

**PROVA 1
CONTROLE ESTATÍSTICO
DOS PROCESSOS**

DANIEL CRUZ DE FREITAS

Prof: Dr. ANDRÉ LUIZ MARQUES SERRANO

Brasília, 20 de outubro de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

1 CHECKLIST DE DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 Definição do Problema

O presente estudo tem como objetivo aplicar o Controle Estatístico de Processos (CEP) em uma linha de produção automotiva, mais especificamente na etapa de usinagem dos anéis de pistão de motores de automóveis.

Durante a fabricação, o diâmetro interno dos anéis é uma característica crítica de qualidade, pois influencia diretamente o ajuste entre o pistão e o cilindro, afetando o desempenho, a eficiência e a durabilidade do motor.

Devido à elevada precisão dimensional exigida nesse processo, é essencial monitorar continuamente essa variável para garantir que o processo permaneça sob controle estatístico e dentro das tolerâncias especificadas.

1.2 Premissas ou Hipóteses

Considera-se que o processo de fabricação opera sob condições normais e estáveis, com medições realizadas em ambiente controlado e instrumentos devidamente calibrados. As amostras analisadas são representativas do processo e foram coletadas de forma aleatória, sem interferências externas, paradas de máquina ou ajustes entre as coletas. Assume-se também que eventuais variações observadas entre amostras decorrem de causas comuns do processo, como pequenas flutuações de temperatura, desgaste natural de ferramentas ou microvariações na matéria-prima. Caso algum ponto se apresente fora dos limites de controle estabelecidos, entende-se que isso indica a presença de causas especiais de variação, que deverão ser investigadas e eliminadas para o restabelecimento da estabilidade do processo.

1.3 Restrições e Condições de Coleta

O estudo considera 25 amostras coletadas em intervalos regulares de tempo ao longo da produção, representando diferentes momentos do processo de usinagem. Cada amostra contém cinco medições individuais do diâmetro interno (em milímetros) de anéis de pistão produzidos consecutivamente, de modo a capturar tanto a variação dentro de cada subgrupo quanto entre subgrupos. As medições foram realizadas com micrômetros de precisão, em ambiente controlado quanto à temperatura e vibração, garantindo a confiabilidade dos dados. Todas as peças medidas pertencem ao mesmo lote de produção, e nenhuma passou por retrabalho antes da coleta dos dados, o que assegura a homogeneidade da amostragem e a validade estatística da análise.

1.4 Descrição do Dataset

O conjunto de dados é composto por 25 amostras, cada uma contendo cinco observações do diâmetro interno dos anéis de pistão (em milímetros). As medições foram extraídas da Tabela 6.3 do livro *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*, de Douglas C. Montgomery (Sétima Edição), uma das principais referências teóricas da área.

O dataset foi organizado no arquivo `DanielCruzDeFreitas_CEP_Prova.csv` com as seguintes colunas:

Tabela 1 - Descrição do dataset

Coluna	Descrição
Amostra	Identificador da Amostra (de 1 a 25)
Medida 1 a Medida 5	Medições individuais do diâmetro interno (mm)

Essas informações permitem calcular as estatísticas amostrais necessárias para a construção das Cartas de Controle \bar{X} e R.

2 CASO PRÁTICO

2.1 Contexto do Problema

A indústria automotiva exige alto controle dimensional dos componentes de motores, especialmente dos anéis de pistão, pois sua folga interna deve garantir tanto a vedação quanto a lubrificação adequada.

Durante a usinagem dos anéis, pequenas variações no diâmetro interno podem comprometer o encaixe com o pistão e afetar o consumo de combustível, emissão de gases e durabilidade do motor.

Assim, a aplicação do CEP visa verificar a estabilidade do processo e prevenir desvios sistemáticos que possam resultar em produtos fora de especificação.

