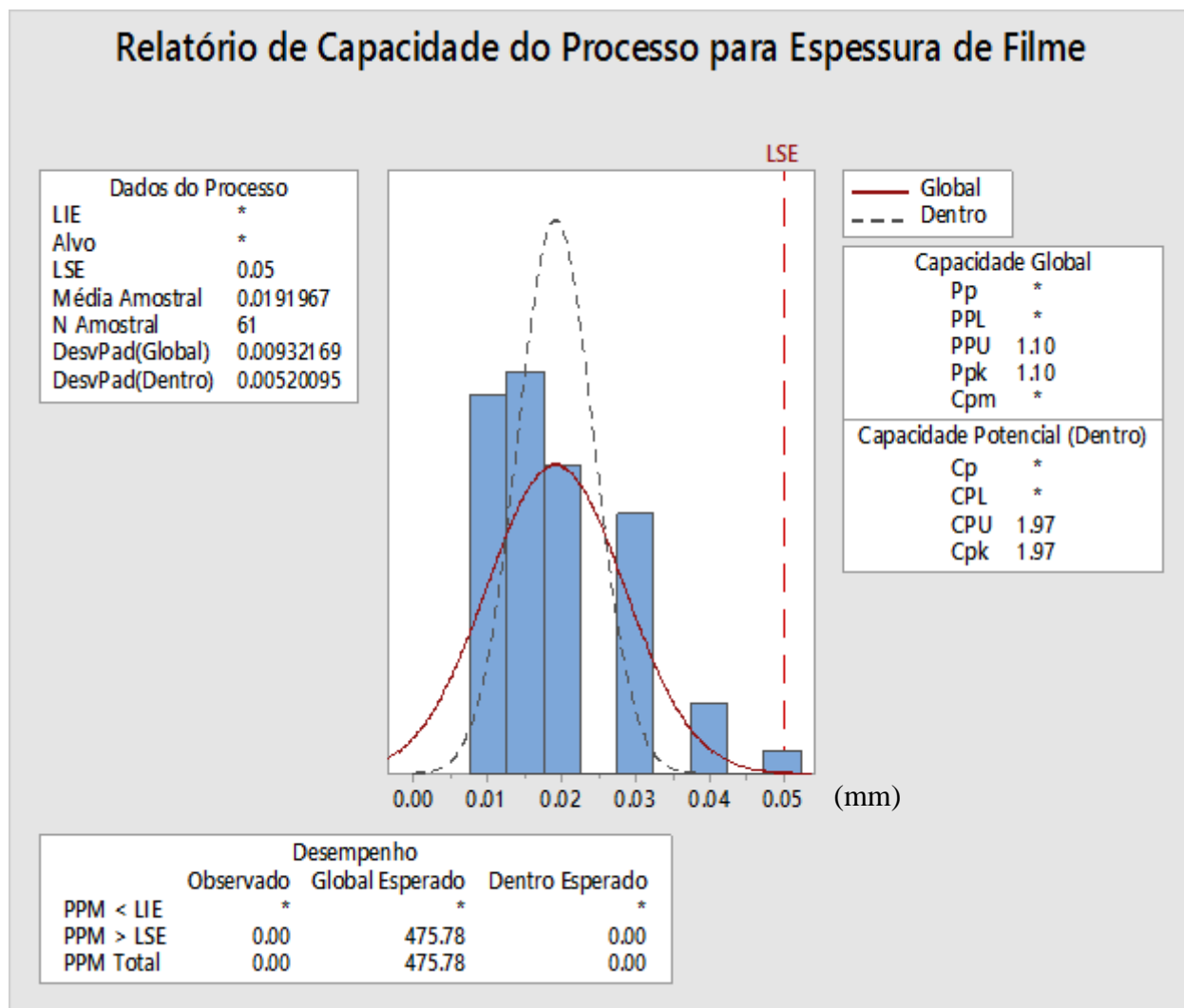


Figura 13 - Análise de Capacidade para o Teste de Espessura de filme para o Cimento S Pó.

Ao analisar o gráfico, é possível identificar que o software só forneceu os valores de Ppk e Cpk, pois, para este teste só há como especificação o limite superior.

O Ppk fornece um valor entre 1 e 1,33, o que caracterizaria um processo aceitável. Já o Cpk fornece um valor maior que 1,33, o que caracterizaria um processo capaz. É possível então avaliar o processo como satisfatório.

É importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE, como explicado anteriormente.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter 0,04% de resultados fora do especificado.

### **III. Radiopacidade**

Especificação: Mínimo 4,0 mmAl

- Análise de Normalidade:

Na Figura 14, são apresentados os dados coletados do teste de Radiopacidade no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

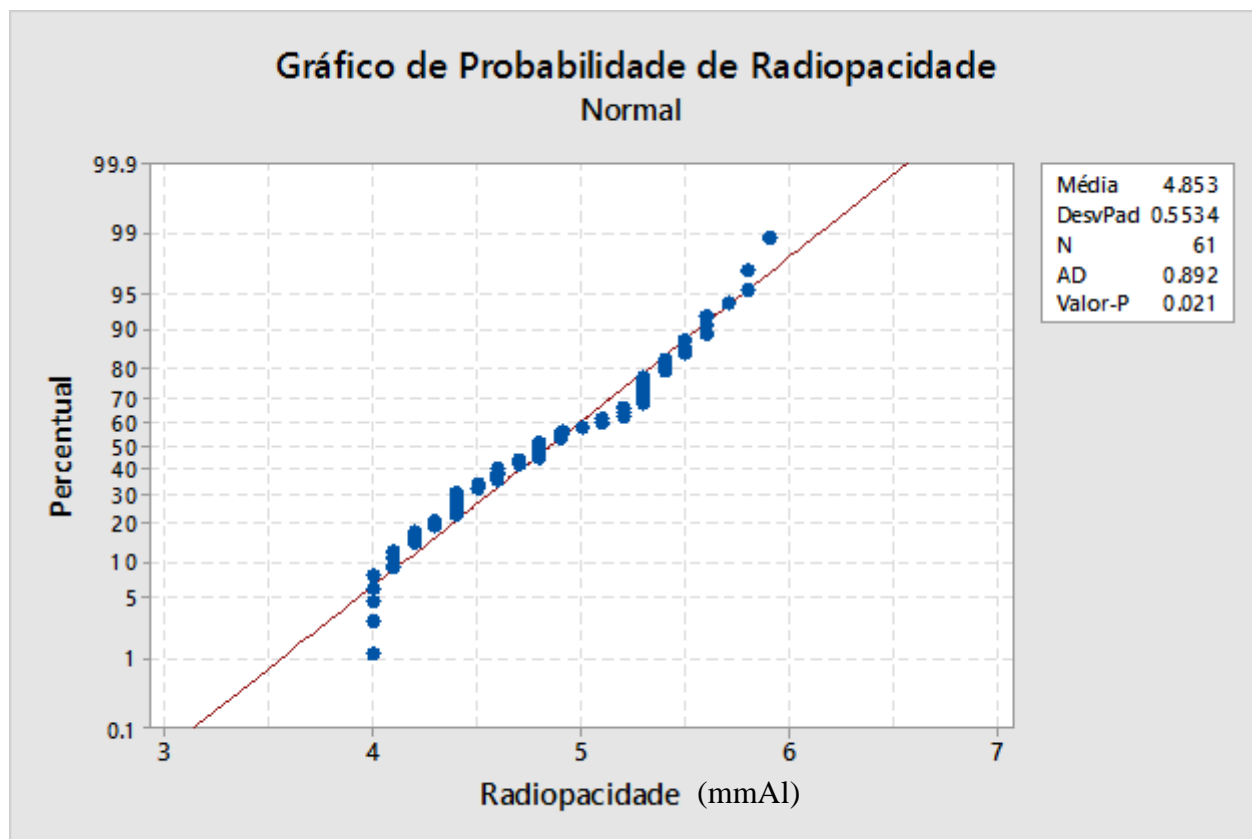


Figura 14 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Pó.

A Figura 14 mostra que a média dos resultados do teste de radiopacidade para o Cimento S Pó é de 4,853 mmAl, um desvio padrão de 0,55 mmAl e um Valor-p inferior a 0,05, para uma amostra de 61 observações.

Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,05. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 15, são apresentados os dados coletados do teste de Radiopacidade na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

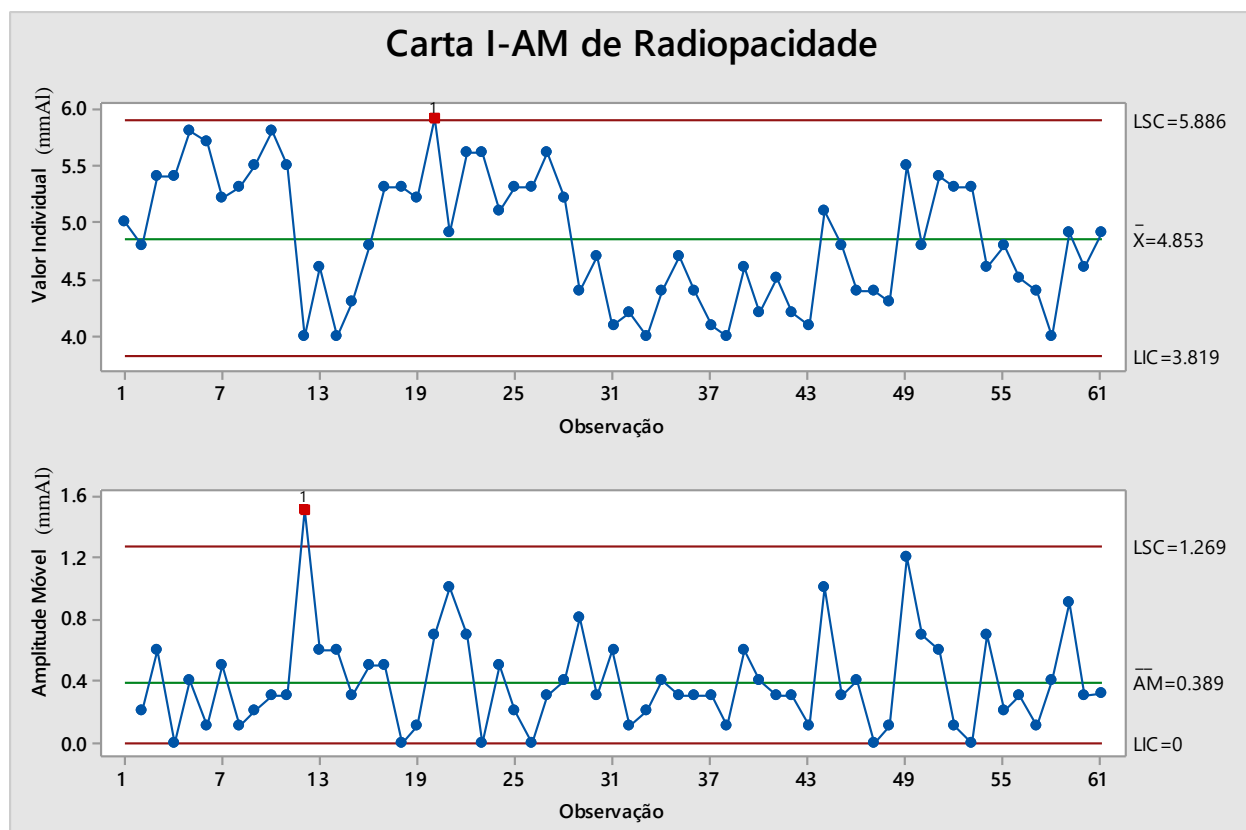


Figura 15 - Carta I-AM do Teste de Radiopacidade do Cimento S.

No gráfico de valor individual é possível observar que há uma série de valores tendenciosos acima da média e em seguida há outra série de valores tendenciosos, mas agora abaixo da média. Isto indica que não há controle estatístico no processo.

Além disso, há observações fora dos limites de controle.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 16 são apresentados os dados do teste de Radiopacidade no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

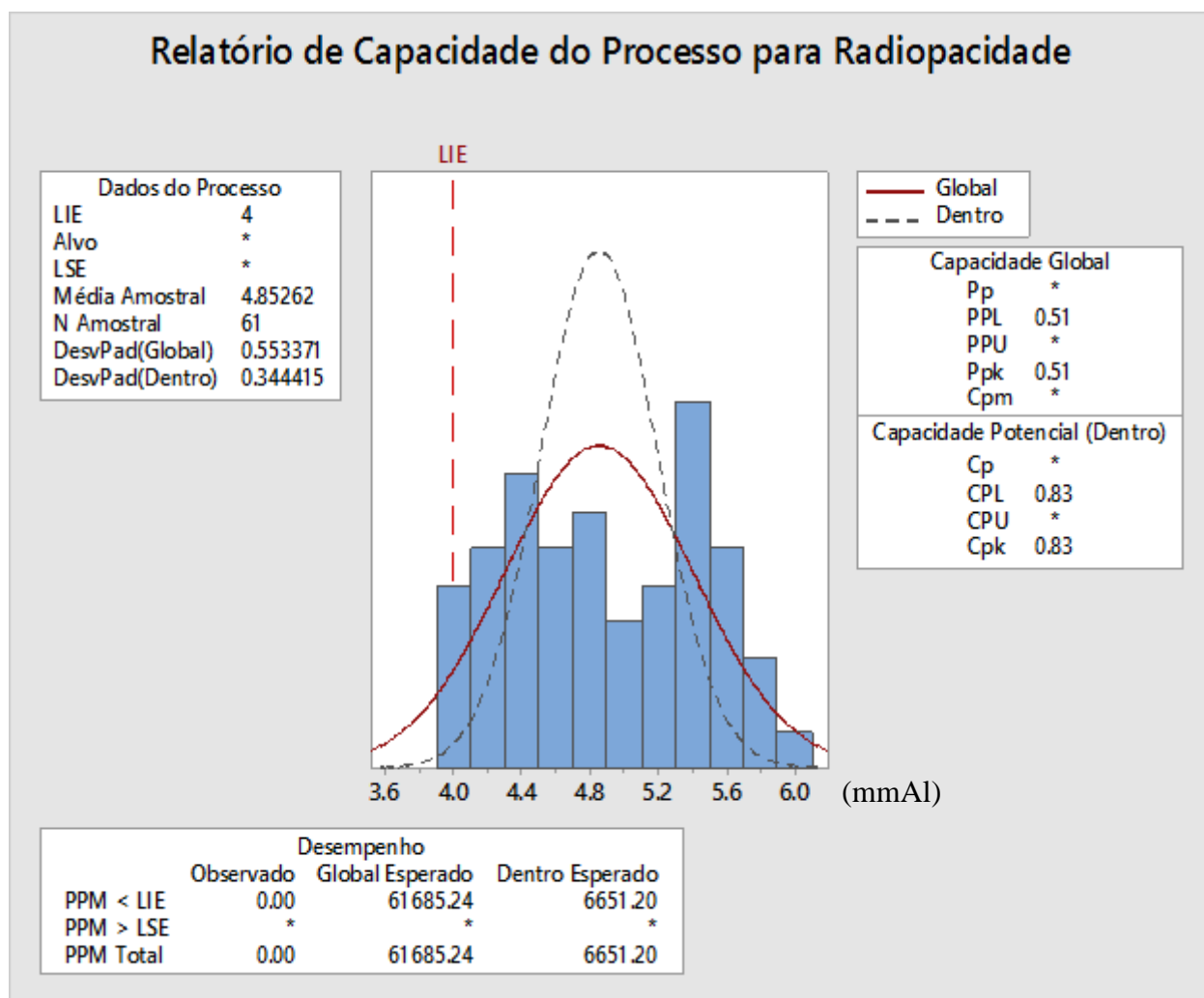


Figura 16 - Análise de Capacidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S.

