

# Introdução ao Minitab 16



**Prof. Fabrício Maciel Gomes**



# ANÁLISE DE CAPACIDADE

## Dados Contínuos



# Análise de Capacidade

## Exemplo 1: Consistência da Cor

### Proposta

Avaliar a capacidade do processo, usando Capability Sixpack (Normal) e Capability Analysis (Normal).

### Problema

Uma importante característica da qualidade que influencia a quebra dos sapatos é a sua dureza (escala Rockwell). O limite inferior de especificação (LSL) é 39 e o limite superior de especificação (USL) é 43, ou seja o valor médio especificado pelo cliente é de 41. Um analista foi solicitado para avaliar a capacidade do processo, certificando que a produção é capaz de atender as metas exigidas pelo cliente agora e no futuro. O Cpk de 1,5 é requerido para atender as exigências do cliente



# Análise de Capacidade

## Dados Coletados

Os operadores selecionaram aleatoriamente cinco sapatos da linha de produção em intervalos regulares. Esta amostra representa adequadamente a variação inerente ao processo ao longo do tempo. Durante as mensurações os operadores gravaram a dureza de cada sapato quebrado.

## Ferramentas

- Capability Sixpack Normal
- Capability Analysis Normal.

## Arquivo de Dados: BRAKECAP.MPJ

Variável	Descrição
Hardness	Dureza do sapato quebrado
Centering	Dureza do sapato quebrado
Quanchin	Dureza do sapato quebrado
Subgroup	Identificação do subgrupo



# Análise de Capacidade

## O que é uma Análise de Capacidade

A Análise de Capacidade nos auxilia a acessar o quão capaz um processo é em atingir um conjunto de requerimentos, expressados por meio dos limites de especificação do cliente. As ferramentas apropriadas para o estudo de capacidade incluem:

- Gráficos de controle
- Gráficos de Probabilidade e resultados de teste de Normalidade;
- Capacidades estimadas

## Por que usar uma Análise de Capacidade:

Análise da Capacidade pode nos ajudar a responder perguntas tais como:

Qual analista mensura a qualidade dos itens de forma mais eficiente?

A variabilidade do processo é baixa o suficiente para indicar se os produtos estarão dentro dos limites de especificação do cliente?

O processo precisa ser mudado para operar mais efetivamente dentro dos limites de especificação impostos pelo cliente?



# Análise de Capacidade

## Verificando as suposições associadas à Análise de Capacidade

Para obter uma estimativa real da capacidade, as seguintes suposições devem ser satisfeitas:

- O processo está sob controle;
- Os dados provêm de uma distribuição normal.

Use o **Capability Sixpack** para verificar estas suposições.

Com base nas determinações do guia AIAG (Automotive Industry Action Group), o Minitab determina qual o gráfico de controle deve ser traçado, baseado no tamanho do subgrupo.

Se o tamanho do Subgrupo é ...	Minitab mostra
1	Gráfico I-MR
2-8	Gráfico Xbar-R
9 ou mais	Gráfico Xbar-S



# Análise de Capacidade

## Capability Sixpack Normal

1. Abra **BRAKECAP.MPJ**;
2. Selecione **Stat>Quality Tools>Capability Sixpack>Normal**;
3. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:

Capability Sixpack (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:   
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:

Upper spec:

Historical mean:  (optional)

Historical standard deviation:  (optional)

Transform...

Tests...

Estimate...

Options...