2.2 Especificações do Produto

As especificações técnicas para o anel de pistão analisado são baseadas em normas de fabricação e ensaios dimensionais:

- **Dimensão nominal (diâmetro interno):** 74,000 mm
- **Limite Inferior de Especificação (LIE):** 73,980 mm
- **Limite Superior de Especificação (LSE):** 74,020 mm
- **Tolerância total:** $\pm 0,020$ mm

Esses valores representam o intervalo aceitável dentro do qual o produto atende aos requisitos de desempenho e qualidade.

2.3 Objetivo da Análise

O objetivo principal é implementar as Cartas de Controle \bar{X} e R para monitorar a tendência central e a variabilidade do diâmetro interno dos anéis de pistão, avaliando se o processo de usinagem está sob controle estatístico.

Busca-se identificar possíveis causas especiais de variação, que possam indicar necessidade de intervenção, ajuste de máquina ou recalibração de instrumentos de medição.

2.4 Dados Coletados

Os dados coletados foram organizados em um arquivo CSV denominado DanielCruzDeFreitas_CEP_Prova.csv, contendo 25 amostras e cinco medições individuais por amostra, expressas em milímetros. A tabela a seguir apresenta um recorte ilustrativo da estrutura do dataset:

Tabela 2- Recorte do dataset utilizado

Amostra	Medida_1	Medida_2	Medida_3	Medida_4	Medida_5
1	74.030	74.002	74.019	73.992	74.008
2	73.995	73.992	74.001	74.011	74.004
3	73.988	74.024	74.021	74.005	74.002
...
25	73.982	73.984	73.995	74.017	74.013

As medições acima foram extraídas da Tabela 6.3 do livro *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*, de Douglas C. Montgomery (Sétima Edição), e representam o diâmetro interno de anéis de pistão produzidos em sequência. Esses dados serão utilizados para o cálculo das estatísticas amostrais e posterior construção das Cartas de Controle \bar{X} e R.

3 QUESTÕES TEÓRICAS

3.1 Qual a diferença entre limites de controle e limites de especificação?

Limites de controle (LIC/LSC) são calculados a partir dos dados do processo (variabilidade intrínseca) e servem para monitorar estabilidade e identificar causas especiais de variação. Já os limites de especificação (LIE/LSE) são definidos por requisitos de projeto/cliente e indicam a faixa aceitável para o produto atender ao desempenho desejado.

Em resumo:

- controle = comportamento do processo.
- especificação = requisito do produto.

Um processo pode estar sob controle e mesmo assim produzir itens fora de especificação (processo estável porém mal centrado), ou estar ocasionalmente fora de controle e ainda assim gerar itens dentro de especificação (risco de instabilidade).

3.2 Por que utilizamos a Carta X-barra e R em conjunto?

A Carta \bar{X} monitora a tendência central (médias por subgrupo), enquanto a Carta R monitora a variabilidade (amplitude dentro do subgrupo). Um processo pode manter a média estável, mas sofrer aumentos de dispersão (ou vice-versa). Usar as duas permite detectar mudanças na posição e na variabilidade — condições necessárias para afirmar que o processo está sob controle estatístico.

3.3 O que significa um processo estar “sob controle estatístico”?

Significa que a variação observada é explicada apenas por causas comuns (aleatórias, inerentes ao processo), sem evidências de causas especiais. Na prática, o processo é estável e previsível dentro de sua variabilidade natural, permitindo planejar e melhorar com base em dados consistentes.

3.4 Se um ponto está fora dos limites de controle, mas dentro dos limites de especificação, o que isso indica?

Indica instabilidade de processo (causa especial presente), embora aquele ponto específico ainda atenda à especificação do produto. Isso não é aceitável do ponto de vista de controle: a instabilidade aumenta o risco de não conformidades futuras e deve ser investigada e corrigida, mesmo sem scrap imediato.

4 TABELAS COM OS VALORES CALCULADOS (\bar{X} , R, LIMITES DE CONTROLE)

A partir dos dados coletados das 25 amostras de diâmetros internos dos anéis de pistão, foram calculadas as estatísticas de controle necessárias para a construção das Cartas \bar{X} e R.