O Ppk e o Cpk fornecem valores inferiores a 1, o que caracteriza um processo incapaz.

É importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LIE, como explicado anteriormente.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter 6,2% de resultados fora do especificado.

#### IV. Consistência

Especificação: 22 a 30 mm

- Análise de Normalidade:

Na Figura 17, são apresentados os dados coletados do teste de Consistência no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

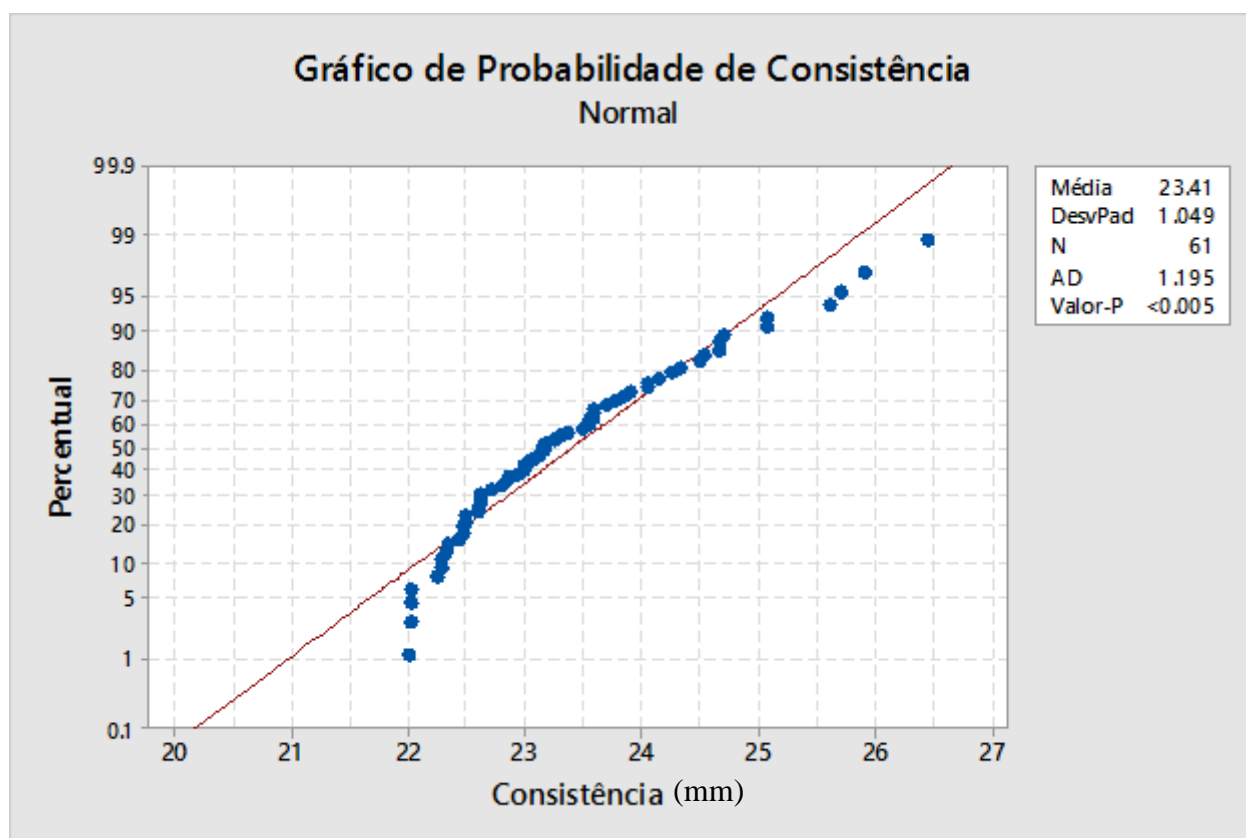


Figura 17 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Consistência para o Cimento S Pó.

O gráfico anterior mostra que a média dos resultados do teste de consistência para o Cimento S Pó é de 23,41 mm, um desvio padrão de 1,05 mm e um Valor-p inferior a 0,005, para uma amostra de 61 observações.

Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 18, são apresentados os dados coletados do teste de Consistência na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

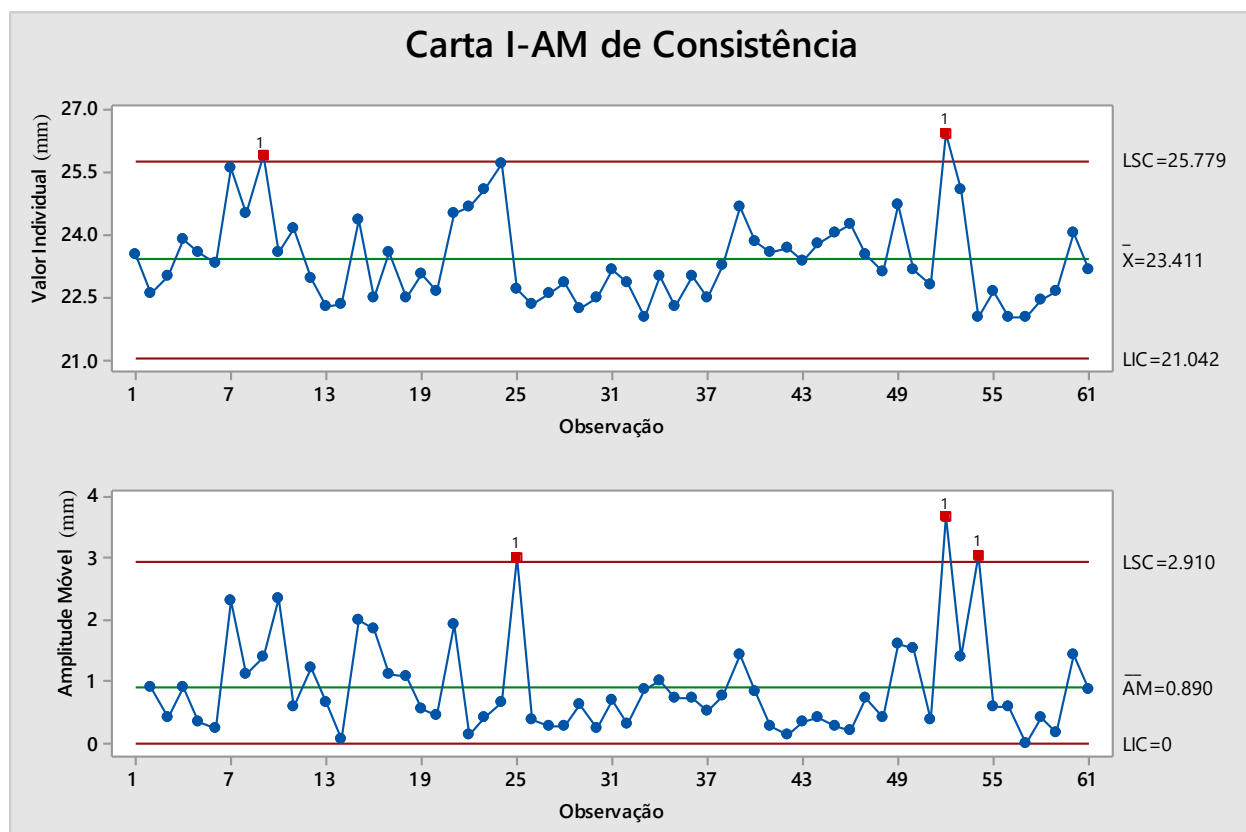


Figura 18 - Carta I-AM para o teste de Consistência do Cimento S Pó.

São observados 2 pontos acima do LSC no gráfico de valor individual e 3 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel.

A primeira observação foi a dos limites de controle do gráfico de amplitude móvel desencadeou uma sequência nos valores médios observados em seguida, indicando a presença de uma causa especial de variação.

É possível concluir então que o processo não está sob controle estatístico.



- Capacidade do Processo:

Na Figura 19 são apresentados os dados do teste de Consistência no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

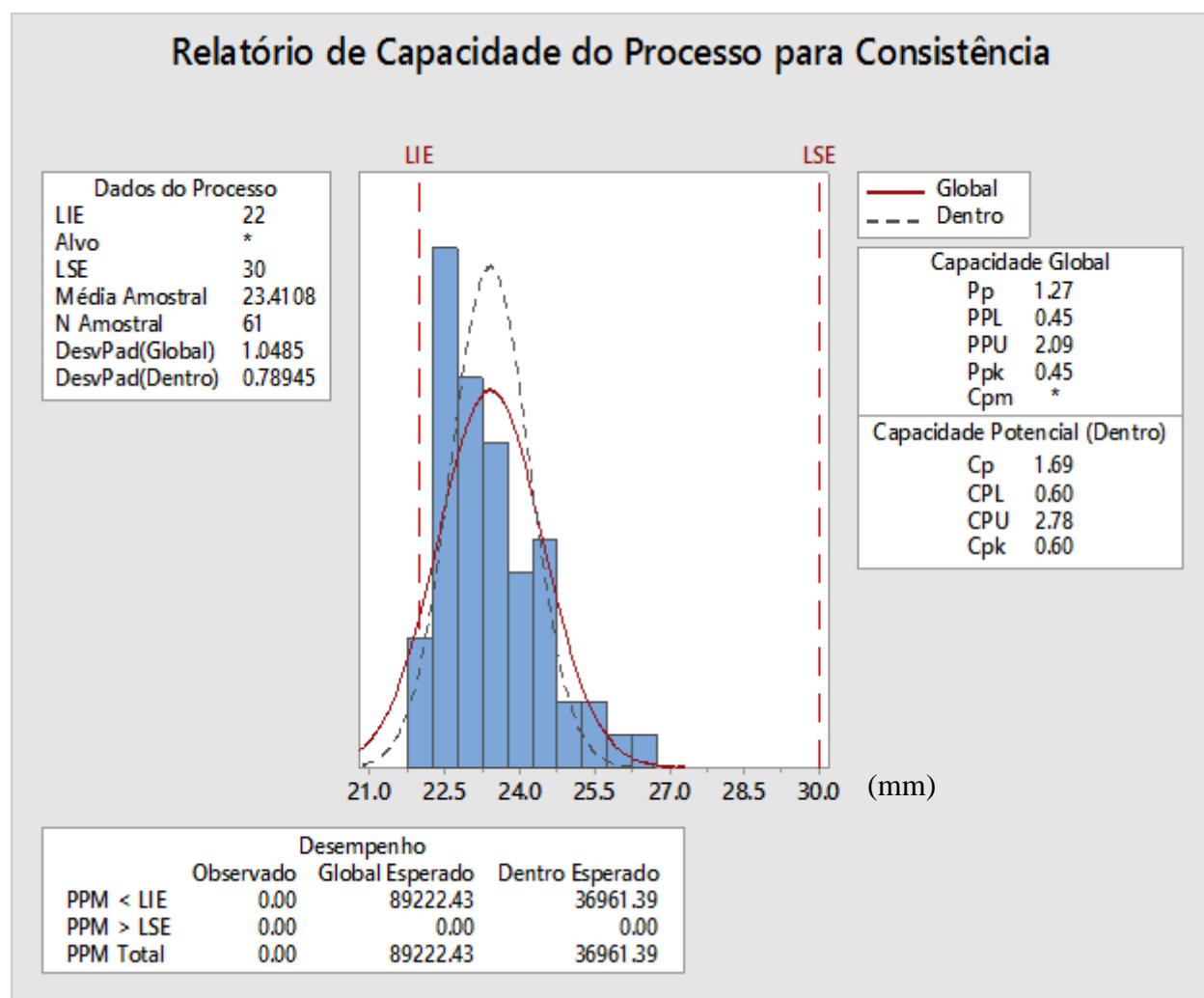


Figura 19 - Análise de Capacidade para o Teste de Consistência do Cimento S Pó.

Avaliando os índices de performance e de capacidade, Pp e Cp têm valores superiores a 1,33, o que caracteriza um processo capaz. Já os índices Ppk e Cpk, são menores que 1, caracterizando um processo incapaz. Isto se deve ao fato de que há uma baixa variação em relação à faixa dos limites de especificação, mas a distribuição não está centrada.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter aproximadamente 9,0% de resultados fora do especificado, de forma que os resultados ultrapassariam o LIE.

É possível avaliar então este processo como incapaz.

## V. Tempo de Presa

Especificação: 1440 minutos

- Análise de Normalidade:

Na Figura 20, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Pó no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

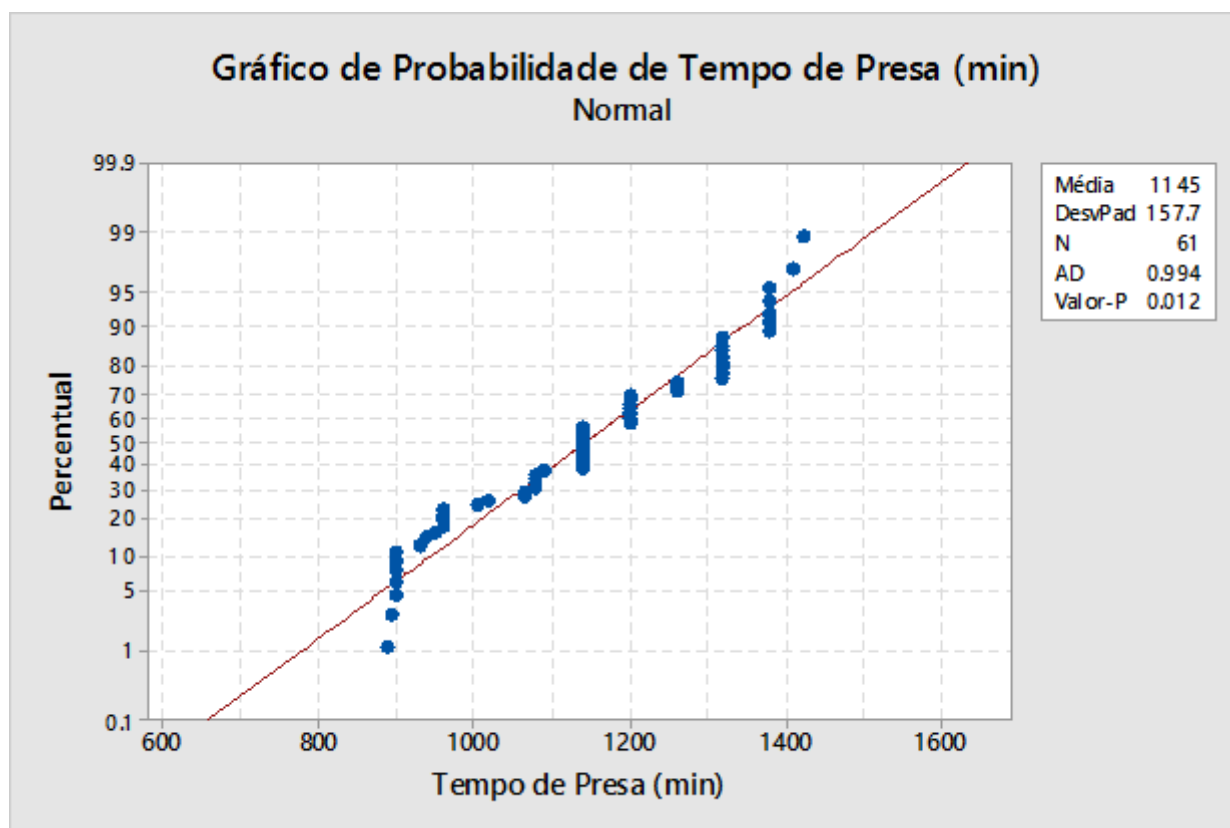


Figura 20 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S Pó.

