



**EESC • USP**

Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo



SEP0700 – Métodos para Análise e Solução de  
Problemas em Engenharia de Produção

# Capabilidade de processos

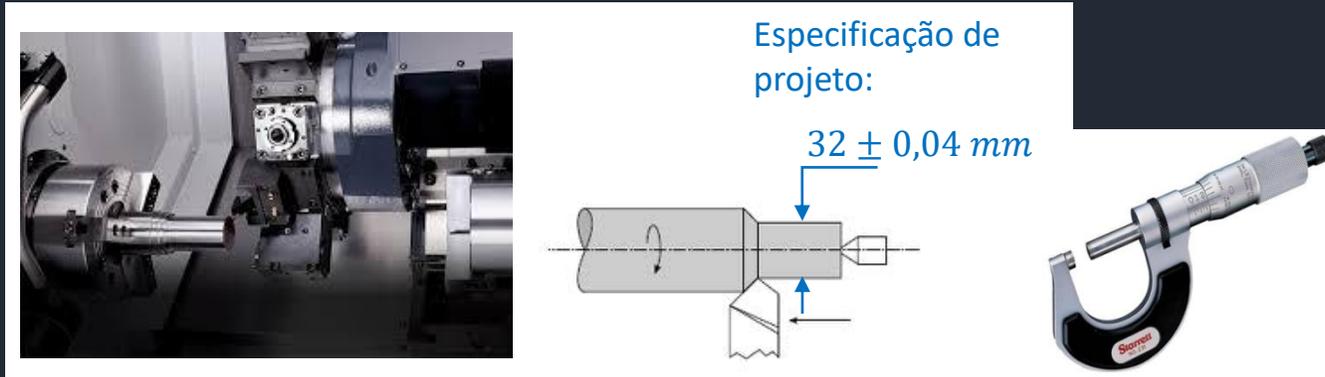
Prof. Luiz C. R. Carpinetti

Eng. Produção



Except where otherwise noted, this work is licensed under  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

# Capabilidade de processo

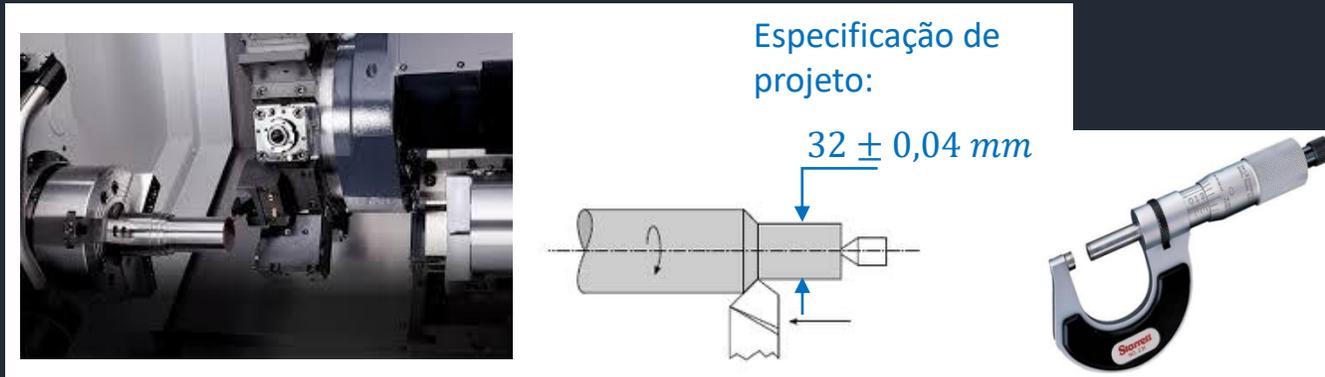


- ❑ Processo está gerando muitas peças fora do especificado (ex: peças devolvidas pelo cliente, peças refugadas na montagem);
- ❑ O que fazer?
  - Analisar a capacidade do processo!

# Capabilidade de processo

- ❑ Avaliação, por inferência estatística, sobre a capacidade (probabilidade) de um processo gerar resultados conforme especificado;
- ❑ Resultados fora da especificação são chamados de não-conformes;
- ❑ A probabilidade de ocorrência de não conforme é dada por PPM (partes por milhão) ou DPMO (defeitos ou defeituosos por milhão de ocorrências)

# Capabilidade de processo – Exemplo



- ❑ Ex: estimativa de 10.000 PPM significa que existe uma probabilidade (estimada) de 1% de resultados além dos limites da especificação:  $32 \pm 0,04 \text{ mm}$
- ❑ Capabilidade depende da variabilidade do processo e o que se espera dele.