Select

Help

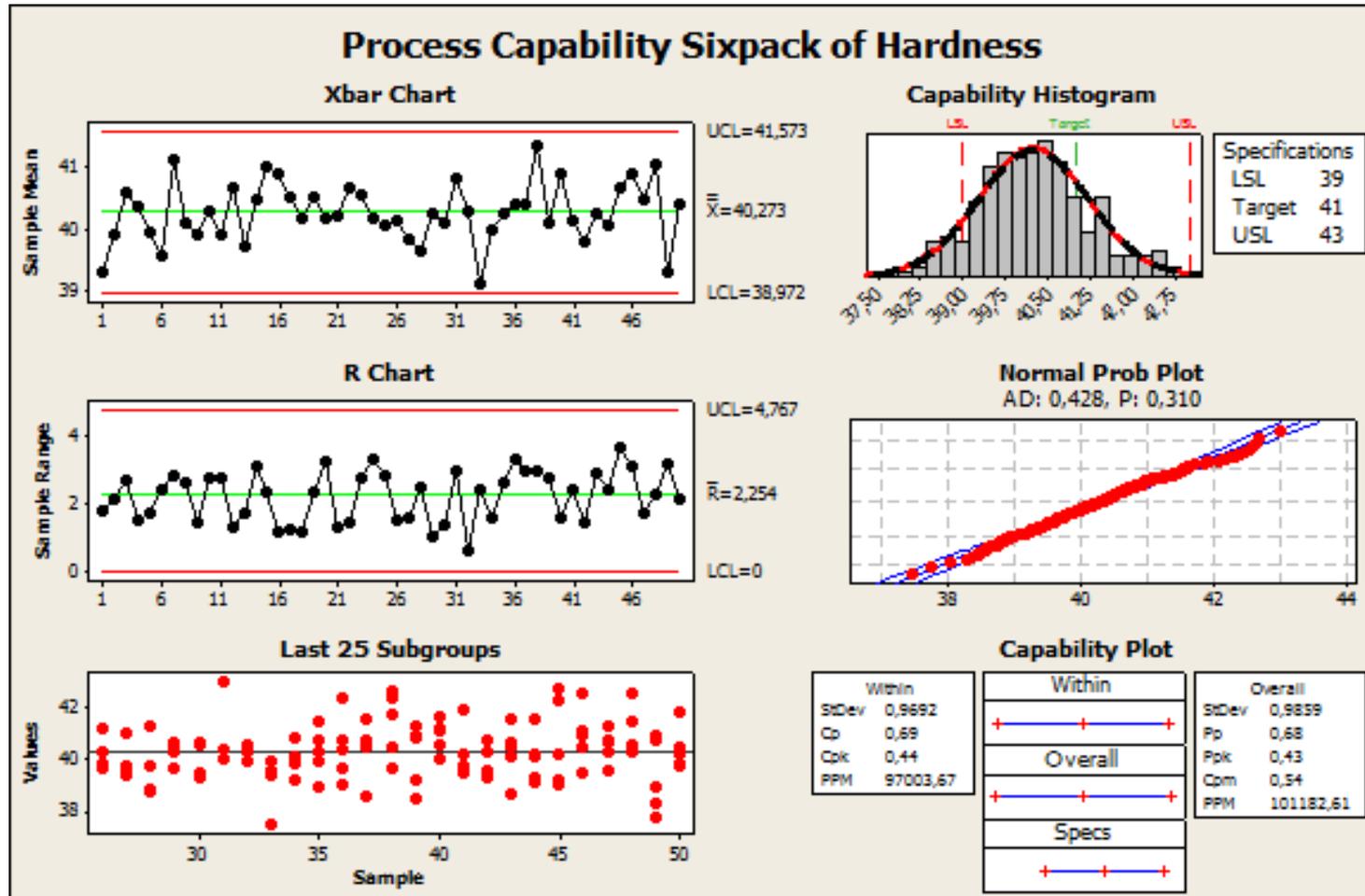
OK

Cancel



# Análise de Capacidade

4. Clique em **Test**, selecione **Perform All eight tests**.Clique em **OK**;
5. Clique em **Options**;
6. Em **Target (add Com to table)**, digite **41**.
7. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo





# Análise de Capacidade

## Gráfico Xbar-R

Os Gráficos de Controle mostram que os pontos estão dentro dos limites de controle, sugerindo que o processo se encontra estável. Sendo assim, a média do processo e o desvio-padrão podem ser usados para calcular o índice de capacidade.

## Histograma de Capacidade

Podemos usar o histograma com a curva de distribuição sobreposta sobre as barras para acessar visualmente se os dados provém ou não de uma distribuição Normal. Para acessar as distribuições de normalidade mais objetivamente, usaremos o gráfico de probabilidade e o resultado do teste de normalidade.

Também pode ser observado neste gráfico uma prévia da capacidade do processo, identificando onde ocorre a perda de capacidade.

## Dodplot para os últimos 25 subgrupos

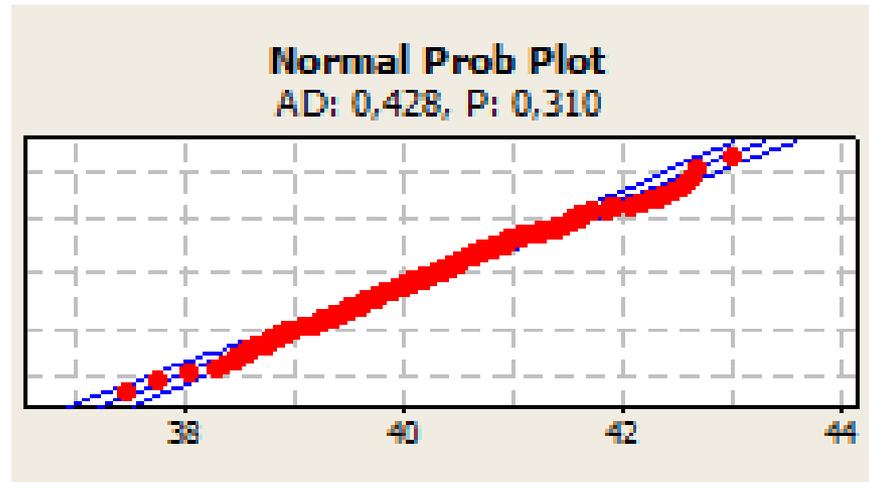
O Dotplot dos 25 últimos subgrupos indica que os valores observados são aleatórios e simetricamente distribuídos em torno da média do processo.



# Análise de Capacidade

## Interpretando os Resultados

Os dados encontram-se dispersos aproximadamente ao longo de uma linha, indicando que a suposição de normalidade é razoável.



As hipóteses para o teste de normalidade de Anderson-Darling são:

$H_0$ : Dados provém de uma distribuição normal;

$H_1$ : Dados não provém de uma distribuição normal.

Como Valor-P observado (0,310) é maior que 0,05, não rejeitaremos a hipótese nula que os dados provém de uma distribuição Normal, ao nível de 5% de significância.



# Análise de Capacidade

## Capability Analysis Normal

1. Selecione **Stat>Quality Tools>Capability Analysis>Normal**;
2. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:

3. Clique em **Options**;
4. Em **Target (adds Com to table)** digite **41**;
5. Marque **Include confidence intervals** ;
6. Clique em **Ok** em todas as caixas de diálogo.

Capability Analysis (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:   
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:   Boundary

Upper spec:   Boundary

Historical mean:  (optional)

Historical standard deviation:  (optional)

Transform...  
Estimate...  
Options...  
Storage...  
OK  
Cancel

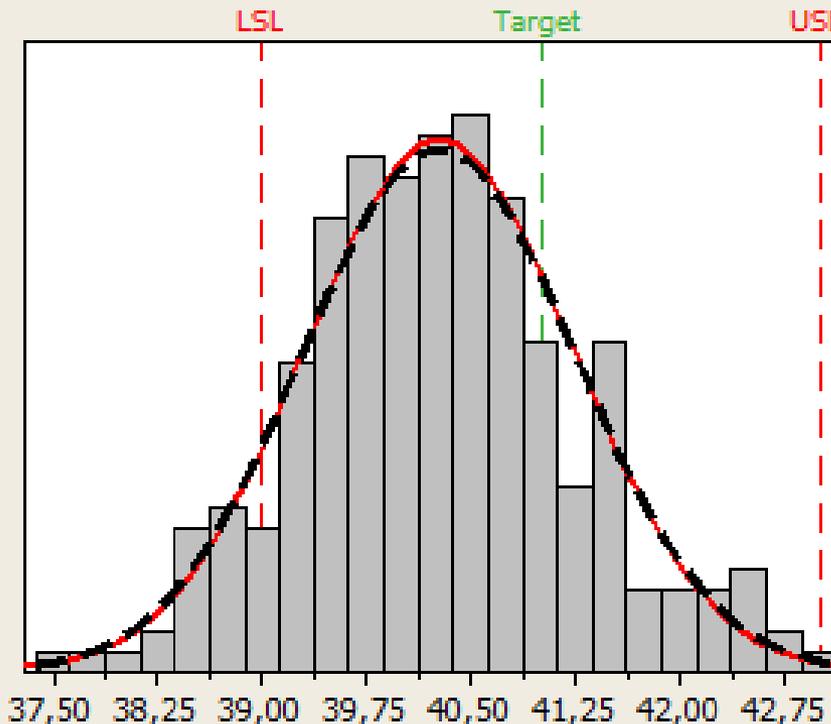
Select  
Help



# Análise de Capacidade

## Process Capability of Hardness (using 95,0% confidence)

Process Data	
LSL	39
Target	41
USL	43
Sample Mean	40,2728
Sample N	250
StDev(Within)	0,969225
StDev(Overall)	0,985882