A Figura 20 mostra que a média dos resultados do teste de tempo de presa para o Cimento S Pó é de 1145 minutos, um desvio padrão elevado de 157,7 minutos, correspondendo a 14% da média calculada, e um Valor-p inferior a 0,05, para uma amostra de 61 observações.

Os resultados compilados deste teste seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,05. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 21, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Pó na Carta-Controlre I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

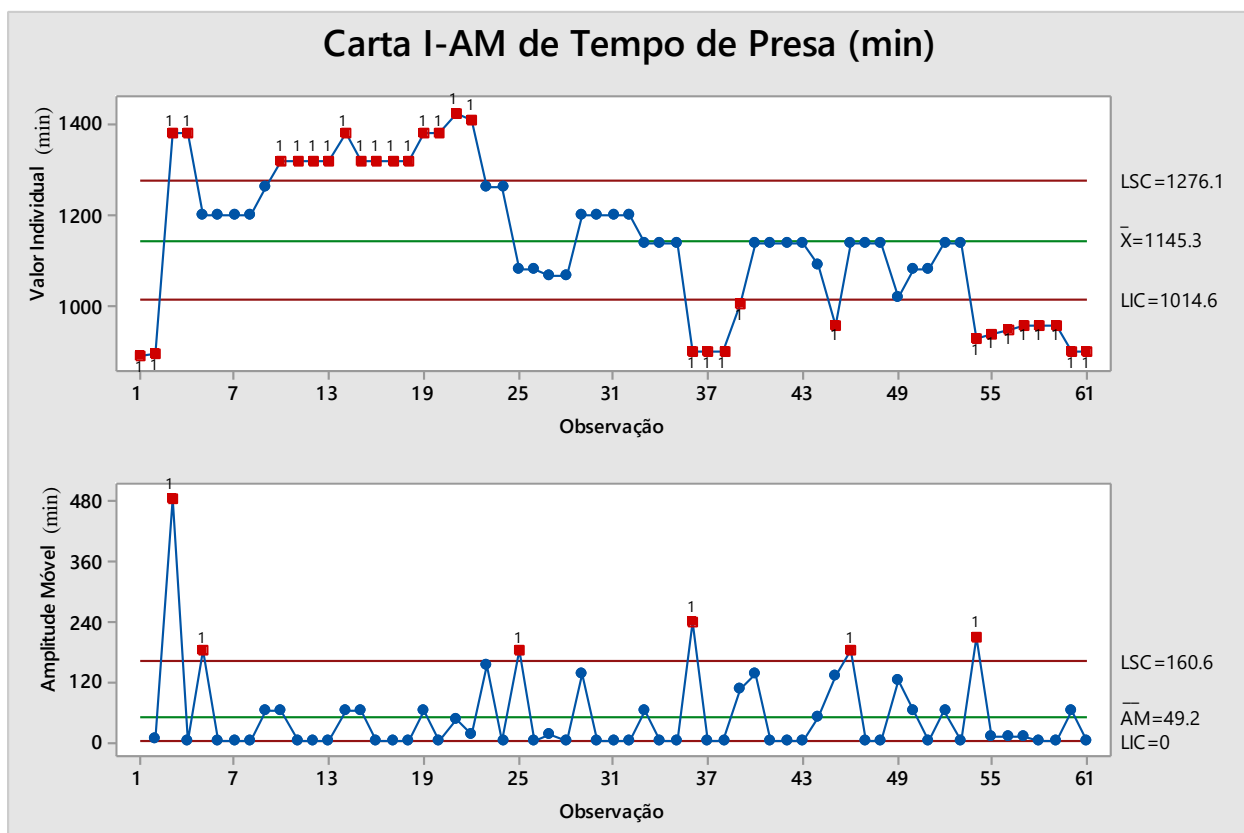


Figura 21 - Carta I-AM do Teste de Tempo de Presa do Cimento S.

Há 30 observações fora dos limites de controle no gráfico de valor individual e 6 observações acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. O processo não está sob controle estatístico, tanto devido ao elevado número de observações fora dos limites de controle, quanto à tendência que os dados seguem, como pode ser observado no gráfico de amplitude móvel.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 22 são apresentados os dados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Pó no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

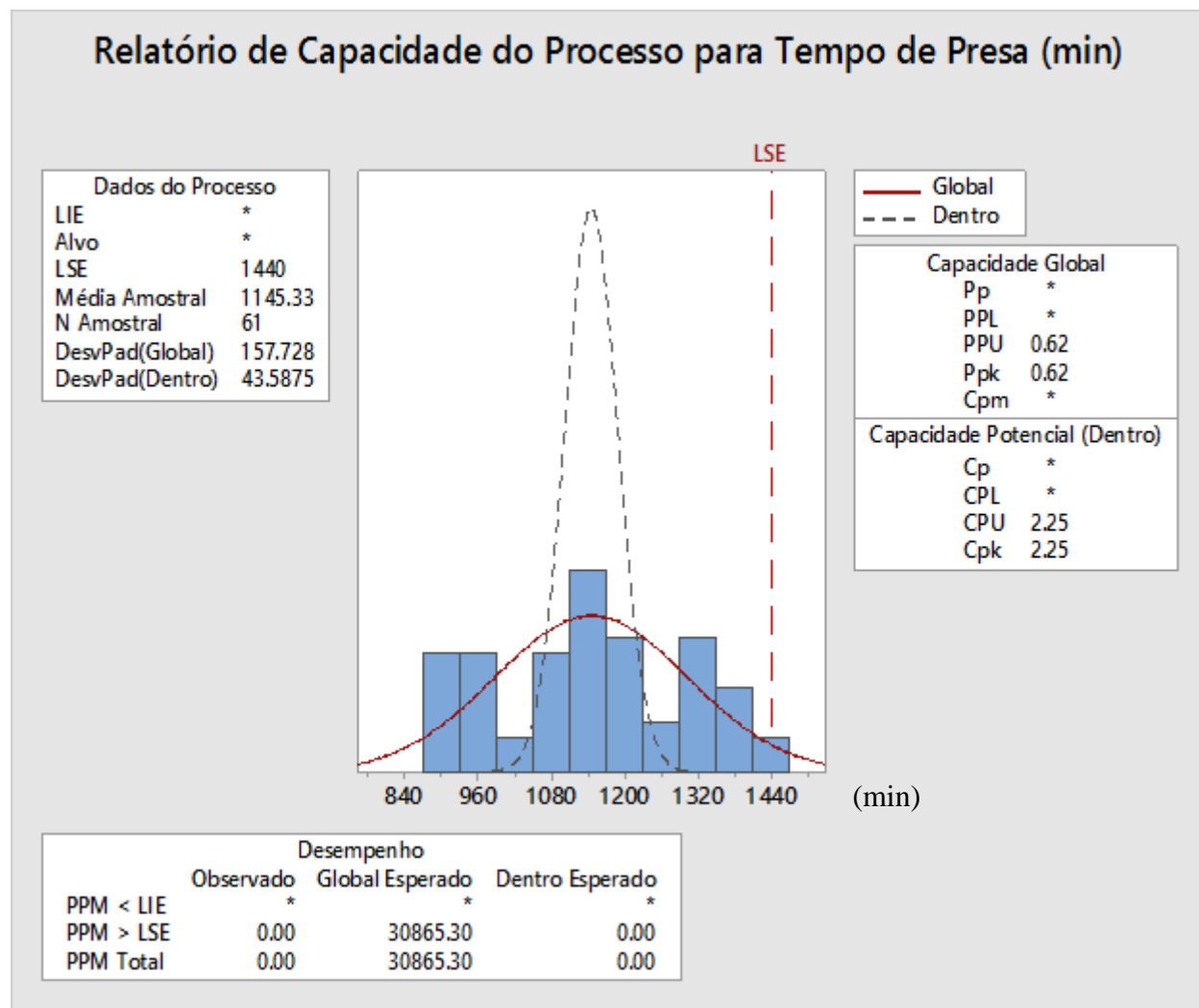


Figura 22 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S.

O Ppk fornece um valor inferior a 1, o que caracterizaria um processo incapaz. Já o Cpk fornece um valor maior que 1,33, o que caracterizaria um processo capaz.

Seria possível avaliar o processo como satisfatório, avaliação que está entre os valores calculados em ambos os índices. Mas, é importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE. Desta forma, a análise da capacidade do processo fica prejudicada, pois pela análise somente dos índices, haveria uma avaliação errônea da capacidade do processo, considerando-a como aceitável. Como é possível verificar pelo valor do desvio padrão, a variação dos resultados em relação à média é elevada. Sendo assim, o processo não pode ser considerado aceitável.

Além disso, outro indicativo de que o cálculo da capacidade do processo foi prejudicada devido à ausência de um dos limites de especificação é ao avaliar o desempenho do processo, encontrando uma probabilidade de se ter 3,1% de resultados fora do especificado. Uma probabilidade relativamente baixa. Afirmação que não condiz com a carta controle apresentada anteriormente para este teste, por exemplo.

#### 4.3.CIMENTO S (RESINA)

##### I. Teste de Viscosidade

Especificação: 3600 a 4600 cps

- Análise de Normalidade:

Na Figura 23, são apresentados os dados coletados do teste de Viscosidade no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

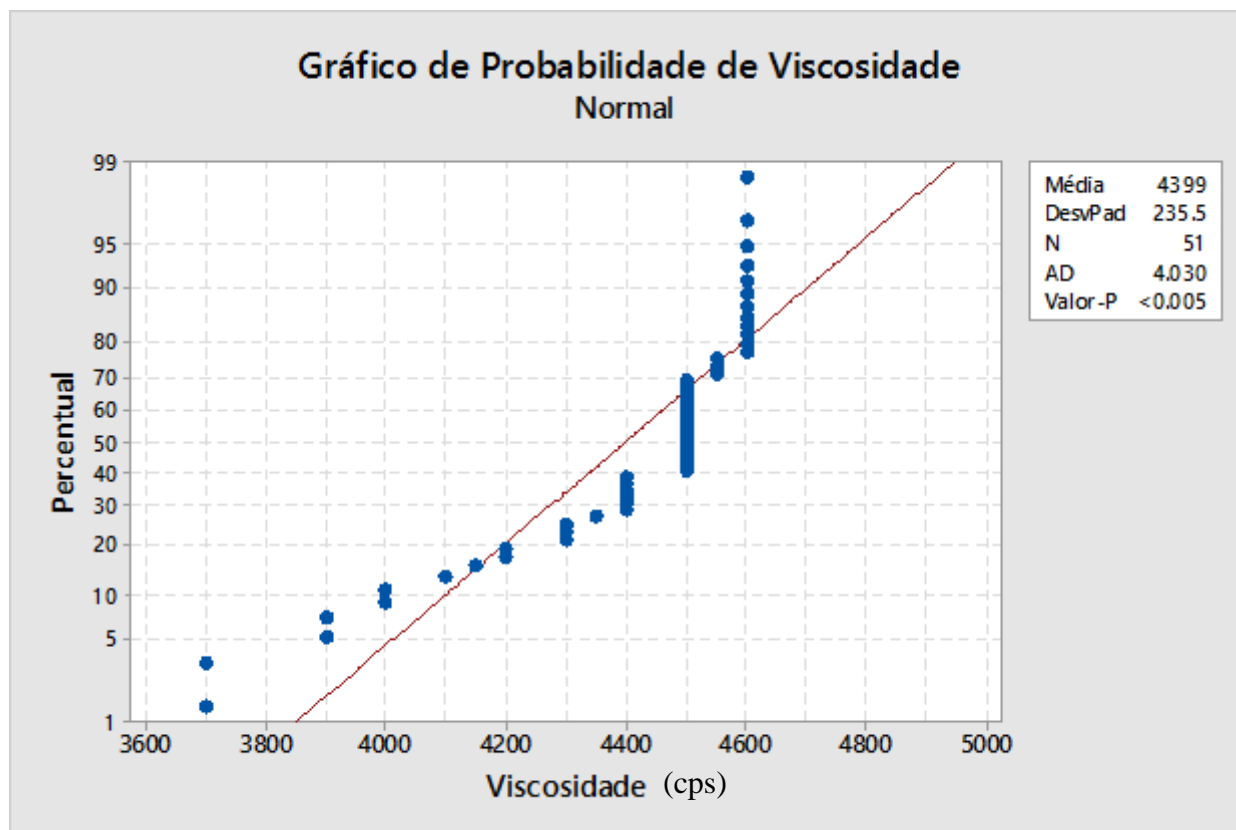


Figura 23 - Gráfico de Probabilidade (AD) do Teste de Viscosidade do Cimento S Resina.

Com uma média de 4399 cps e um desvio padrão igual a 235,5 cps, os resultados compilados de 51 amostras do teste de viscosidade seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005.

Devido à aparência da distribuição dos dados não transmitir a mesma resposta que o Valor-P calculado, de que esta é uma distribuição normal, os dados também foram submetidos à estatística de Ryan-Joiner (similar à Shapiro-Wilk), conforme mostra a figura 24.