# Capabilidade de processo – Como estimamos?

Exemplo: envase de leite (1000ml)



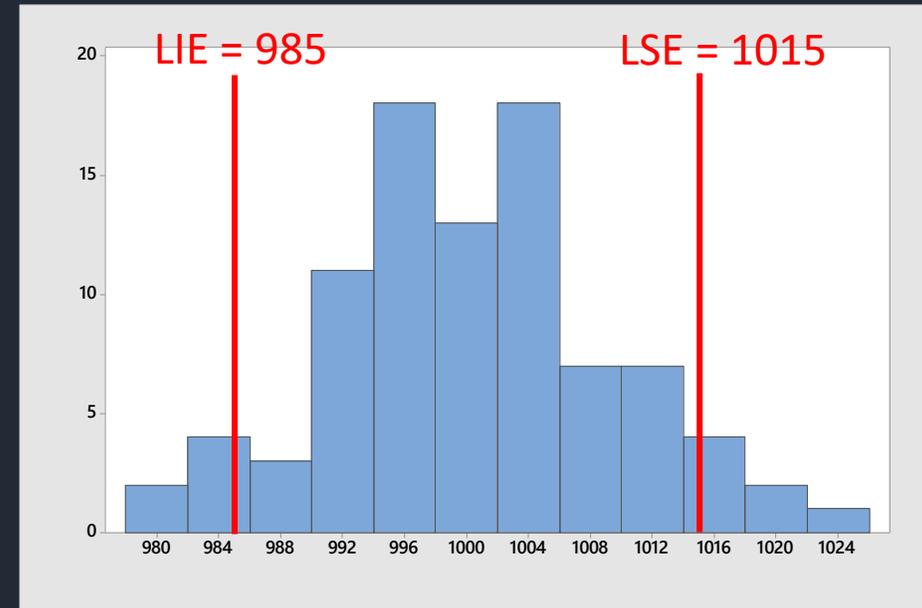
Varição de volume aceitável: entre 985 e 1015 ml

Resultados				
1004	1009	1004	1010	1008
1007	1023	1003	1001	1003
1004	1014	1011	1014	1015
1003	1006	1001	1005	1001
999	1013	1005	996	992
1004	1008	996	1013	1001
1001	1012	993	1012	998
994	1012	994	1009	1002
1004	995	1003	1019	991
1004	999	1005	1014	1002
995	983	1005	1001	992
1001	1007	991	1004	992
994	1003	992	996	997
995	985	994	995	1018
1000	980	992	993	994
989	1000	984	994	983
995	1000	996	989	988
993	995	995	981	993

90 resultados,  $m = 90$

# Capabilidade de processo – Como estimamos?

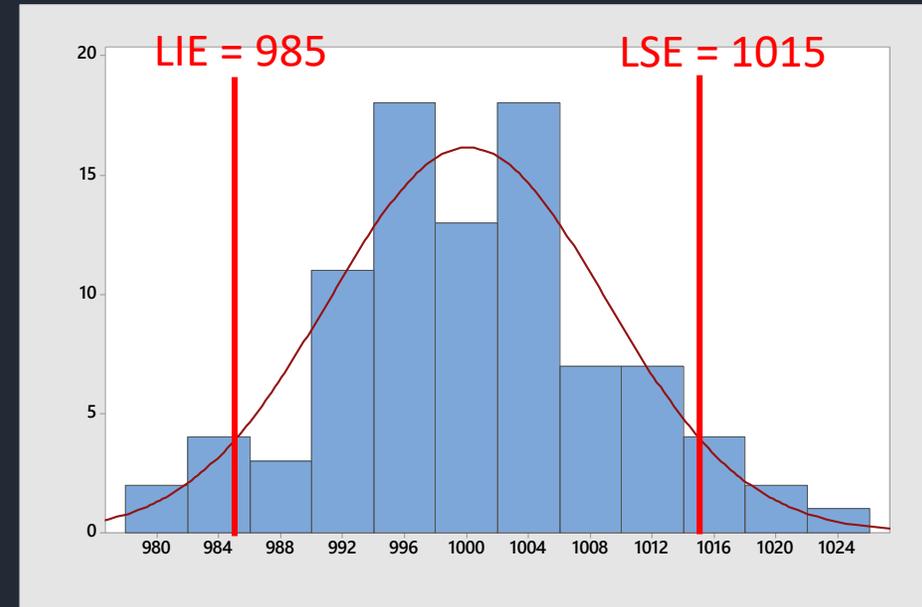
Resultados				
1004	1009	1004	1010	1008
1007	1023	1003	1001	1003
1004	1014	1011	1014	1015
1003	1006	1001	1005	1001
999	1013	1005	996	992
1004	1008	996	1013	1001
1001	1012	993	1012	998
994	1012	994	1009	1002
1004	995	1003	1019	991
1004	999	1005	1014	1002
995	983	1005	1001	992
1001	1007	991	1004	992
994	1003	992	996	997
995	985	994	995	1018
1000	980	992	993	994
989	1000	984	994	983
995	1000	996	989	988
993	995	995	981	993