— Within
— Overall

### Potential (Within) Capability

Cp	0,69
Lower CL	0,62
Upper CL	0,76
CPL	0,44
CPU	0,94
Cpk	0,44
Lower CL	0,38
Upper CL	0,50

### Overall Capability

Pp	0,68
Lower CL	0,62
Upper CL	0,74
PPL	0,43
PPU	0,92
Ppk	0,43
Lower CL	0,37
Upper CL	0,49
Cpm	0,54
Lower CL	0,51

Observed Performance	
PPM < LSL	96000,00
PPM > USL	4000,00
PPM Total	100000,00

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	94555,64
PPM > USL	2448,03
PPM Total	97003,67

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	98347,40
PPM > USL	2835,22
PPM Total	101182,61



# Análise de Capacidade

## Interpretando os Resultados

### *Capacidade (dentro do Subgrupo) Potencial*

Os índices de Capacidade são calculados usando a estimativa da média e desvio-padrão do processo nos subgrupos.

### *C<sub>p</sub>*

Este índice de capacidade compara a variação tolerada para o processo especificado pelo cliente (tolerância) com a região total ocupada pelo processo sob controle estatístico. A equação de cálculo é:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma_{within}}$$

Se somente o limite superior de especificação for avaliado, o Minitab não processa o C<sub>p</sub>. Devido ao fato do C<sub>p</sub> não avaliar se o processo se encontra centrado no valor alvo, ele representa teoricamente a capacidade potencial do processo.



# Análise de Capacidade

## *Cpu e Cpl*

Ambas estatísticas Cpl e Cpu avaliam não somente a variabilidade, mas também se o processo se encontra centrado no valor alvo especificado pelo cliente. As equações de cálculo são:

$$CPL = \frac{\bar{x} - LSL}{3 \cdot \sigma_{within}}$$

$$CPU = \frac{USL - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{within}}$$

## *CpK*

O CpK é igual ao menor valor entre Cpl e Cpu. Se CpK e Cp forem idênticos significa que o processo está centrado nos limites de especificação. Quanto mais distante o processo estiver do centro da especificação do cliente, menor será o valor de CpK em relação ao Cp.



# Análise de Capacidade

## ***Capacidade Total***

Ambas as variações entre os subgrupos e dentro de cada subgrupo contribuem com a variação total do processo. Quando o processo está sob controle estatístico, a cada variação entre os subgrupos é atribuído um peso marcado nos subgrupos, então podemos dizer grosseiramente que o desvio-padrão total é igual ao desvio-padrão nos subgrupos.

As equações de cálculo da Capacidade Total são similares as da Capacidade Potencial com exceção do desvio padrão:

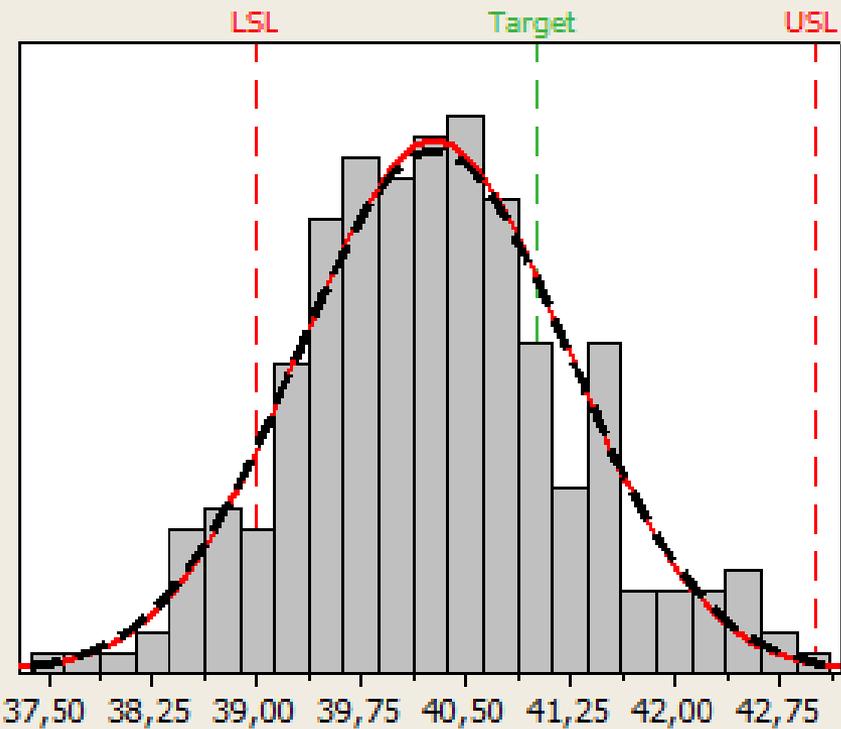
$$Pp = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma_{overall}} \quad , \quad PPL = \frac{\bar{x} - LSL}{3 \cdot \sigma_{overall}} \quad , \quad PPU = \frac{USL - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{overall}}$$



# Análise de Capacidade

## Process Capability of Hardness (using 95,0% confidence)

Process Data	
LSL	39
Target	41
USL	43
Sample Mean	40,2728
Sample N	250
StDev(Within)	0,969225
StDev(Overall)	0,985882



— Within
— Overall

Potential (Within) Capability	
Cp	0,69
Lower CL	0,62
Upper CL	0,76
CPL	0,44
CPU	0,94
Cpk	0,44
Lower CL	0,38
Upper CL	0,50

Overall Capability	
Pp	0,68
Lower CL	0,62
Upper CL	0,74
PPL	0,43
PPU	0,92
Ppk	0,43
Lower CL	0,37
Upper CL	0,49
Cpm	0,54
Lower CL	0,51

Observed Performance	
PPM < LSL	96000,00
PPM > USL	4000,00
PPM Total	100000,00

Exp. Within Performance	
PPM < LSL	94555,64
PPM > USL	2448,03
PPM Total	97003,67

Exp. Overall Performance	
PPM < LSL	98347,40
PPM > USL	2835,22
PPM Total	101182,61



# Análise de Capacidade

## *C<sub>pm</sub>*

Ocasionalmente, alguns analistas gostam de operar em torno de um valor alvo que não é necessariamente centrado nos limites de especificação do cliente. Neste caso, o C<sub>p</sub>K não é uma estatística útil e, ao invés disso, utilizaremos o C<sub>pm</sub>.