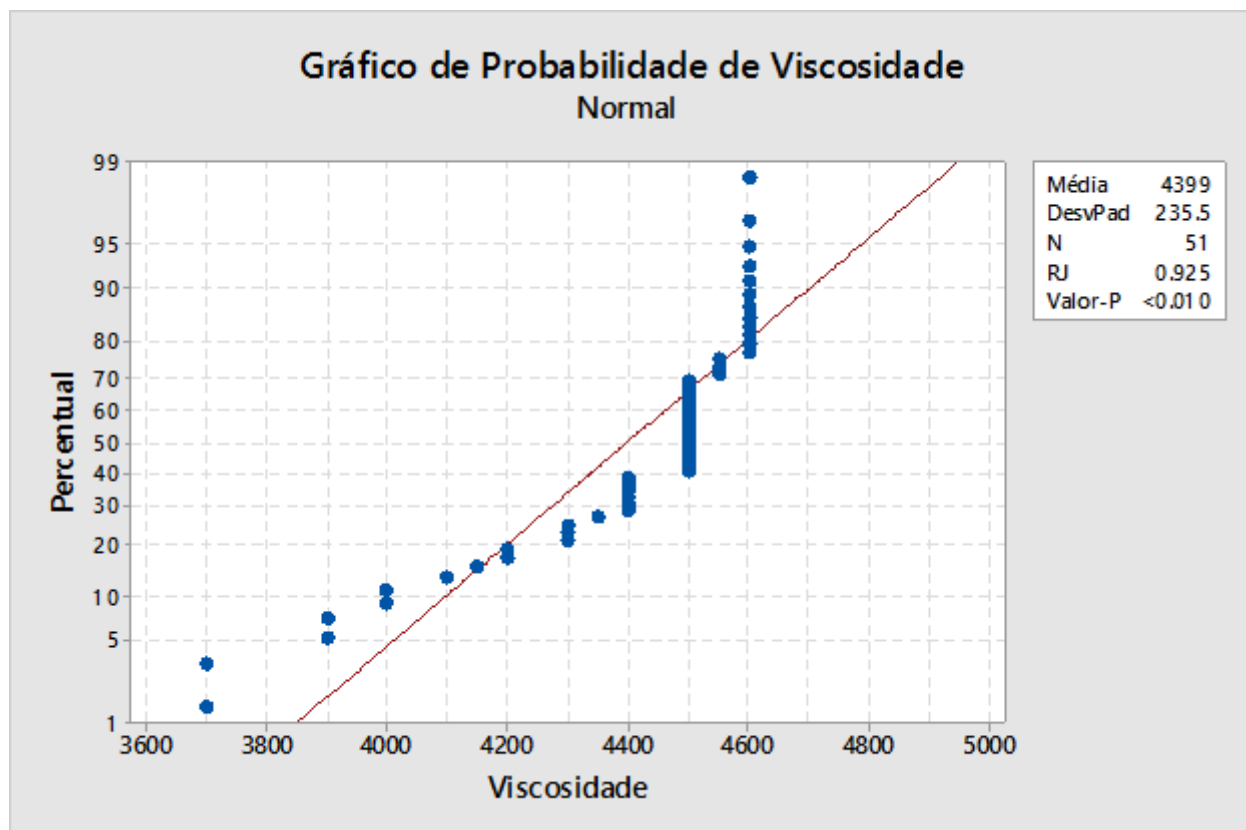


Figura 24 - Gráfico de Probabilidade (RJ) do Teste de Viscosidade para o Cimento S Resina

Como o Valor-P da estatística de Ryan-Joiner também é inferior a 0,05, é possível estimar que os dados seguem uma distribuição normal. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 25, são apresentados os dados coletados do teste de Viscosidade na Carta-Controle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

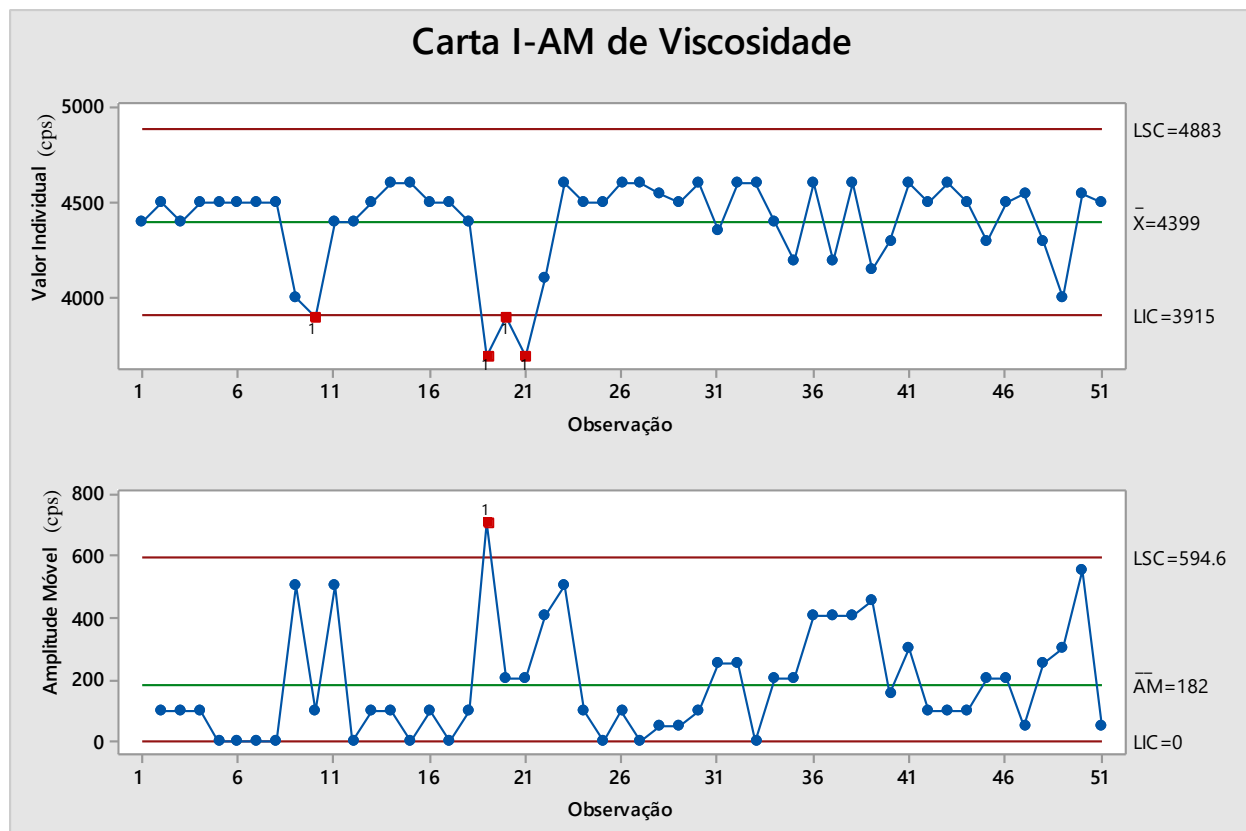


Figura 25 - Carta I-AM do teste de viscosidade do Cimento S Resina.

São observados 4 pontos abaixo do LIC no gráfico de valor individual e 1 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel.

Estas observações fora dos limites de controle desencadearam uma sequência nos valores médios observados em seguida, indicando a presença de uma causa especial de variação.

É possível concluir então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 26 são apresentados os dados do teste de Viscosidade no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.



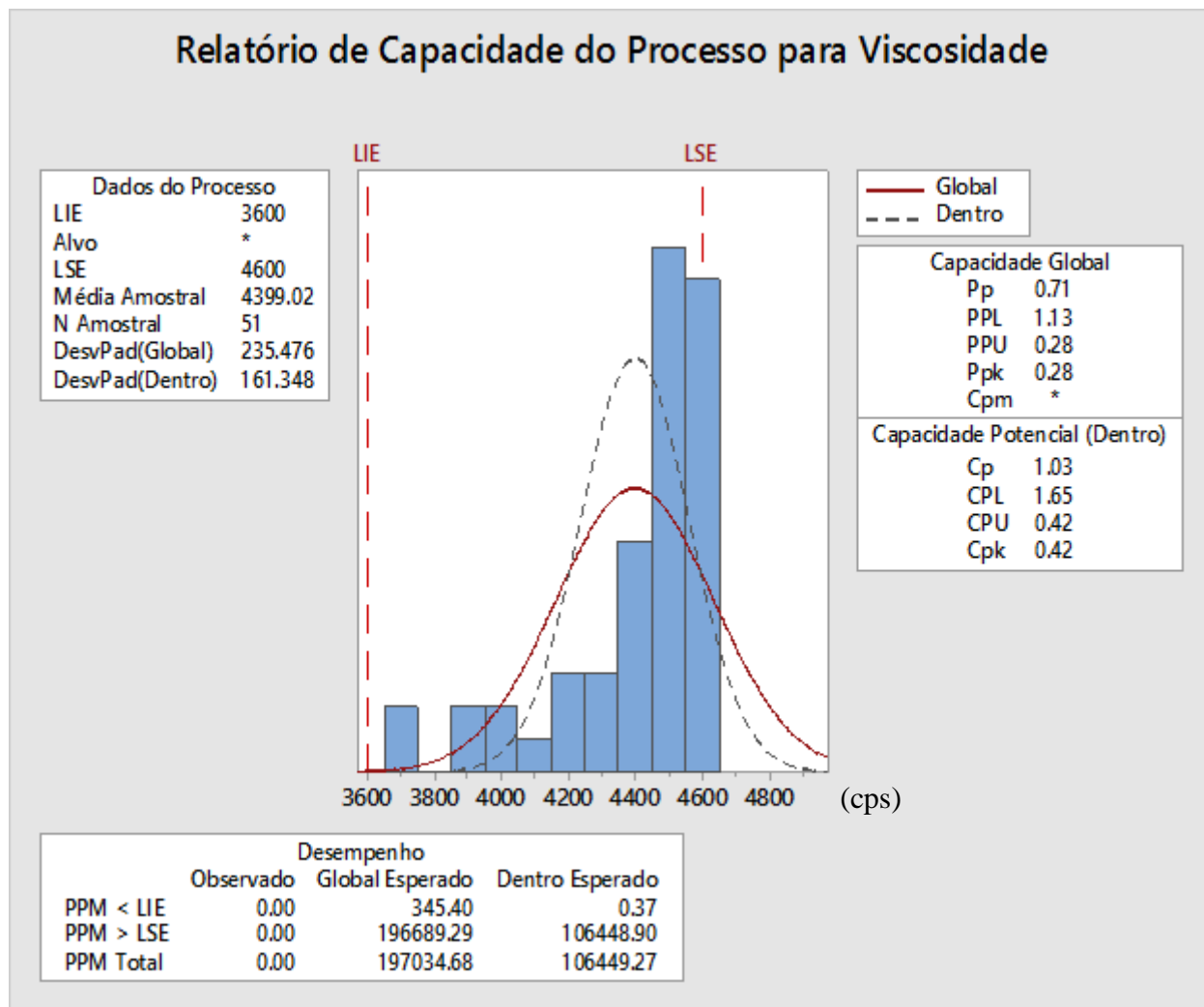


Figura 26 - Análise de Capacidade do Teste de Viscosidade do Cimento S Resina.

Ao avaliar os índices de performance, tem-se que Pp e Ppk são menores que 1, caracterizando um processo incapaz.

Avaliando os índices de capacidade, tem-se que Cp está entre 1 e 1,33, caracterizando um processo aceitável. Já o valor de Cpk também é inferior a 1, caracterizando também o processo como incapaz. Isto se deve ao fato de que a variação apresenta-se maior que os limites de especificação e também não está centrada.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter 19,7% de resultados fora do especificado, sendo mais provável que os resultados ultrapassem a especificação em relação ao limite inferior.

Desta forma, é possível avaliar o processo como incapaz.

## II. Espessura de Filme

Especificação: Máximo 0,05 mm

- Análise de Normalidade:

Na Figura 27, são apresentados os dados coletados do teste de Espessura de Filme para o Cimento S Resina no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

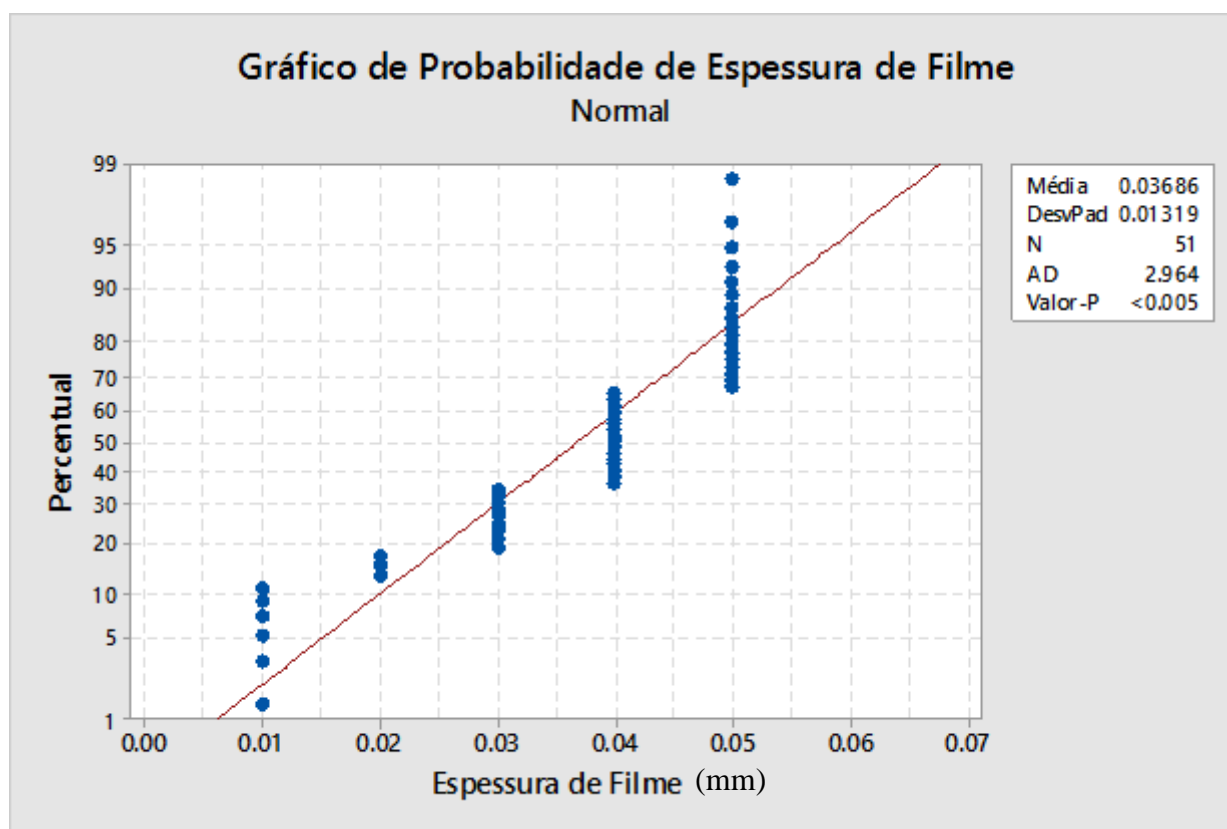


Figura 27 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Espessura de Filme para o Cimento S Resina.

A média dos resultados do teste da espessura de filme foi de 0,03686 mm e um desvio padrão bastante elevado, de 0,01319 mm, correspondendo a 36% da média. Como o Valor-P é inferior a 0,005, estes resultados seguem uma distribuição normal. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 28, são apresentados os dados coletados do teste de Espessura de Filme para o Cimento S Resina na Carta-Controlle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

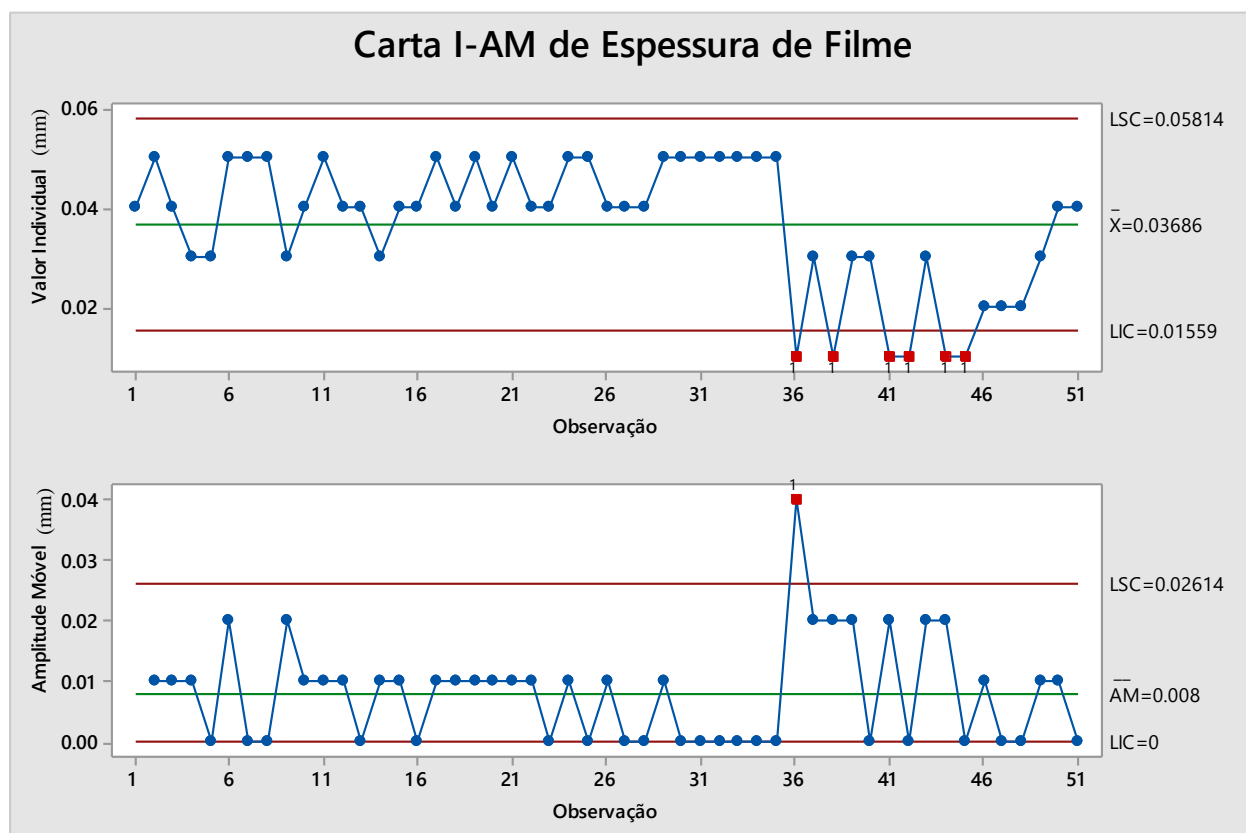


Figura 28 - Carta I-AM para o Teste de Espessura de Filme do Cimento S Resina.