Os valores da média das médias ($\bar{\bar{X}}$) e da média das amplitudes (\bar{R}) foram utilizados para determinar os limites de controle de cada carta, conforme as constantes do CEP para subgrupos

de tamanho $n = 5$ ($A_2 = 0,577$, $D_3 = 0,000$ e $D_4 = 2,114$).

A Tabela a seguir apresenta o resumo dos parâmetros calculados e seus respectivos limites de controle para as Cartas \bar{X} e R .

Esses valores foram obtidos a partir dos cálculos realizados no Google Colab.

Tabela 3 – Parâmetros e limites de controle das Cartas \bar{X} e R

	Parâmetro	Valor
0	$\bar{\bar{X}}$	74.00229
1	\bar{R}	0.02944
2	\bar{X} - LIC	73.98530
3	\bar{X} - LC	74.00229
4	\bar{X} - LSC	74.01927
5	R - LIC	0.00000
6	R - LC	0.02944
7	R - LSC	0.06224

Observa-se que os limites calculados das cartas \bar{X} e R estão dentro das especificações do produto ($LIE = 73,980$ mm e $LSE = 74,020$ mm), indicando que o processo possui baixa variabilidade e encontra-se próximo do centro da especificação.

Esses resultados serviram de base para a construção das cartas de controle apresentadas no item 5 do relatório.

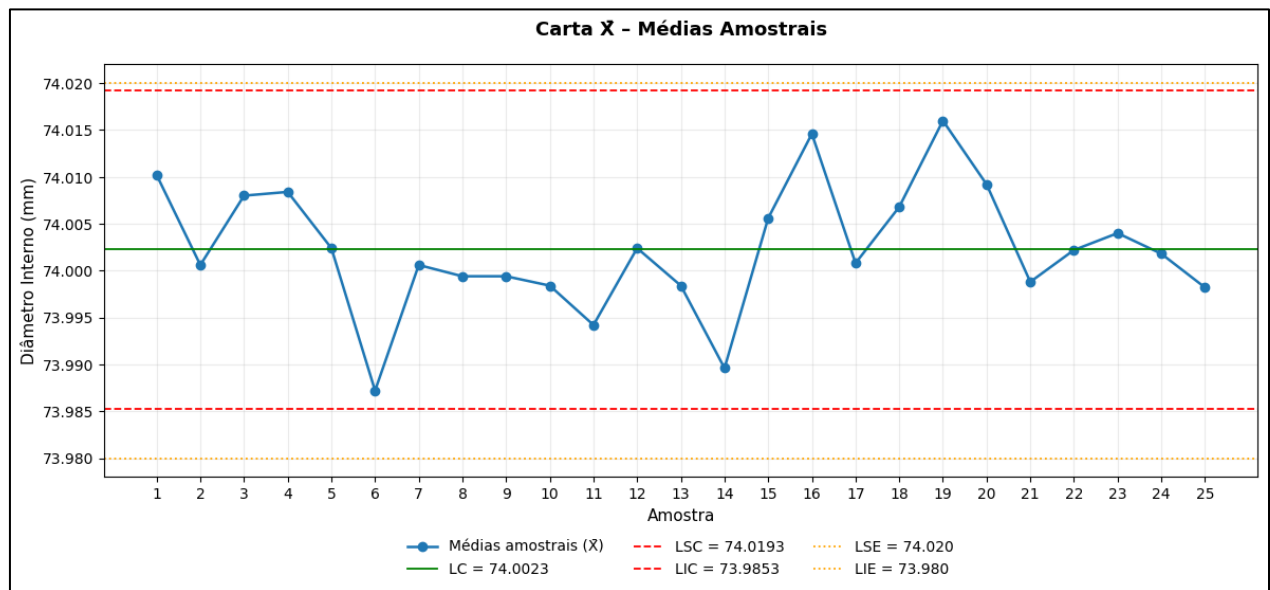
5 GRÁFICOS DAS CARTAS DE CONTROLE

Com base nos valores calculados de $\bar{\bar{X}}$ e \bar{R} , foram construídas as Cartas de Controle \bar{X} e R para o acompanhamento do processo de usinagem dos anéis de pistão.