O C<sub>pm</sub> será calculado através da equação:

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sqrt{\frac{\sum (X_i - Alvo)^2}{n - 1}}}$$



# Análise de Capacidade

## Considerações Finais

### Resumo e Conclusões

- ✓ O processo parece estar estável, embora a maioria dos sapatos quebrados estejam fora do limite de especificação;
- ✓ Mesmo com o processo centrado no limite de especificação, 10% dos sapatos quebrados exibem valores de dureza fora dos limites de especificação;
- ✓ A média estimada do processo é de 40,27, estando abaixo da média desejada. Isto indica que mais partes caíram abaixo do limite inferior de especificação que do limite superior de especificação;
- ✓ A média deve ser deslocada para o valor desejado e a variabilidade deve ser reduzida para que seja possível atingir as especificações do cliente.



# Análise de Capacidade

## Considerações Adicionais

- O processo deve exibir variabilidade para estimar parâmetros significativos que realmente representem a realidade. Quando os dados do processo forem normalmente distribuídos, os parâmetros de interesse são geralmente a média (que representa a tendência central) e o desvio-padrão (que representa a variabilidade).
- A Suposição de normalidade é crítica no uso do Cp e Cpk. Quando a normalidade for assumida, mesmo quebras quase imperceptíveis podem levar a incertezas nas estimativas da taxa de itens defeituosos do processo.
- O intervalo de confiança fornece uma boa margem de erro para a capacidade estimada. Ele deve ser usado nas conclusões, fixado um nível de significância e quando a capacidade do valor alvo for demonstrada.



# Análise de Capacidade

## Exemplo 2: Isolamento Cerâmico

### Proposta

Avaliar a capacidade do processo, para dados não normais, usando a transformação de Box-Cox e Johnson

### Problema

Para a Companhia que produz isolamentos cerâmicos, o estudo avalia a capacidade da Companhia em atingir as especificações do cliente. O isolamento cerâmico é um cilindro com um orifício no centro. As especificações exigem que o orifício seja concêntrico, com diâmetro máximo de 30 microns.



# Análise de Capacidade

## Dados Coletados

Isolamentos Cerâmicos são assados em grandes fornos formando lotes em cada três horas. Por motivos de monitoramento de processo, os técnicos selecionaram aleatoriamente 10 isolamentos cerâmicos de cada lote e mediram sua concentricidade.

## Ferramentas

- Capability Sixpack Normal
- Individual Distribution Identification;
- Johnson Transformation;
- Capability Analysis NonNormal.

## Arquivo de Dados: CERAMIC.MPJ

Variável	Descrição
Concentricity	Diâmetro do orifício
Date/Times	Data e hora que o isolador foi fabricado



# Análise de Capacidade

## Capability Sixpack Normal

1. Abra **CERAMIC.MPJ**;
2. Selecione **Stat>Quality Tools>Capability Sixpack>Normal**;
3. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:

Capability Sixpack (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:

(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:

Upper spec:

Historical mean:  (optional)

Historical standard deviation:  (optional)

Transform...

Tests...

Estimate...

Options...