São observados 6 pontos abaixo do LIC no gráfico de valor individual e 1 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. É possível observar também que os resultados são tendenciosos.

Desta forma, é possível avaliar então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 29 são apresentados os dados do teste de Espessura de Filme para o Cimento S Resina no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

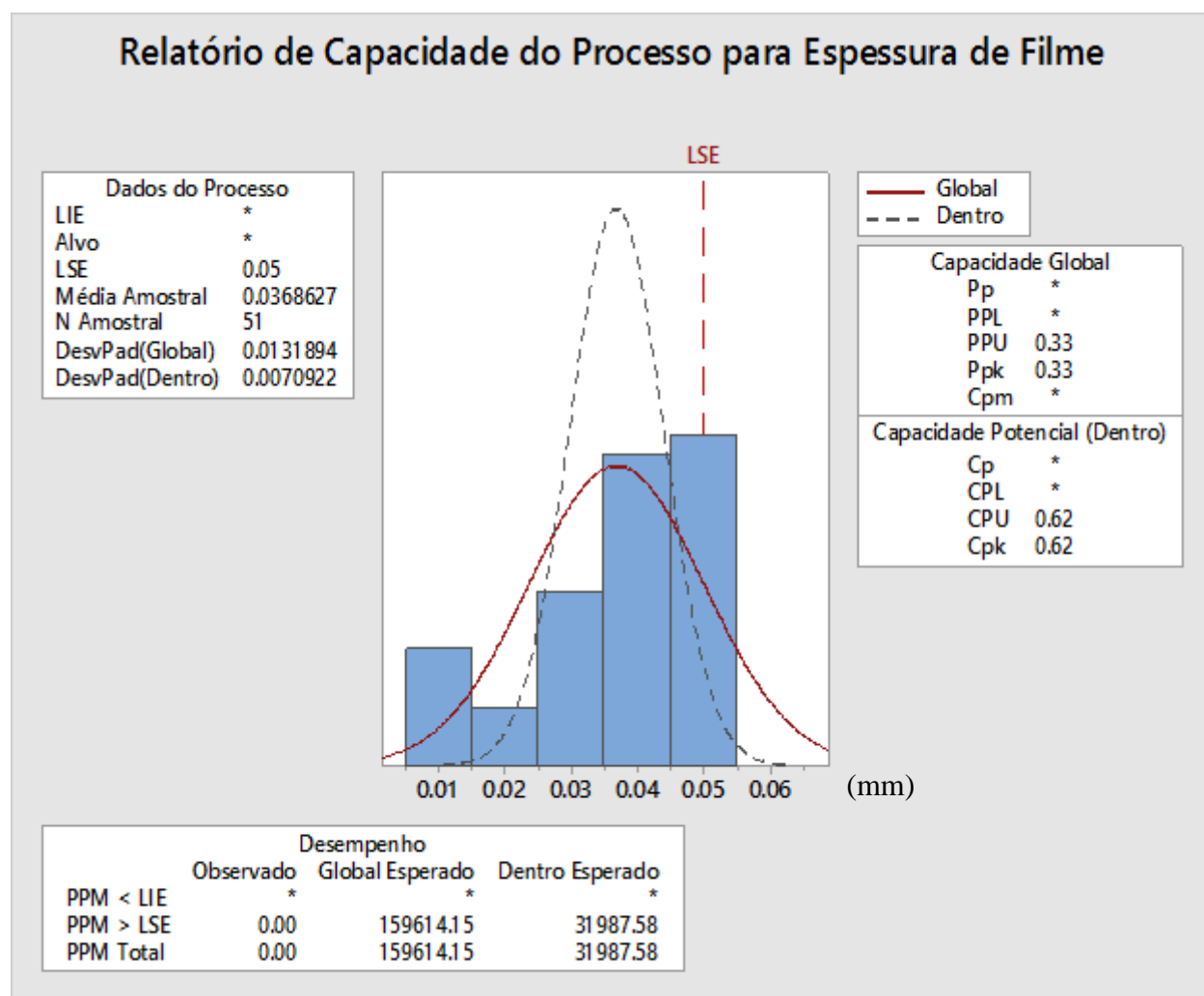


Figura 29 - Análise de Capacidade para o Teste de Espessura de Filme do Cimento S Resina.

O Ppk e o Cpk fornecem valores inferiores a 1, o que caracteriza um processo incapaz. É importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE, como explicado anteriormente.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter aproximadamente 16% de resultados fora do especificado.

### III. Radiopacidade

Especificação: Mínimo 4,0 mmAl

- Análise de Normalidade:

Na Figura 30, são apresentados os dados coletados do teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

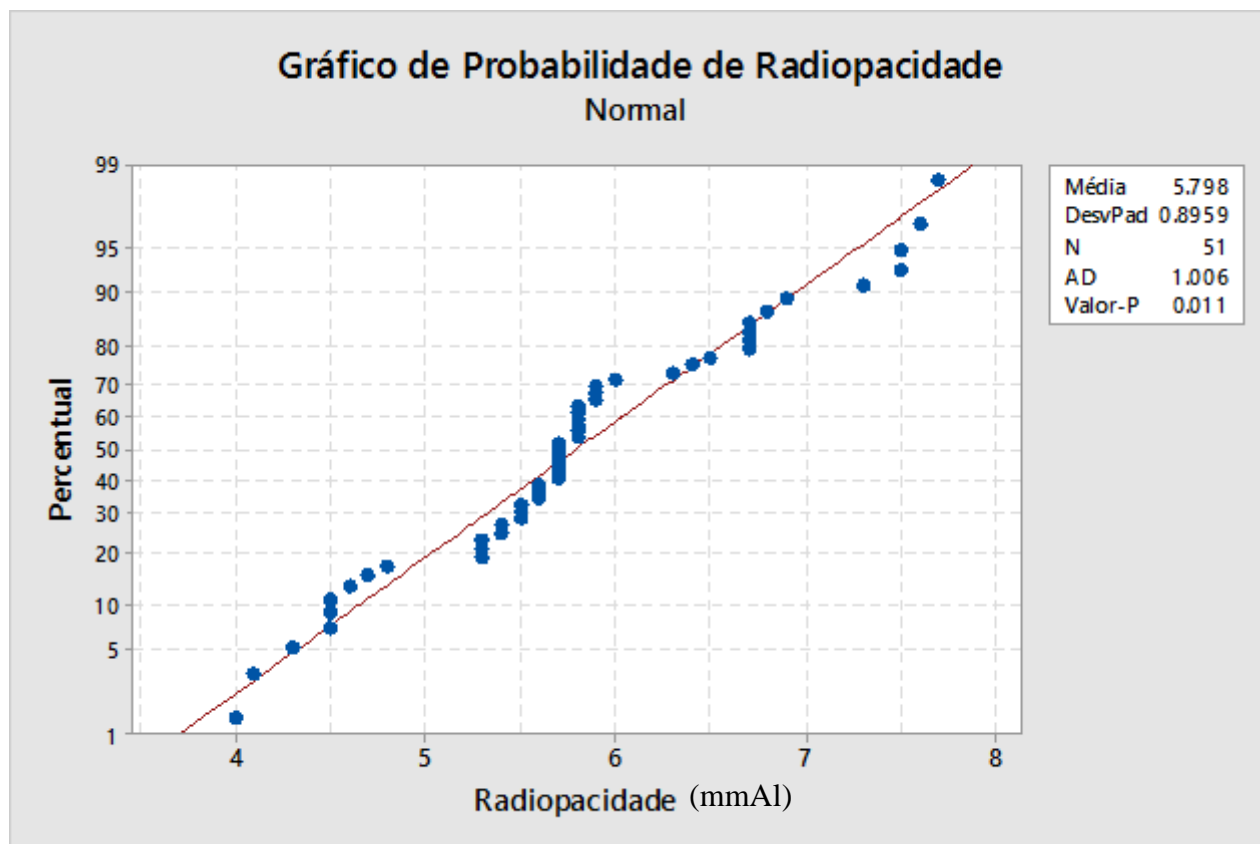


Figura 30 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina.

Com uma média de 5,8 mmAl e um desvio padrão de 0,9 mmAl, cerca de 15% da média, os resultados compilados do teste de radiopacidade seguem uma distribuição normal, visto que o

Valor-P é inferior a 0,05. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 31, são apresentados os dados coletados do teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina na Carta-Controlle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

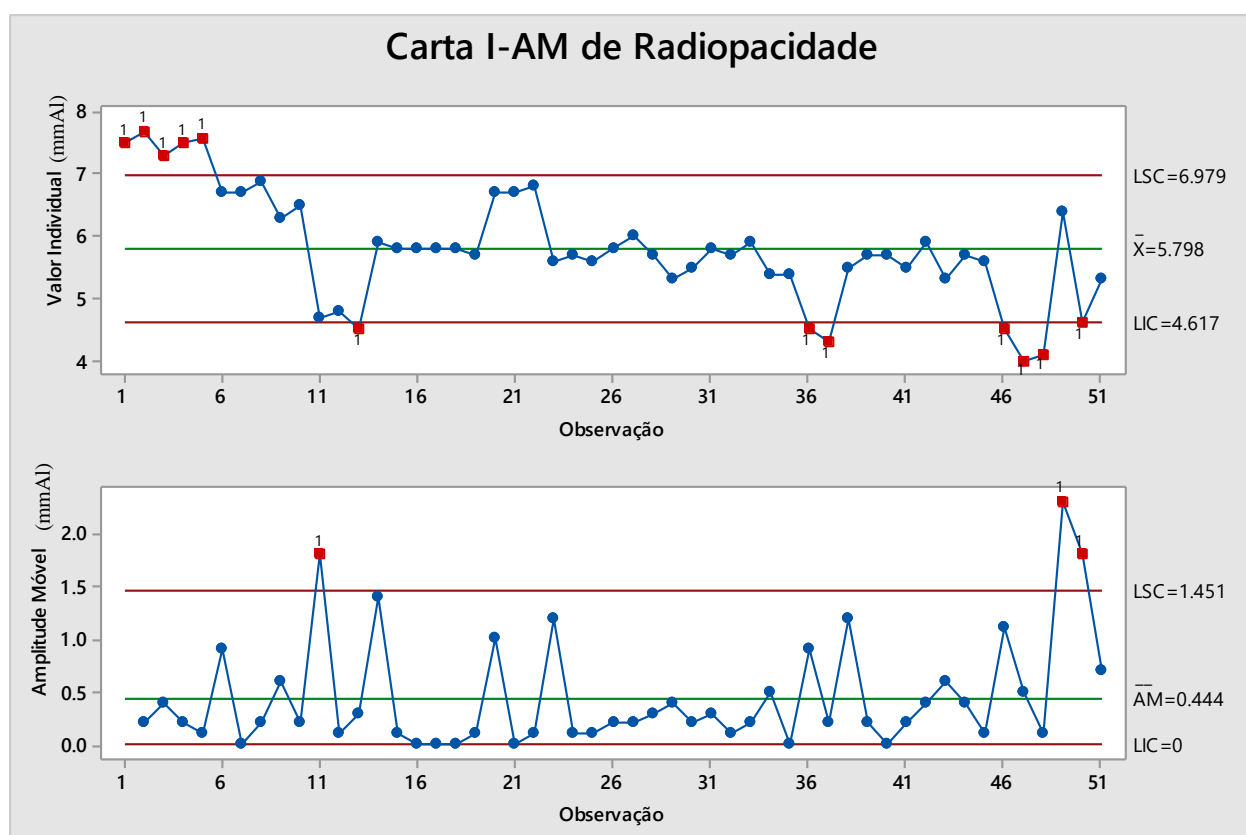


Figura 31 - Carta I-AM para o Teste de Radiopacidade do Cimento S Resina.

Há 12 observações fora dos limites de controle no gráfico de valor individual e 3 observações acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. O processo não está sob controle estatístico, tanto devido ao elevado número de observações fora dos limites de controle, quanto à tendência que os dados seguem, como pode ser observado no gráfico de amplitude móvel.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 32 são apresentados os dados do teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

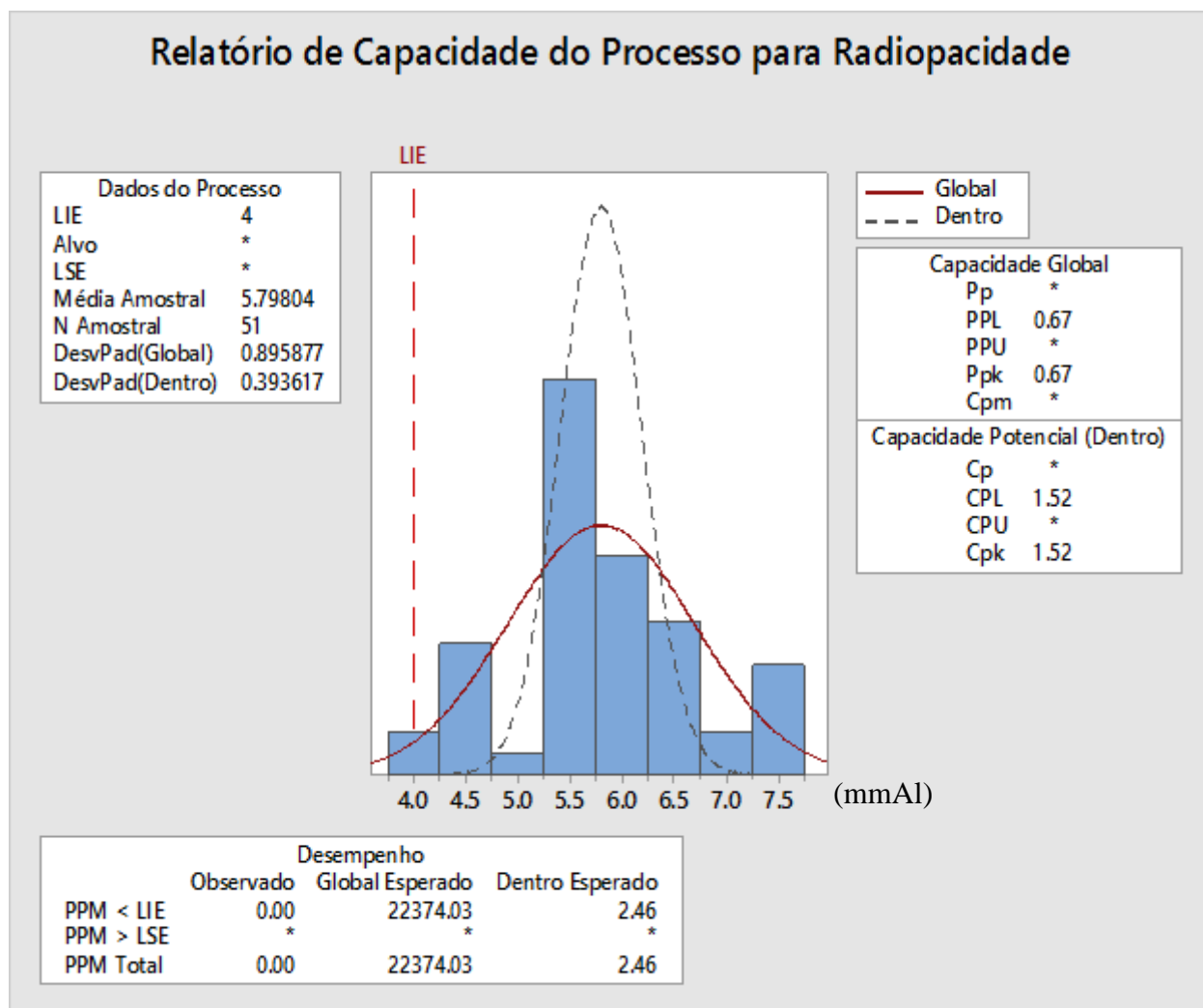


Figura 32 - Análise da Capacidade do Teste de Radiopacidade para o Cimento S Resina.