As cartas foram elaboradas no ambiente Google Colab utilizando a biblioteca Matplotlib, permitindo uma visualização clara dos limites de controle, das médias amostrais e das variações dentro de cada subgrupo.

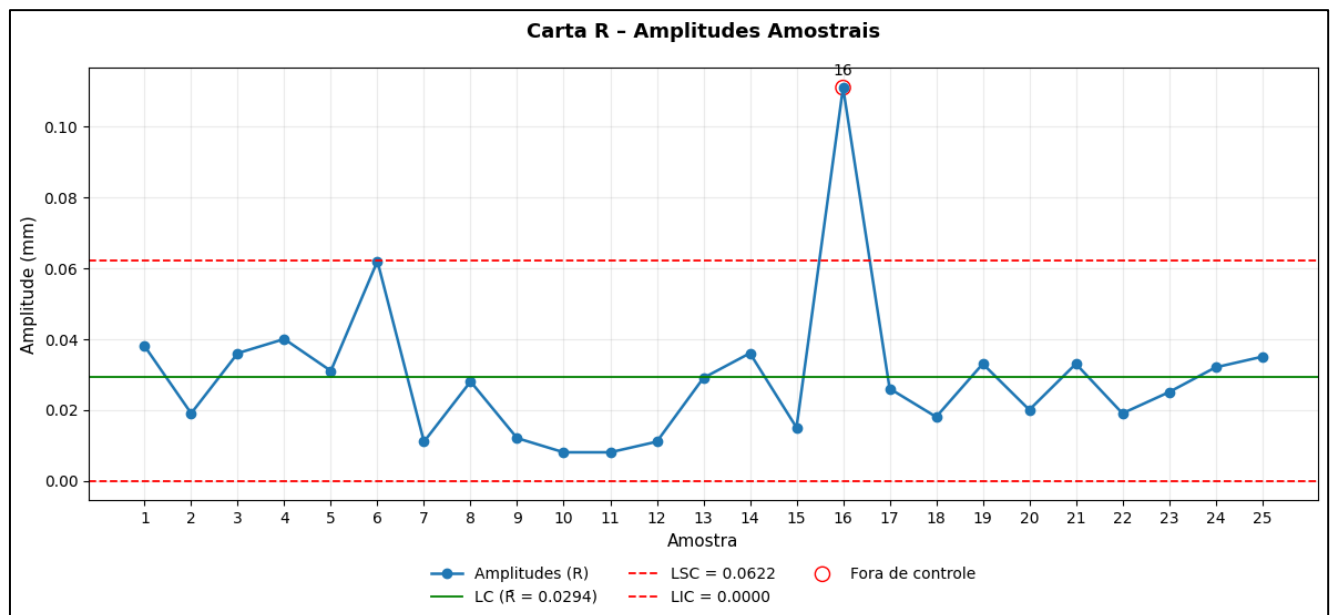
Foram destacadas também as linhas correspondentes aos limites de especificação do produto ($LIE = 73,980$ mm e $LSE = 74,020$ mm) para comparação com os limites de controle estatísticos.

Figura 1- Carta \bar{X} das médias amostrais



A Carta \bar{X} apresenta todas as médias amostrais dentro dos limites de controle (LIC = 73,9853 e LSC = 74,0193), sem tendências ou padrões sistemáticos, indicando que o processo se encontra estável em relação à média.

Figura 2- Carta R das amplitudes amostrais



Na Carta R, observa-se que a maioria das amplitudes permanece dentro dos limites, com exceção da amostra 16, que ultrapassa o limite superior de controle (LSC = 0,0622). Esse ponto representa uma causa especial de variação e evidencia um momento pontual de maior dispersão nas medições, possivelmente associada a variação nas condições de corte, desgaste da

ferramenta ou erro de medição.