Select

Help

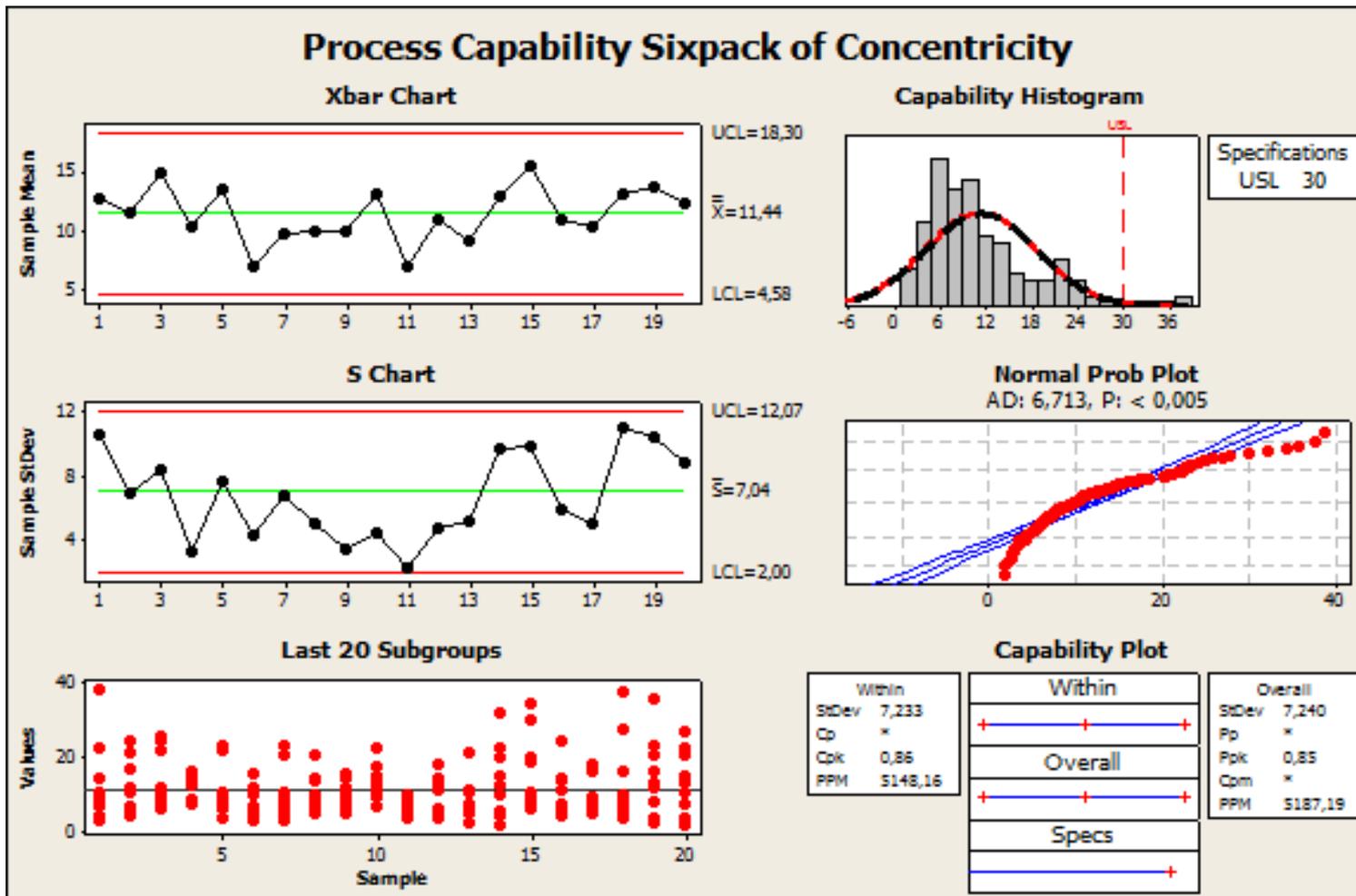
OK

Cancel



# Análise de Capacidade

4. Clique em **Test**, selecione **Perform All eight tests**.Clique em **OK**;
5. Clique em **Options**;
6. Em **Target (add Com to table)**, digite **41**.
7. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo





# Análise de Capacidade

## Gráfico Xbar-S

Os Gráficos de Controle mostram que os pontos estão dentro dos limites de controle, sugerindo que o processo se encontra estável.

## Histograma de Capacidade

O Histograma demonstra que a suposição de normalidade pode não ser verificada.

## Gráfico de Probabilidade Normal

O Gráfico de Probabilidade Normal indica que a distribuição de dados não obedece a uma distribuição normal. O teste de normalidade de Anderson-Darling retornou um Valor-P inferior a 0,05. Logo rejeitamos a hipótese nula que os dados provêm de uma distribuição normal ao nível de significância de 5%.

## Próximo Passo

Embora os gráficos de controle indiquem que o processo está estável, não verificamos a normalidade dos dados. Para identificar qual a distribuição os dados obedecem, utilizaremos o Individual Distribution Identification.



# Análise de Capacidade

## O que é o Individual Distribution Identification

É uma ferramenta que permite ajustar os dados em 14 tipos de distribuições estatísticas diferentes. Selecionamos uma distribuição baseada no gráfico de probabilidade, no resultado do teste de melhor ajuste e no conhecimento físico e histórico do teste.

## Por que usar o Individual Distribution Identification.

Quando fazemos a análise de capacidade do processo, assumimos que algumas distribuições existem para processos estáveis, mesmo que apenas aproximadamente. Para obtermos conclusões estatísticas, como qual proporção de itens que caem fora dos limites de especificação, usaremos uma distribuição apropriada, visto que a capacidade estimada pelos índices  $C_p$  e  $C_{pk}$ , dentre outras, são altamente sensíveis à suposição de normalidade. Quando a normalidade for assumida incorretamente, a estimativa da proporção de itens não conformes pode retornar valores que não refletem a realidade.

## Quando usar o Individual Distribution Identification

Usaremos o Individual Distribution Identification como uma forma útil de agrupar os dados quando não existe suposição prévia.



# Análise de Capacidade

## Individual Distribution Identification

1. Selecione **Stat>Quality Individual Distribution Identification**;
2. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:
3. Clique em **Ok** .

Individual Distribution Identification

Data are arranged as

Single column:

Subgroup size:

(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Use all distributions and transformations

Specify

Distribution 1:

Distribution 2:

Distribution 3:

Distribution 4:

Box-Cox...

Johnson...

Options...

Results...

Select

Help

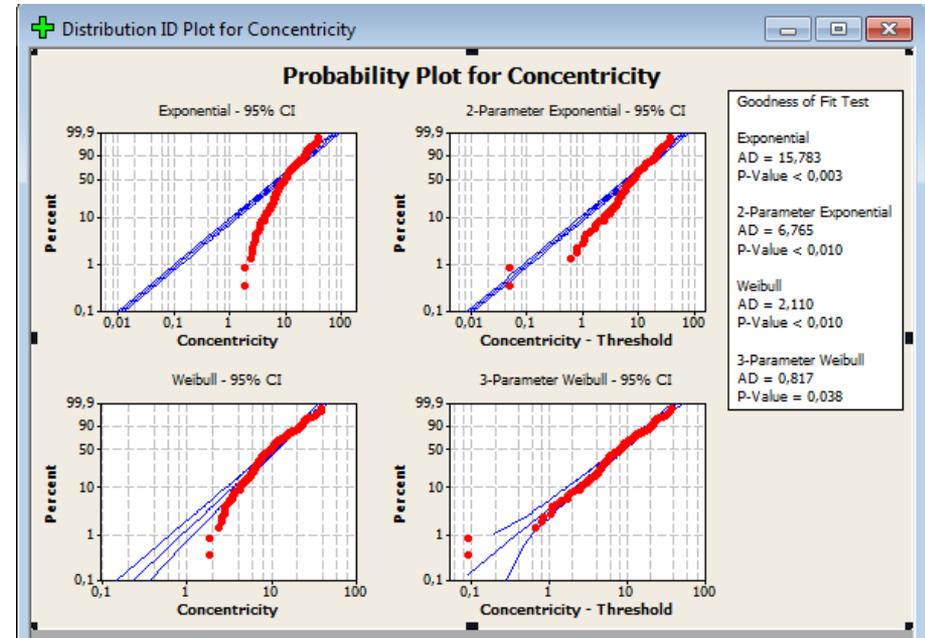
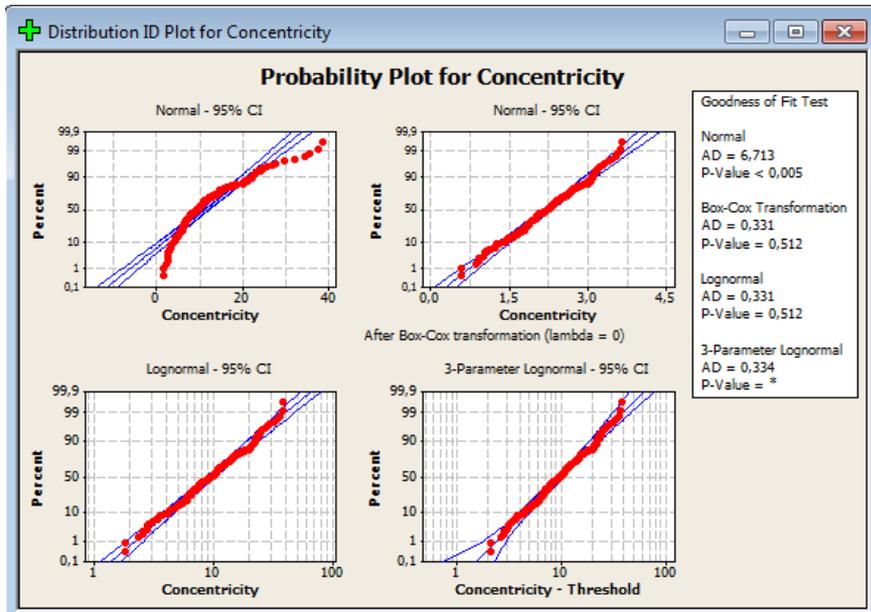
OK