O Ppk tem um valor inferior a 1, o que caracteriza um processo incapaz. Já o Cpk tem um valor superior a 1,33, o que caracteriza o processo como capaz.

Seria possível avaliar o processo como satisfatório, avaliação que está entre os valores calculados em ambos os índices. Mas, é importante considerar que os índices não puderam ser

calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LIE. Desta forma, a análise da capacidade do processo fica prejudicada, pois pela análise somente dos índices, haveria uma avaliação errônea da capacidade do processo, considerando-a como aceitável. Como é possível verificar pelo valor do desvio padrão, a variação dos resultados em relação à média é muito elevada. Sendo assim, o processo não pode ser considerado aceitável.

#### IV. Consistência

Especificação: 22 a 30 mm

- Análise de Normalidade:

Na Figura 33, são apresentados os dados coletados do teste de Consistência para o Cimento S Resina no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

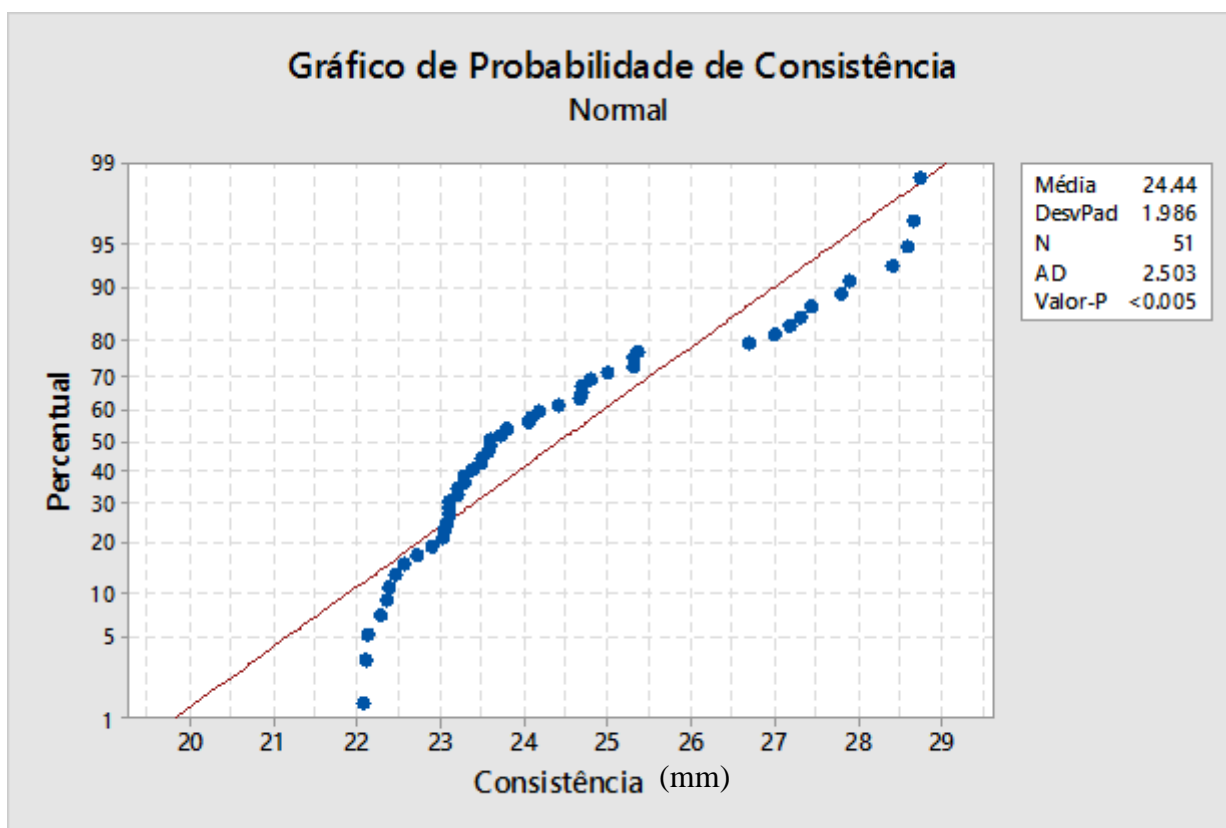


Figura 33 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Consistência do Cimento S Resina.



Com uma média de 24,44 mm e um desvio padrão de aproximadamente 2 mm, os resultados compilados do teste de consistência seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é inferior a 0,005. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 34, são apresentados os dados coletados do teste de Consistência para o Cimento S Resina na Carta-Controlle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

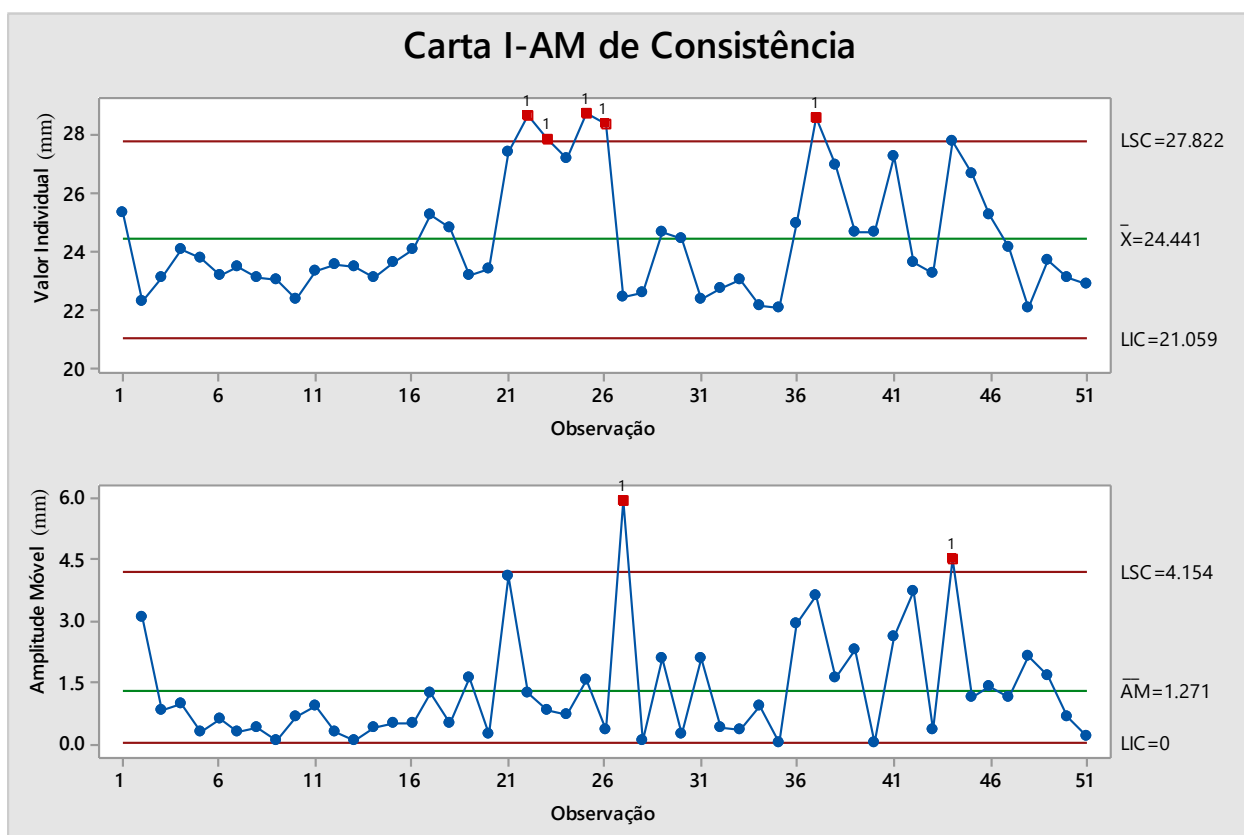


Figura 34 - Carta I-AM para o Teste de Consistência do Cimento S Resina.

São observados 5 pontos acima do LSC no gráfico de valor individual e 2 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. É possível observar também que os resultados iniciais são tendenciosos. Desta forma, é possível avaliar então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 35 são apresentados os dados do teste de Consistência para o Cimento S Resina no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

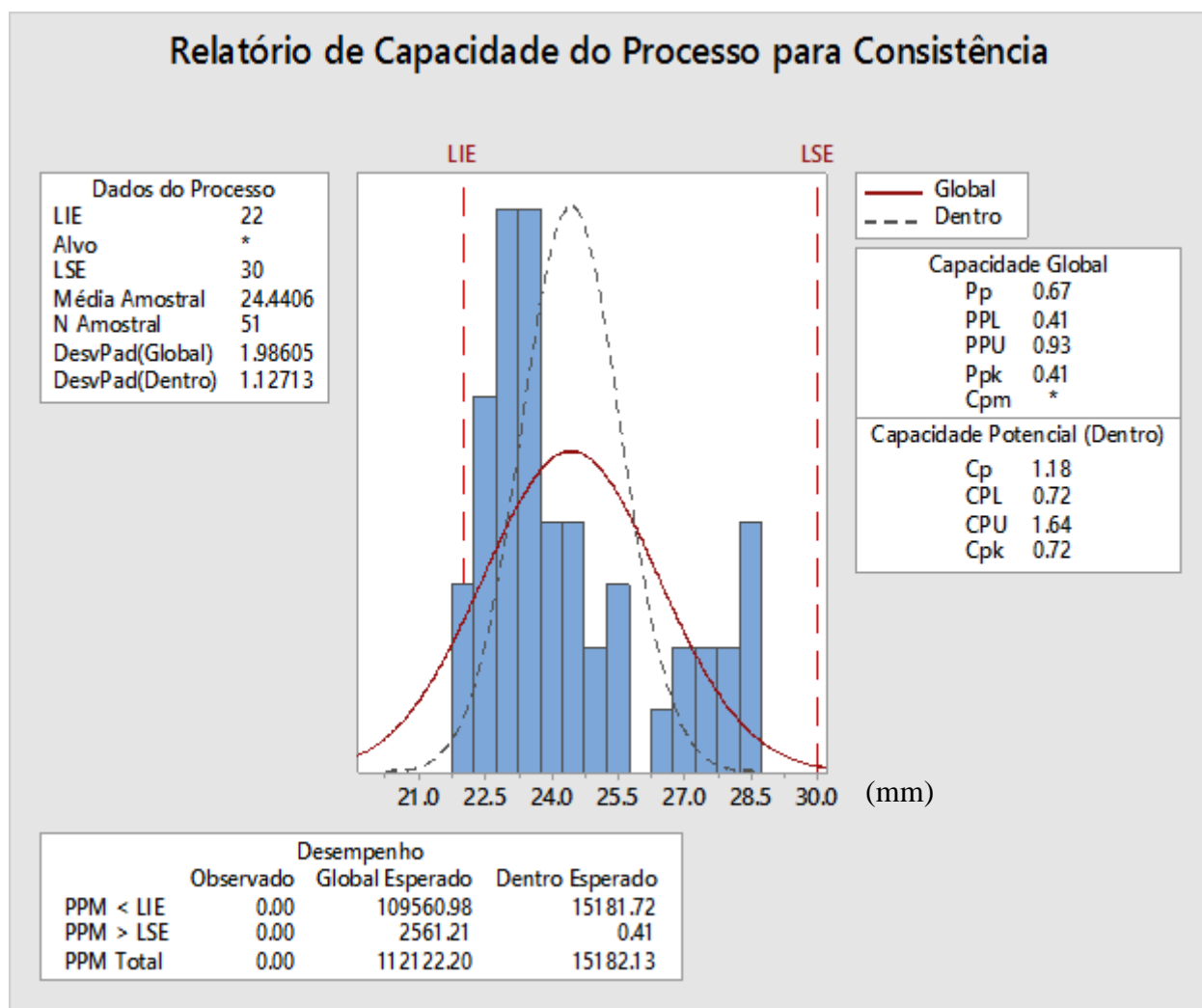


Figura 35 - Análise de Capacidade do teste de consistência do cimento S Resina.

Ao avaliar os índices de performance, tem-se que Pp e Ppk são menores que 1, caracterizando um processo incapaz.

Avaliando os índices de capacidade, tem-se que Cp está entre 1 e 1,33, caracterizando um processo aceitável. Já o valor de Cpk também é inferior a 1, caracterizando também o processo como incapaz. Isto se deve ao fato de que a variação apresenta-se maior que os limites de especificação e também não está centrada.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter 11,2% de resultados fora do especificado, sendo mais provável que os resultados ultrapassem a especificação em relação ao limite inferior.

Desta forma, é possível avaliar o processo como incapaz.