90 resultados,  $m = 90$

# Capabilidade de processo – Como estimamos?

Resultados				
1004	1009	1004	1010	1008
1007	1023	1003	1001	1003
1004	1014	1011	1014	1015
1003	1006	1001	1005	1001
999	1013	1005	996	992
1004	1008	996	1013	1001
1001	1012	993	1012	998
994	1012	994	1009	1002
1004	995	1003	1019	991
1004	999	1005	1014	1002
995	983	1005	1001	992
1001	1007	991	1004	992
994	1003	992	996	997
995	985	994	995	1018
1000	980	992	993	994
989	1000	984	994	983
995	1000	996	989	988
993	995	995	981	993

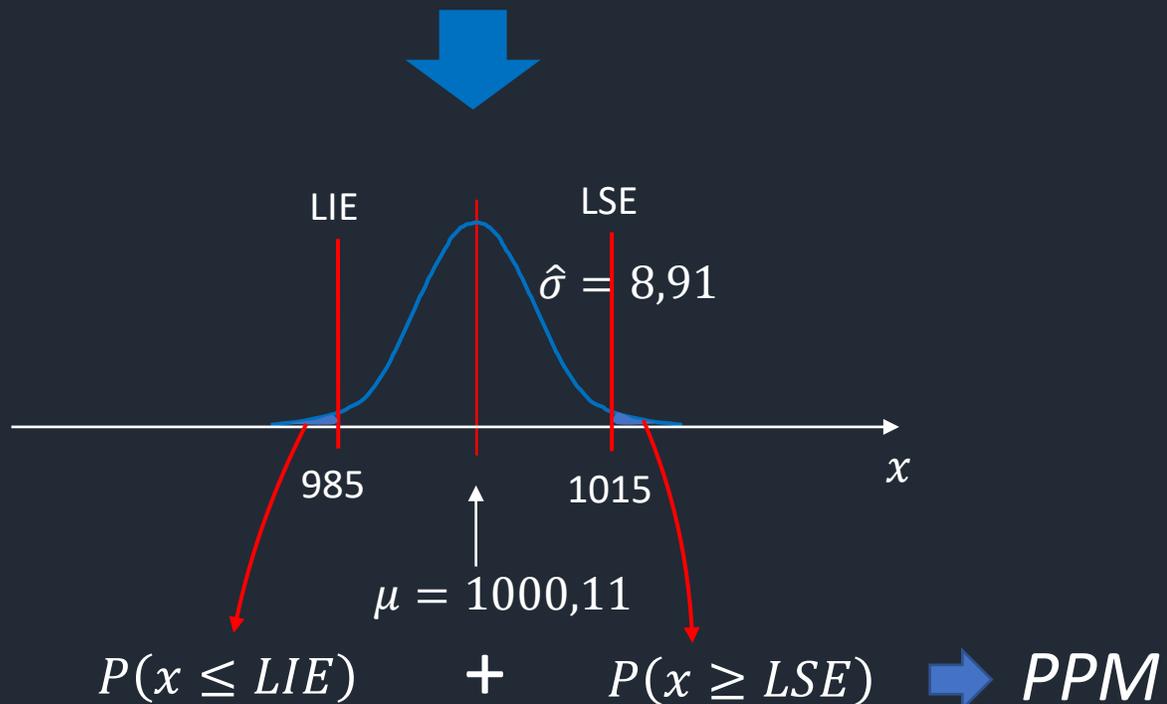


90 resultados,  $m = 90$

$$\bar{x} = 1000,11 \quad \hat{\sigma} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{m - 1}} = 8,91$$