Cancel



# Análise de Capacidade

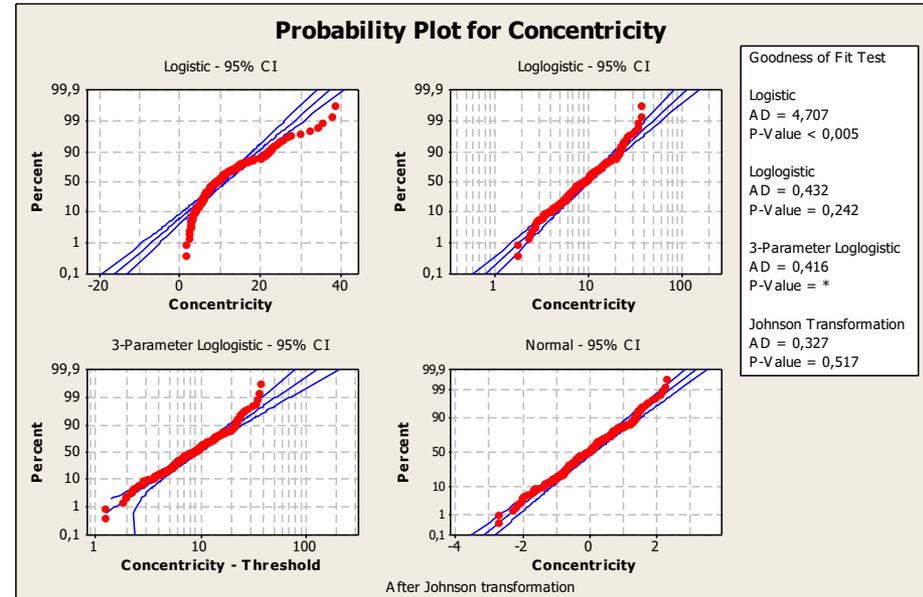
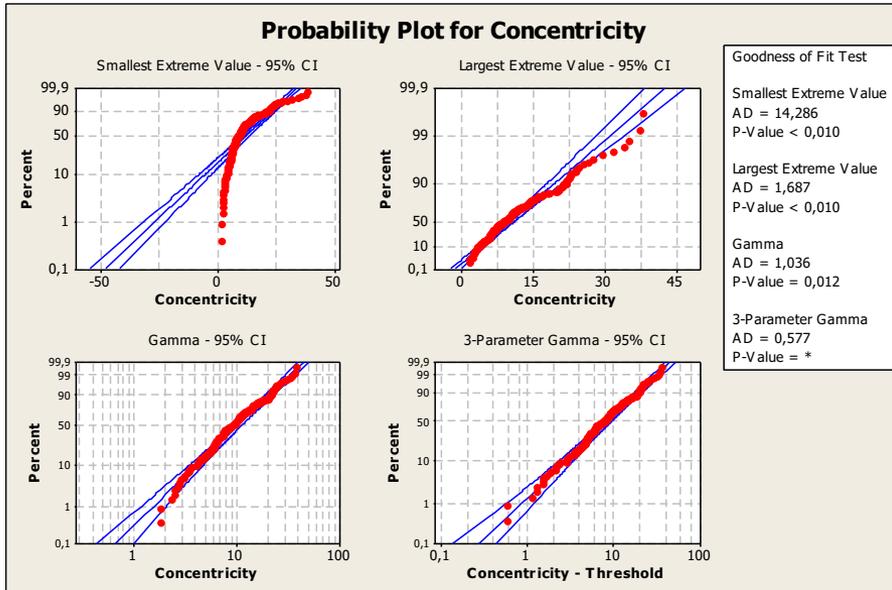
## Interpretando os Resultados





# Análise de Capacidade

## Interpretando os Resultados



A transformação de Box-Cox pode ser usada para transformar dados que seguem neste caso a distribuição Lognormal para uma distribuição Normal. Após a transformação, a Análise de Capacidade poderá ser conduzida pela distribuição Normal.



# Análise de Capacidade

## Capability Analysis (Normal) Box-Cox Transformation

1. Abra **CERAMIC.MPJ**;
2. Selecione **Stat>Quality Tools>Capability>Normal**;
3. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:

Capability Analysis (Normal Distribution)

Data are arranged as

Single column: Concentricity

Subgroup size: 'Date/Time'  
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec:   Boundary

Upper spec: 30  Boundary

Historical mean:  (optional)

Historical standard deviation:  (optional)

Transform...  
Estimate...  
Options...  
Storage...