#### V. Tempo de Presa

Especificação: Máximo 1440 minutos

- Análise de Normalidade:

Na Figura 36, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Resina no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

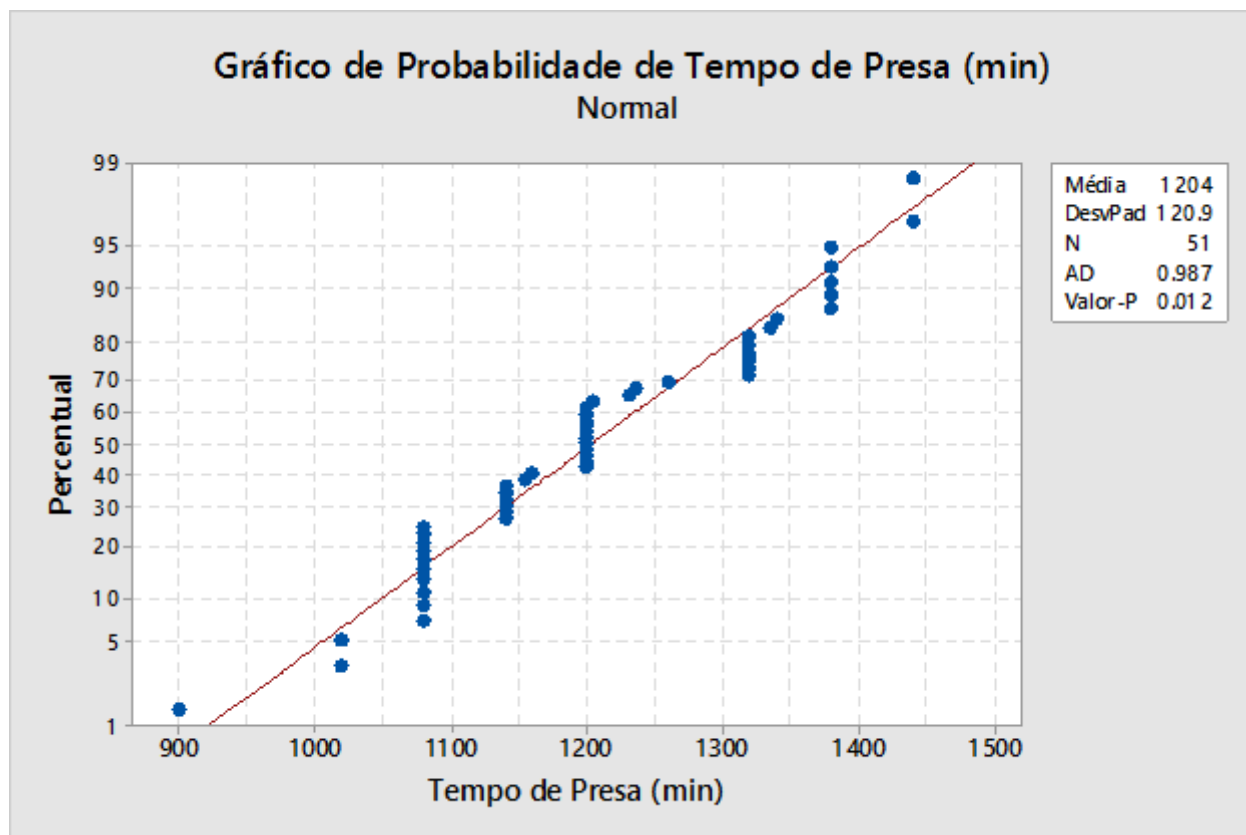


Figura 36 - Gráfico de Probabilidade do Teste de Tempo de Presa para o Cimento S Resina.

Com uma média de 1204 minutos e um desvio padrão de 120,9 minutos, os resultados compilados do teste de tempo de presa seguem uma distribuição normal, visto que o Valor-P é menor que 0,05. Desta forma, os demais gráficos para a análise estatística podem ser construídos sem necessitarem da transformação box-cox.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 37, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Resina na Carta-Controlle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

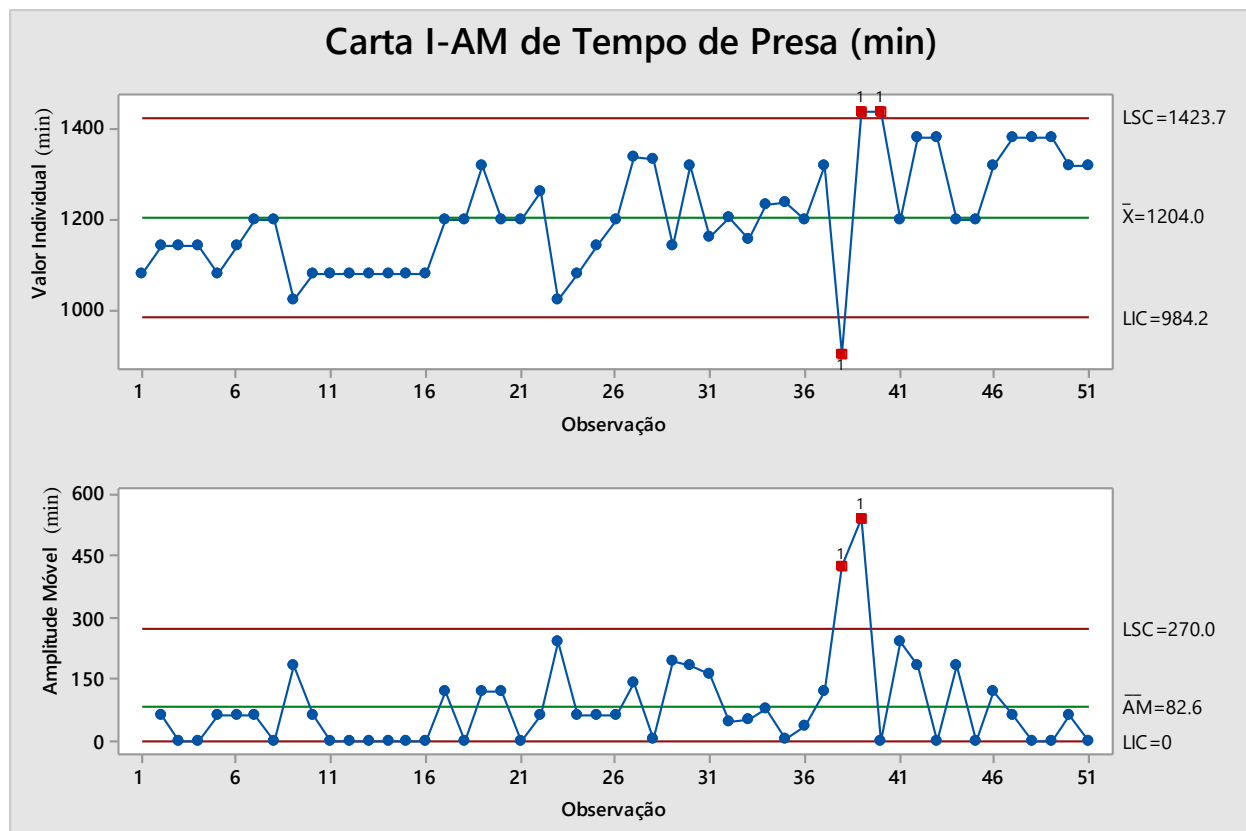


Figura 37 - Carta I-AM para o Teste de Tempo de Presa do Cimento S Resina.

São observados 3 pontos fora dos limites de controle no gráfico de valor individual e 2 pontos acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. É possível observar também que, mesmo havendo poucos pontos fora dos limites de controle, os resultados são tendenciosos. Desta forma, é possível avaliar então que o processo não está sob controle estatístico.

- Capacidade do Processo:

Na Figura 38 são apresentados os dados do teste de Tempo de Presa para o Cimento S Resina no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

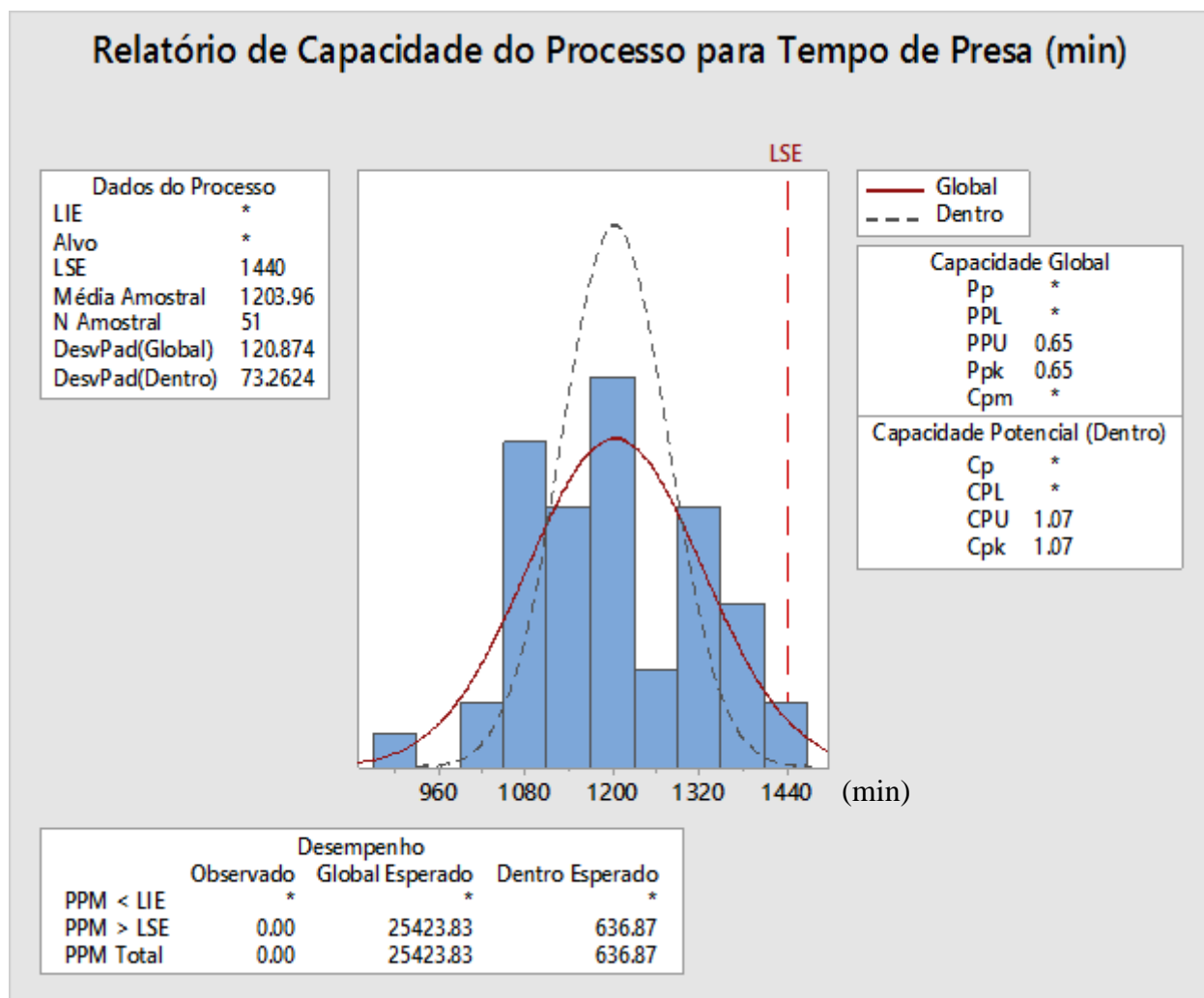


Figura 38 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Presa do Cimento S Resina.

O Ppk é inferior a 1, o que caracteriza um processo incapaz. Já o Cpk tem um valor entre 1 e 1,33, o que caracteriza um processo aceitável. É importante considerar que os índices não puderam ser calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE, como explicado anteriormente.

Além disso, o desempenho do processo permite avaliar que há a probabilidade de se ter aproximadamente 2,5% de resultados fora do especificado.

## VI. Tempo de Trabalho

Especificação: Máximo 480 minutos

- Análise de Normalidade:

Na Figura 39, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Trabalho para o Cimento S Resina no gráfico de probabilidade, sob a estatística de Anderson Darling.

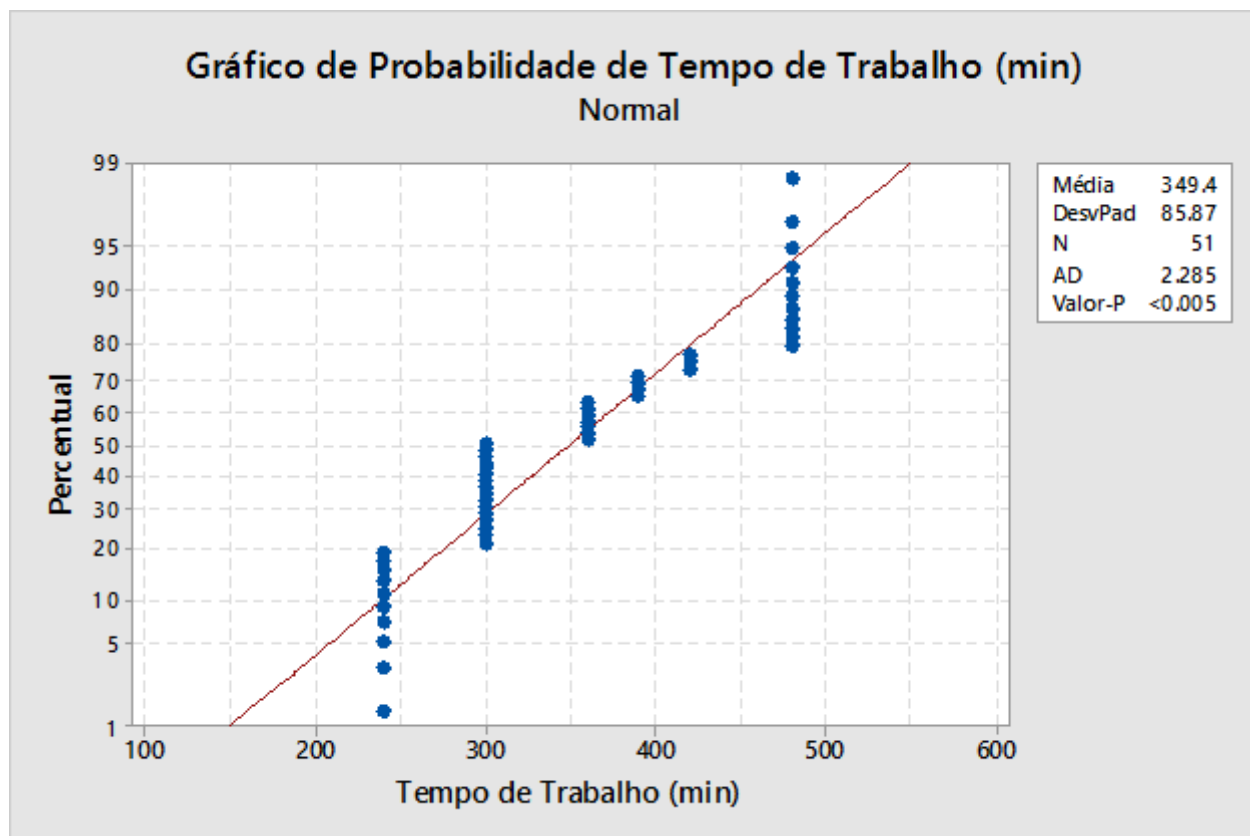


Figura 39 - Gráfico de Probabilidade de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina.

Com uma média de 349,4 minutos e um desvio padrão bastante elevado, cerca de 25% da média, de aproximadamente 86 minutos, os resultados compilados do teste de tempo de trabalho seguem uma distribuição normal, já que o Valor-P é inferior a 0,005.

- Carta Controle I-AM:

Na Figura 40, são apresentados os dados coletados do teste de Tempo de Trabalho para o Cimento S Resina na Carta-Controlle I-AM, com os gráficos de Valor Individual e de Amplitude Móvel.