De modo geral, os gráficos confirmam que o processo apresenta estabilidade em relação à média e baixa variabilidade, características de um processo sob controle estatístico segundo os princípios do CEP.

6 LISTA DE PONTOS FORA DE CONTROLE

A identificação de pontos fora dos limites de controle é essencial para a detecção de causas especiais de variação, que representam desvios anormais no comportamento do processo e devem ser investigadas para evitar perda de estabilidade.

Durante a análise das cartas de controle, foi verificado que:

- Na Carta \bar{X} (médias amostrais), **não foram identificados pontos fora dos limites de controle**. Todas as médias permaneceram entre o LSC = 74,0193 e o LIC = 73,9853, indicando que o processo está sob controle estatístico em relação à média.
- Na Carta R (amplitudes amostrais), **foi identificado um ponto fora do limite superior de controle**, correspondente à amostra 16, cuja amplitude ultrapassou o LSC = 0,0622. Essa ocorrência caracteriza uma causa especial de variação, indicando uma dispersão acima do esperado dentro desse subgrupo.

A Tabela 4 apresenta o resumo dos pontos fora de controle identificados nas cartas de controle do processo.

Tabela 4 - Pontos fora de controle identificados

Carta	Amostra	Valor	Tipo de limite ultrapassado
\bar{X}	–	–	Nenhum ponto fora dos limites
R	16	0,065	LSC

A ocorrência da amostra 16 na Carta R deve ser analisada quanto às condições de operação no momento da coleta, como regulagem da máquina, desgaste da ferramenta de corte ou falha de medição, para identificar a causa da variação anormal e evitar reincidências em ciclos produtivos futuros.

7 CONCLUSÕES FINAIS

A análise conjunta das Cartas de Controle \bar{X} e R permite avaliar o comportamento global do processo de usinagem dos anéis de pistão e verificar se ele se encontra sob controle

estatístico.

Comportamento da Carta \bar{X} (Médias Amostras)

A Carta \bar{X} demonstra que todas as médias amostrais permanecem dentro dos limites de controle calculados ($LIC = 73,9853$ e $LSC = 74,0193$), sem ocorrência de pontos fora dos limites ou indícios de tendência sistemática.

Esse comportamento confirma que o processo apresenta apenas causas comuns de variação, o que caracteriza estabilidade e controle estatístico em relação à média.

Além disso, os limites de controle estão contidos dentro dos limites de especificação do produto ($LIE = 73,980$ e $LSE = 74,020$), indicando que o processo é capaz e centrado, mantendo o diâmetro médio das peças dentro da tolerância especificada.

Comportamento da Carta R (Amplitudes Amostras)

A Carta R revelou uma única amostra fora dos limites de controle — a amostra 16 — cuja amplitude ultrapassou o $LSC = 0,0622$.

Esse ponto caracteriza uma causa especial de variação, sugerindo que em determinado momento ocorreu uma flutuação anormal da variabilidade, possivelmente associada a fatores como:

- Variação na regulagem do equipamento;
- Desgaste da ferramenta de corte;
- Alterações momentâneas no material ou condições de operação;
- Erro pontual na medição.

Como as demais amostras permaneceram dentro dos limites, essa ocorrência deve ser tratada como pontual e não sistêmica, mas ainda assim requer investigação e correção preventiva para evitar reincidência.

De modo geral, o processo analisado apresenta estabilidade estatística em relação à média e baixa variabilidade, sendo considerado sob controle segundo os princípios do Controle Estatístico de Processos (CEP).

A ocorrência isolada de uma causa especial na Carta R não compromete o desempenho global do processo, mas indica a necessidade de acompanhamento periódico e manutenção preventiva dos equipamentos de usinagem.

Portanto, conclui-se que o processo de fabricação dos anéis de pistão encontra-se sob controle estatístico e apto a atender às especificações dimensionais, apresentando consistência e qualidade no produto final.