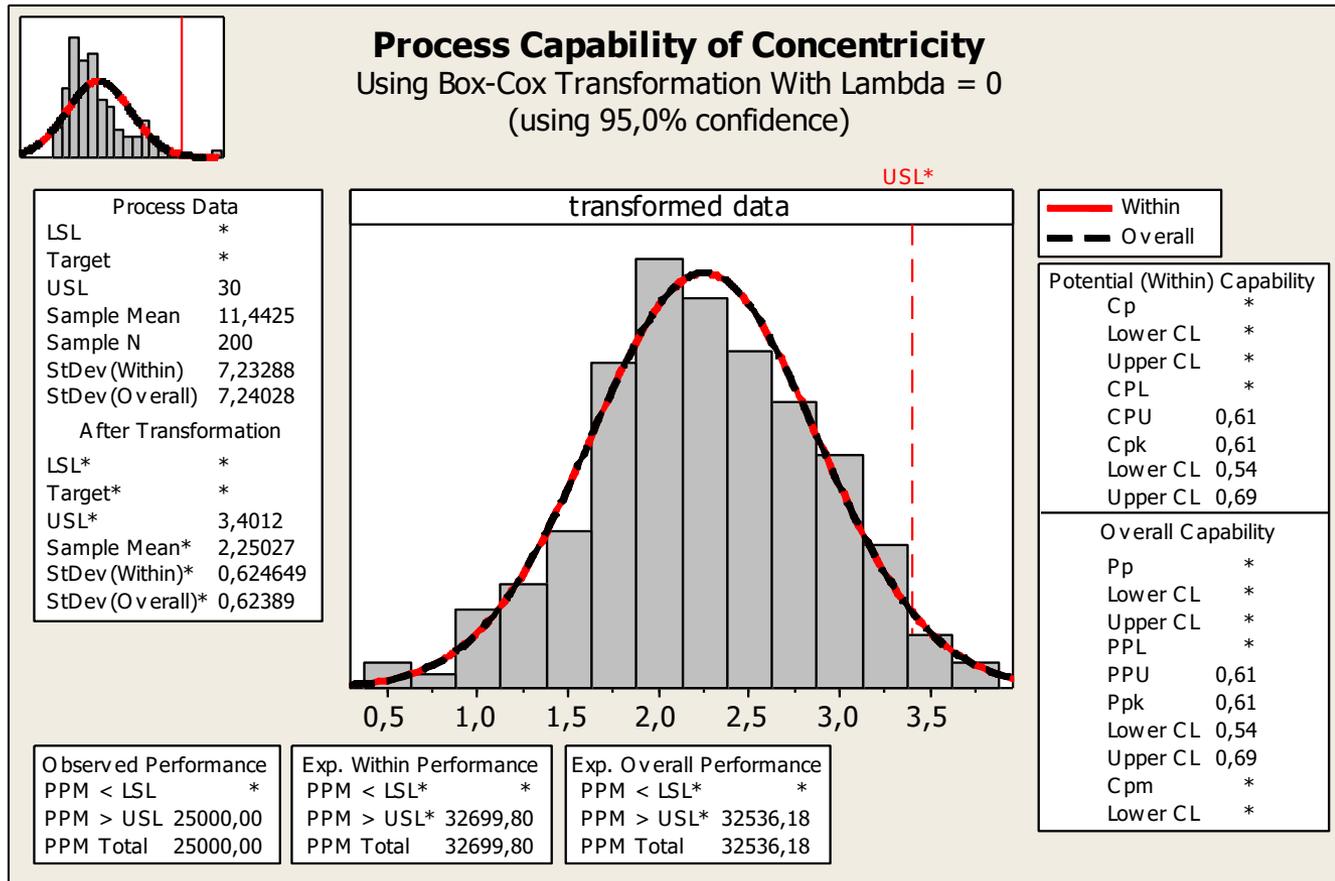
Select  
Help

OK  
Cancel



# Análise de Capacidade

4. Clique em **Transform**, marque **Box-Cox power transformation ( $W = Y ** \text{Lambda}$ )**, e marque a opção **Use optimal lambda**.
5. Clique em **Options**, então marque **Include confidence intervals**;
6. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo.





# Análise de Capacidade

## Transformação de Johnson

1. Selecione **Stat>Quality Tools>Johnson Transformation**;
2. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:
3. Clique em **Ok**.

**Johnson Transformation**

C1	Concentricity
C2	Date/Time

Data are arranged as

Single column:

Subgroups across rows of:

Store transformed data in

Single column:

Subgroups across rows of:

Select Help Options... OK Cancel

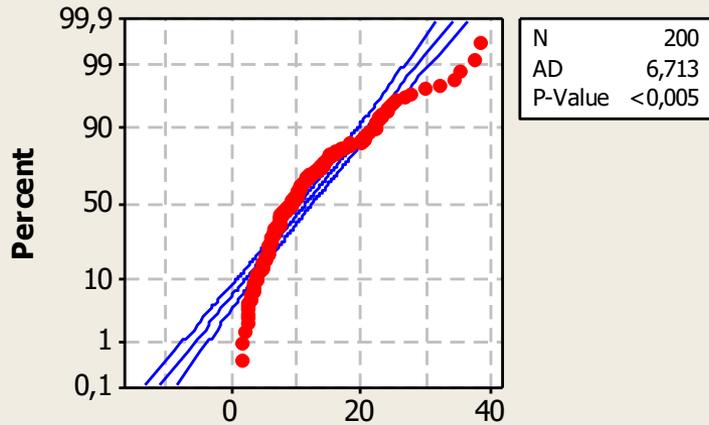


# Análise de Capacidade

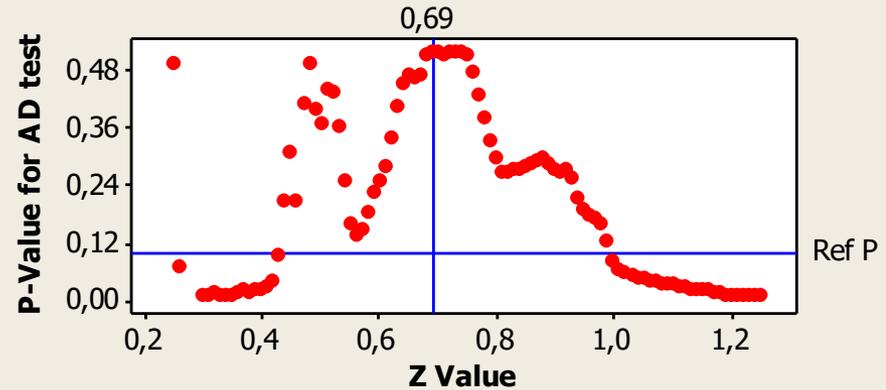
## Interpretando os Resultados

### Johnson Transformation for Concentricity

Probability Plot for Original Data

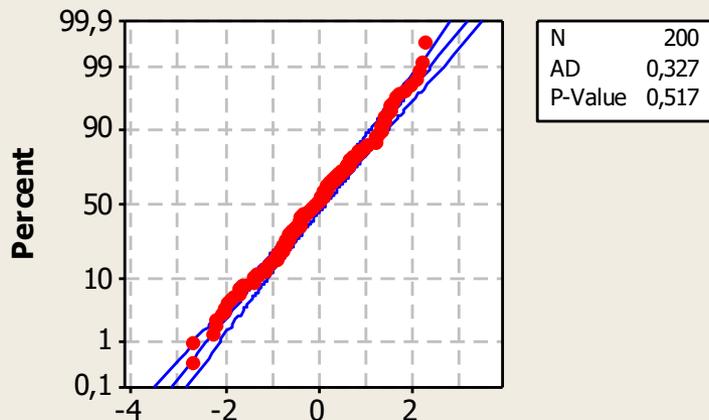


Select a Transformation



(P-Value = 0.005 means  $\leq 0.005$ )