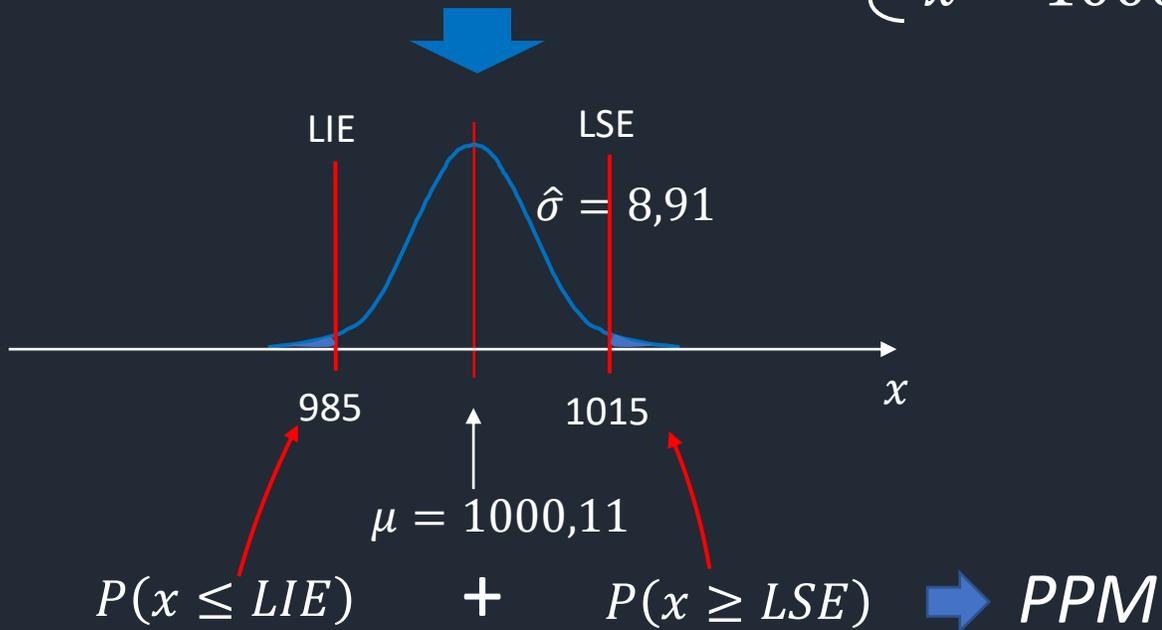
# Capabilidade de processo – Como estimamos?

- Variação máxima aceitável: [LIE; LSE] = [985; 1015]
- Variação estimada do processo  $\begin{cases} \hat{\sigma} = 8,91 \\ \bar{x} = 1000,11 \end{cases}$



# Capabilidade de processo – Como estimamos?

- Variação máxima aceitável: [LIE; LSE] = [985; 1015]
- Variação estimada do processo  $\begin{cases} \hat{\sigma} = 8,91 \\ \bar{x} = 1000,11 \end{cases}$



$$P\left(z \leq \frac{985 - 1000,11}{8,91}\right) + P\left(z \geq \frac{1015 - 1000,11}{8,91}\right)$$

# $P_{pk}$ - Índice de capacidade de processo

$$P_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma}; \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma} \right\}$$

• Variação máxima aceitável: [LIE; LSE] = [985; 1015]

• Variação estimada do processo  $\begin{cases} \hat{\sigma} = 8,91 \\ \bar{x} = 1000,11 \end{cases}$

$$P_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{1000,11 - 985}{3 \cdot 8,91}; \frac{1015 - 1000,11}{3 \cdot 8,91} \right\} =$$