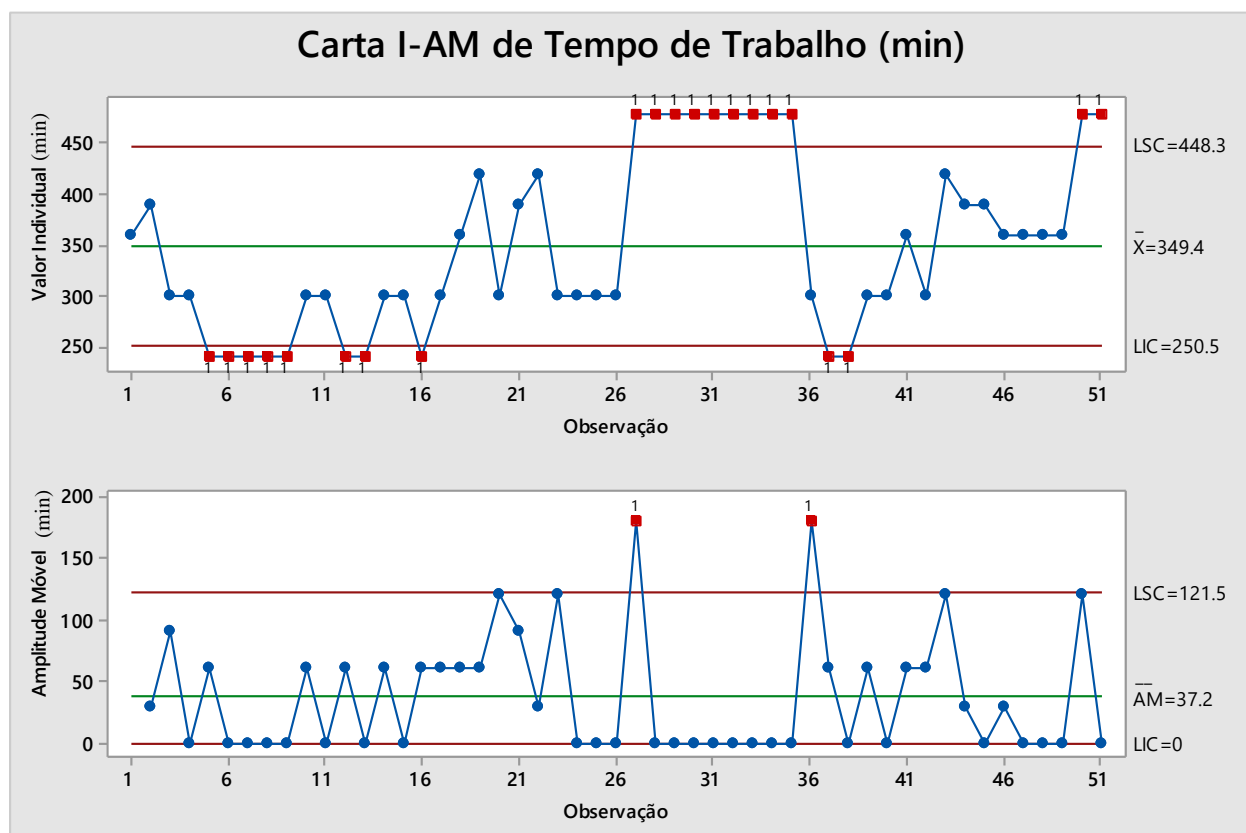


Figura 40 - Carta I-AM do Teste de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina.

Há 21 observações fora dos limites de controle no gráfico de valor individual e 2 observações acima do LSC no gráfico de amplitude móvel. O processo não está sob controle estatístico, tanto devido ao elevado número de observações fora dos limites de controle, quanto à tendência que os dados seguem. Além disso, grande parte dos resultados está sobre o LIC no gráfico de amplitude móvel.



- Capacidade do Processo:

Na Figura 41 são apresentados os dados do teste de Tempo de Trabalho para o Cimento S Resina no Relatório de Capacidade do Processo, que inclui os índices de capacidade e de performance, além do desempenho do processo em ppm.

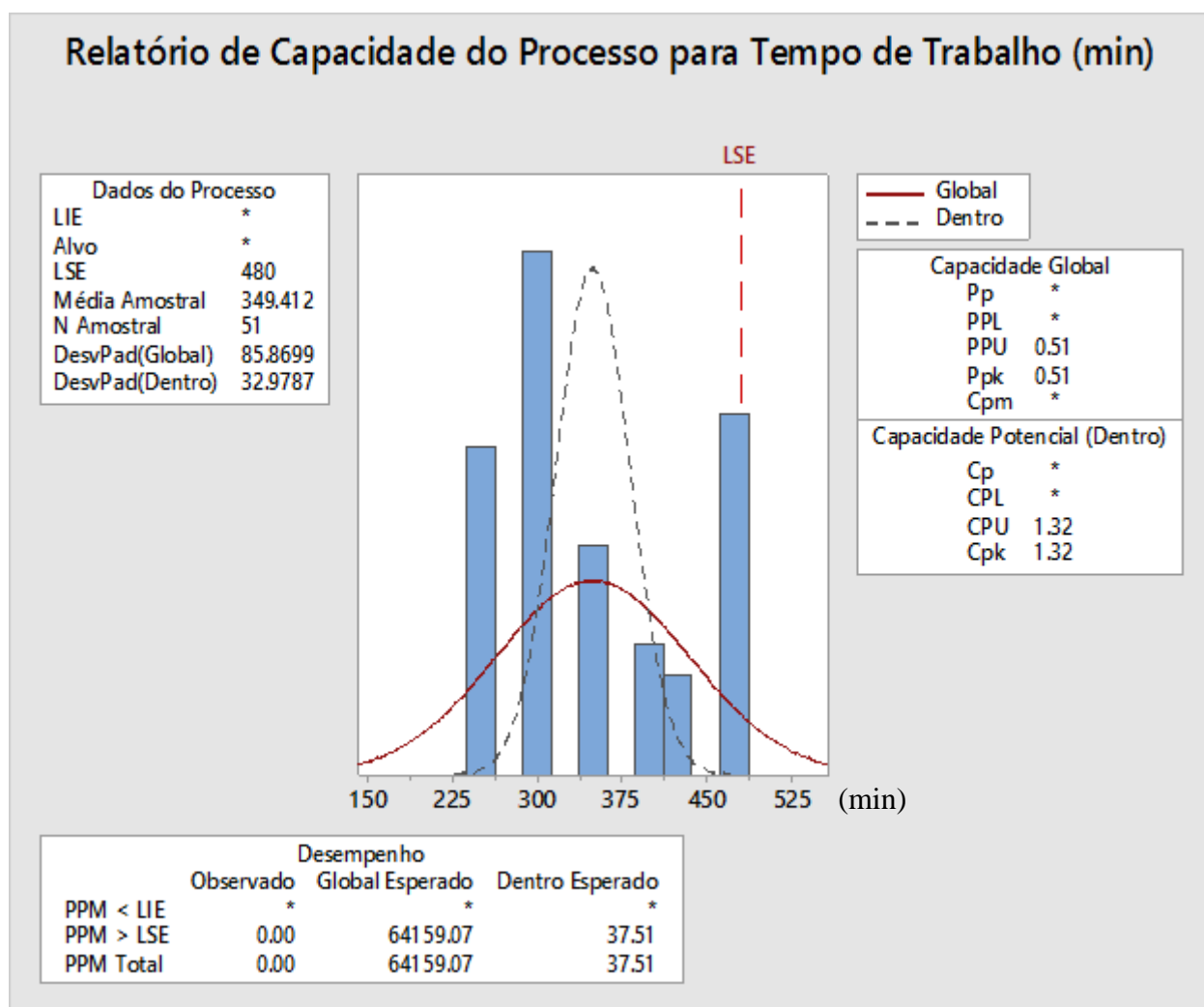


Figura 41 - Análise de Capacidade do Teste de Tempo de Trabalho do Cimento S Resina.

O Ppk é inferior a 1, o que caracteriza um processo incapaz. Já o Cpk tem um valor entre 1 e 1,33, o que caracteriza um processo aceitável.

Seria possível avaliar o processo como satisfatório, avaliação que está entre os valores calculados em ambos os índices. Mas, é importante considerar que os índices não puderam ser

calculados em relação à centralização dos resultados entre os limites de especificação, visto que este teste só apresenta LSE. Desta forma, a análise da capacidade do processo fica prejudicada, pois pela análise somente dos índices, haveria uma avaliação errônea da capacidade do processo, considerando-a como aceitável. Como é possível verificar pelo valor do desvio padrão, a variação dos resultados em relação à média é muito elevada. Sendo assim, o processo não pode ser considerado aceitável.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não foi possível detalhar melhor as observações fora dos limites de controle para o Alginato A porque todas as observações estavam dentro dos limites de especificação e, como não haviam limites de controle anteriormente, não há dados suficientes que possam embasar a razão pela qual houve estes *outliers*. É possível supor alguns parâmetros que podem ter influenciado nesta variação, como: temperatura ambiente no momento da análise, troca de analistas ou alguma variação na matéria-prima. Com um monitoramento regular e periódico, será possível identificar quando uma variável começar a sair do controle, podendo identificar sua causa com mais agilidade e poder criar um plano de ação baseando-se nisso.

Como definido anteriormente, a análise da capacidade de um processo só é factível quando a carta controle apresenta dados sob controle estatístico. Não houve nenhuma carta controle do Cimento S, tanto pó quanto resina, que apresentasse dados sob controle estatístico. Além disso, o fato de grande parte dos testes ter somente um limite de especificação também prejudica a avaliação da capacidade, visto que pode apresentar resultado aceitável ou até mesmo capaz para processos com desvios muito elevados, por exemplo. O monitoramento estatístico através dessas ferramentas demonstra a razão pela qual este é o produto mais reclamado da empresa.

O primeiro ponto a ser trabalhado em todos os testes do Cimento S é o controle estatístico dos seus dados. Reavaliar a fórmula padrão, realizar reciclagem dos treinamentos para os operadores que produzem o Cimento S e analisar se a fonte das matérias primas utilizadas em sua produção condiz com a qualidade esperada do produto. Estes são pontos que podem ser os primeiros a serem abordados em uma análise mais elaborada das causas dessas variações.

É possível perceber a variedade de informações que estas três ferramentas adotadas do CEP podem nos fornecer ao se realizar o monitoramento estatístico de dados. Tais informações podem trazer respostas imediatas à qualidade dos produtos, como será o caso do Cimento S, que com as devidas alterações poderá deixar de ser o produto mais reclamado.

É imprescindível manter a periodicidade no monitoramento, além de realizar reuniões com todas as áreas envolvidas na produção de cada produto, como: setor de desenvolvimento, setor produtivo e setor da qualidade. Desta forma, ficará mais fácil de identificar as possíveis causas através de um *brainstorming*, ou seja, uma “tempestade” de ideias diferentes.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ALVES, P. H. B. F.; NEUMANN, C. S. R.; RIBEIRO, J. L. D. Etapas para implantação de controle estatístico do processo: um estudo aplicado. In: ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), 2003. Ouro Preto (MG). Anais do XXIII ENEGEP. 1CD.

APOSTILA CEP TRAINNING – Cp e Cpk – Megabyte; Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/docs/arquivos/doc57/57.html>; Acesso em: 20 de julho de 2017.

APOSTILA CEP TRAINNING – Pp e Ppk – Megabyte; Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info58/58.html>; Acesso em: 20 de julho de 2017.

APOSTILA CEP TRAINNING – Desvio Padrão – Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info54/54.html>; Acesso em: 20 de julho de 2017.

ALBERS, W. Improved binomial ... high-quality processes. Produção, v. 21, n. 2, p. 209-216, abr./jun. 2011.

BESTERFIELD, D. H.. Quality Control. 3rd edition. Prentice-Hall International Editions, 1990.

CARVALHO, M. M.; Paladini, E. P. Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. Controle estatístico de qualidade. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334p.

DESVIO                      PADRÃO                      –                      Disponível                      em:  
<http://www.investpedia.com.br/artigo/O+que+e+desvio+padrao.aspx>; Acesso em: 21 de julho de 2017.

EPPRECHT, Santos – Um Método Simples para o Projeto Ótimo de Gráficos de X, *GESTÃO & PRODUÇÃO* v.5, n.3, p. 206-220, dez. 1998.

E PPRECHT, A. L. E. K. et. al, Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas, *Produção*, v. 17, n. 1, p. 139 – 150, Jan/Abr 2007.

GALVANI, L. R. et al., Análise comparativa da aplicação ... manufatura e serviços. *Produção*, v. 23, n. 4, p. 695-704, out./dez. 2013.

HOGG, R.V., LEDOLTER, J. *Applied Statistics for Engineers and Physical Scientists*. Macmillan Publishing Company, NY. 1987

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

JACOBI, L. F., Gráfico de controle de regressão aplicado na monitoração de processos, *Revista Produção*, v.12, n. 1, 2002.

JOHNSON, N. L. *Systems of Frequency Curves Generated by Methods of Translation*. *Biometrika*, v. 36, p. 149 – 176. 1949

KOTZ, S.; LOVELACE, C. R. *Process Capability Indices in Theory and Practice*. London: Arnold, 1998.

LIMA, A.A.N.; Lima, J.R.; Silva, J.L.; Alencar, J.R.B.; Soares-Sobrinho, J.L.; Lima, L.G.; Rolim-Neto, P.J.; Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica; *Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl.*, v. 27, n.3, p.177-187, 2006.

LIZARELLI, F. L. et al., A bibliometric analysis of 50 years of worldwide research on statistical process control, *Gest. Prod.* , São Carlos, v. 23, n. 4, p. 853-870, 2016  
<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1649-15>

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513 p.

MORETTIN, P.L.; BUSSAB, W.O. Estatística básica. SÃO PAULO: SARAIVA, 2003. 526P.

MUCIDAS, J. H.; Aplicação Do Controle Estatístico Do Processo No Envase De Leite UHT Em Uma Indústria De Laticínios, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal De Juiz De Fora, Brasil, 2010, 87 p.

NÍVEL-P – Disponível em:<http://www.inf.ufsc.br/~marcelo.menezes.reis/intro.html>; Acesso em: 21 de julho de 2017.

OLIVEIRA, F. L. C. Controle estatístico de qualidade - fundamentos teóricos e aplicações dos gráficos de controle. Monografia de Especialização. Departamento de Estatística, ICE, UFJF, Brasil, 2009.

REIS, M. M. Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).

SANTOS et al., Aplicação da abordagem estatística no contexto da gestão da qualidade: um survey com indústrias de alimentos de São Paulo, *Gest. Prod.* , São Carlos, v. 18, n. 3, p. 509-524, 2011.

SIQUEIRA, L. G. P. Controle Estatístico de Processos. Equipe Grifo. São Paulo, Editora Pioneira, 1997.

SOUZA, A. M., et al., Identificação de variáveis fora de controle em processos produtivos multivariados, Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 074-086, Jan/Abr, 2005.

SUPORTE AO MINITAB – Teste de Normalidade; Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>; Acesso em: 17 de Julho de 2017.

SUPORTE AO MINITAB – Visão Geral de Carta I-AM; Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-individuals/i-mr-chart/before-you-start/overview/>; Acesso em: 17 de Julho de 2017.

SUPORTE AO MINITAB - Capacidade potencial (dentro) para Análise de capacidade normal; Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/potential-within-capability/>; Acesso em: 17 de Julho de 2017.

PAESE, c.; ten Caten, c.; Ribeiro, }. L. O. -Aplicação da Análise de Variância na Implantação do CEP, Revista Produção, v. 11 n. 1, Novembro de 2001.

TOLEDO, J. C. et al., Success factors in the implementation of statistical process control: action research in a chemical plant, Production, 27, e20162208, 2017 | DOI: 10.1590/0103-6513.220816.

WILLEN, A., Improved Binomial Charts for High-Quality Processes, Produção, v. 21, n. 2, p. 209-216, abr./jun. 2011doi: 10.1590/S0103-65132011005000017.