Probability Plot for Transformed Data



P-Value for Best Fit: 0,517092

Z for Best Fit: 0,69

Best Transformation Type: SL

Transformation function equals

$-3,80937 + 1,67123 * \ln(X + 0,160537)$



# Análise de Capacidade

## Capability Analysis (Normal) Johnson Transformation

1. Selecione **Stat>Quality Tools>Capability Analysis>Normal**;
2. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:
3. Clique em **Transform**;
4. Selecione **Johnson Transformation (for overall analysis only)**;
5. Clique em **OK**;
6. Clique em **Options**;
7. Marque **Include confidence intervals**.
8. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo.

Capability Analysis (Normal Distribution)

C1 Concentricity  
C2 Date/Time

Data are arranged as

Single column: Concentricity

Subgroup size: 1  
(use a constant or an ID column)

Subgroups across rows of:

Lower spec: [ ]  Boundary

Upper spec: 30  Boundary

Historical mean: [ ] (optional)

Historical standard deviation: [ ] (optional)

Transform...  
Estimate...  
Options...  
Storage...

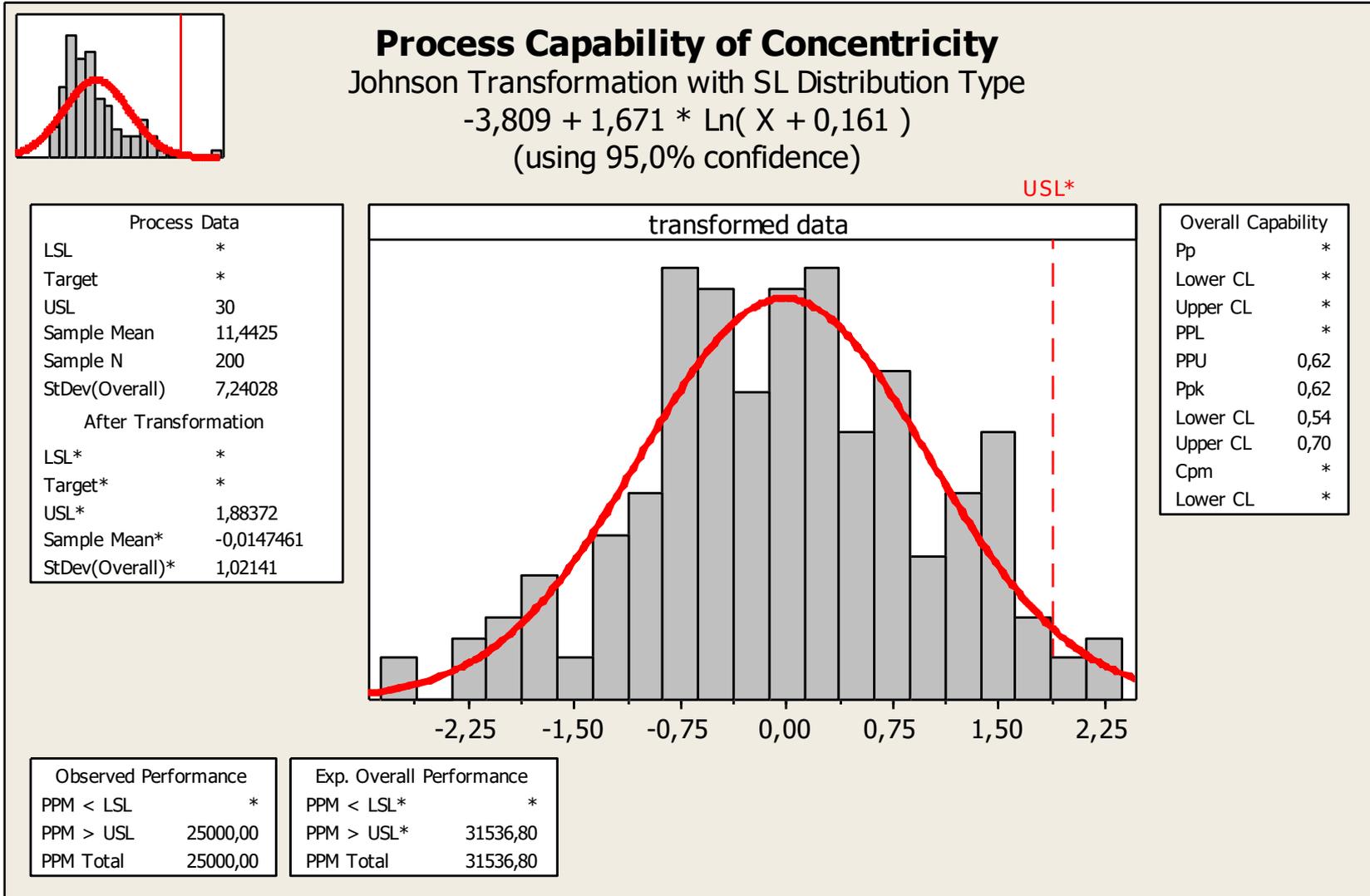
OK  
Cancel

Select  
Help



# Análise de Capacidade

## Interpretando os Resultados





# Análise de Capacidade

## Resumo e Conclusões:

- Para os dados, as transformações Box-Cox e Johnson obtiveram resultados similares;
- A Capacidade estimada e os intervalos de confiança indicam que o processo não é capaz de atender as especificações do cliente.
- O esforço da melhoria do processo aparenta ser necessário para mudar a distribuição em direção a zero (baixos valores de concentricidade) para melhorar a taxa de conformidade.