$$P_{pk} = \text{Min}\{0,56; 0,55\} = 0,55$$

# $P_{pk}$ - Índice de capacidade de processo

$$P_{pk} = \text{Min}\{0,56; 0,55\} = 0,55 \rightarrow \sim 92300 \text{ PPM}$$

$$P_{pk} = 1,0 \rightarrow 2700 \text{ PPM}$$

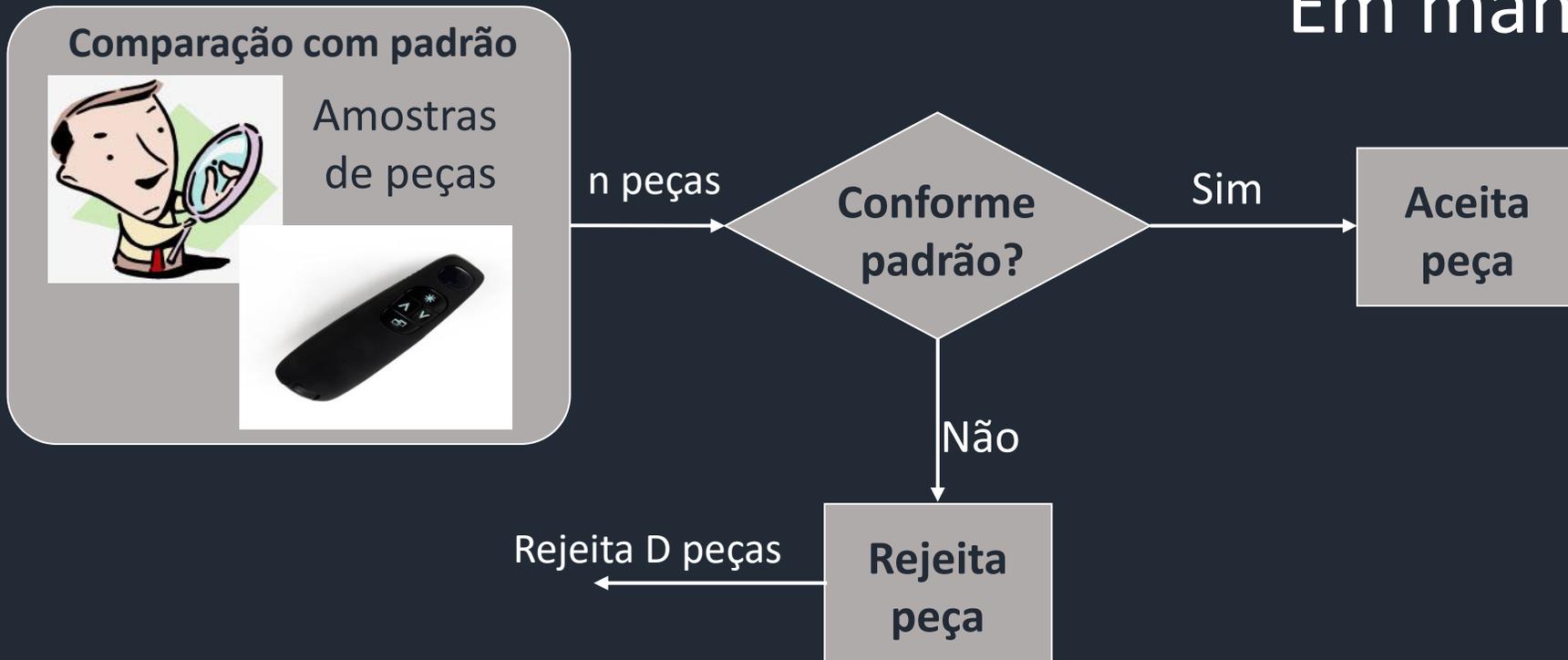
$$P_{pk} = 1,33 \rightarrow 70 \text{ PPM}$$

Nível de  
qualidade  
esperado?



Depende da  
indústria  
(setor)

# Capabilidade de processo – Controle de atributos Em manufatura



Proporção de inaceitáveis (nível de qualidade):

Estimado por: 
$$p = \frac{D}{n}$$

# Capabilidade de processo – Como estimamos?

## Controle de atributos

### Comparação com padrão



Amostras  
de peças



n peças

Conforme  
padrão?

Sim

Aceita  
peça

Não

Rejeita  
peça

Rejeita D peças

Ex: em 20 amostras de tamanho  $n=150$ , encontradas 12 peças defeituosas:

$$p = \frac{12}{20 * 150} = 0,004 \quad \rightarrow \quad \text{Estimativa de 4000 PPM}$$

# Capabilidade de processo – Controle de atributos

## Nível de qualidade em serviço



Proporção de inaceitáveis (nível de qualidade):

Estimado por:

$$p = \frac{D}{n}$$