



## **APLICAÇÃO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS PARA O ENSINO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO POR MEIO DE PEÇAS PRODUZIDAS COM MANUFATURA ADITIVA**

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3854

Gabriel Deretti - gderetti10@gmail.com  
Faculdade Senai

Guilherme Cleivo Nardelli - guilherme\_c\_nardelli@estudante.sc.senai.br  
Faculdade Senai

Guilherme Bloemer Letizio - guilherme.bloemer19@gmail.com  
Faculdade Senai

Reginaldo Motta - motta@sc.senai.br  
Faculdade Senai

**Resumo:** *Visando incluir abordagens práticas em estudos de caráter predominantemente técnico, em unidades curriculares dos cursos de Engenharia, o presente artigo tem por objetivo a aplicação do método ABP (Aprendizagem baseada em problemas) na análise de variabilidade no processo produtivo experimental de eixos de PLA (Poliácido Láctico). As amostras fabricadas por meio de impressão 3D (manufatura aditiva) foram analisadas, e os dados coletados foram expressos de forma literária e gráfica afim de utilização em ambientes de aprendizagem, perante estudos de ferramentas de CEP (controle estatístico de processos). Para elaboração técnica, utilizou-se dos conceitos da Carta de Controle X-MR (Moving Range). Os resultados obtidos evidenciam a viabilidade na aplicação da metodologia utilizada, para a cognição do assunto proposto.*

**Palavras-chave:** *Manufatura Aditiva. Aprendizagem. ABP. X-MR. CEP.*



# APLICAÇÃO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS PARA O ENSINO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO POR MEIO DE PEÇAS PRODUZIDAS COM MANUFATURA ADITIVA

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto atual onde a alta competitividade no mercado de trabalho, leva à uma busca por profissionais cada vez mais capacitados, torna-se necessário que instituições de ensino superior preparem seus alunos com diferenciais acadêmicos, facilitando a inserção dos mesmos em suas respectivas vagas.

Conforme elucida as Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de graduação em Engenharia Art. 6º, desenvolvida pelo Ministério da Educação, cabe ao egresso ser apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias com atuação inovadora e empreendedora (BRASIL, 2018). De modo igual, compete à instituição de ensino estimular por meio de práticas pedagógicas do tipo ABP, a tomada de decisões e resolução de problemas, facilitando assim a compreensão do conteúdo técnico proposto. Para John Dewey (1859-1952), pensamos apenas quando nos defrontamos com algum problema (ANTHONY, 1969).

As metodologias ativas de aprendizagem se encaixam na concepção atual de educação 4.0, visto que se alinha com os conceitos de *Learning by Doing*, isto é, aprender fazendo (ALMEIDA, 2020). Dentre os recursos disponíveis usa-se a didática aliada à impressão 3D; processo de manufatura aditiva, ou seja, a sobreposição progressiva de material atribui forma e volume à peça produzida; vastamente utilizada para prototipagens rápidas. Esta, facilita a percepção espacial dos modelos, objetivando a visualização de um produto final (PIPES, 2010).

O estudo relacionado à controle estatístico de processos, consiste em analisar e tomar decisões, baseado em fatos e dados obtidos; levando em consideração a variabilidade (VIEIRA, 1999). A integração aluno/máquina proporciona mensurar a variação em questão, das mais diversas formas. Dentre estas, podemos citar as máquinas de medir por coordenadas (MMC), que dispõe de recursos gráficos que facilitam sua utilização e, obtenção de resultados.

O artigo em questão, evidencia a importância na aplicação das técnicas pedagógicas como a ABP nas graduações de Engenharia, visando uma maior experiência prática na formação do engenheiro egresso. A metodologia utilizada, contextualizada no ensino da ferramenta de CEP, fornece os resultados da variabilidade estudada.

## 2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS (ABP)

A Aprendizagem baseada em problemas conhecida como ABP, consiste basicamente em obter conhecimentos por meio de resolução de situações problemas. Um dos princípios prezados por essa metodologia é mesclar a teoria com a prática, tendo assim um aprendizado mais dinâmico. O principal pilar da ABP é organizar a proposta pedagógica em torno da resolução dos problemas. Uma preocupação neste método é a aplicação dos conceitos teóricos que são fundamentais, devem ser realizados de maneira rigorosa para que os conhecimentos sejam aplicados na prática, pois a parte teórica é a base para que tudo funcione de maneira fluída e os resultados obtidos sejam os esperados. (DIAS, 1998)

### 3 MANUFATURA ADITIVA

Manufatura aditiva é um grupo de tecnologias para fabricação digital de objetos físicos a partir de um modelo digital. Tudo que se deseja, primeiro é desenvolvido em forma digital com os softwares dedicados, sendo os mais comuns de desenho tridimensional, após o modelamento de forma digital, o objeto é impresso com as matérias primas que são destinadas para os mesmos, essa impressão, atualmente ocorre com uma adição de camadas que podem ser configuráveis em relação à espessura, assim, chegando na forma final que foi desenvolvida. Existem diversas matérias primas, mas as mais comuns atualmente são alguns tipos de plásticos, cerâmicas e metais. (VOLPATO, 2017)

#### 3.1 Impressão 3D

As tecnologias de impressão 3D atualmente estão ainda em fase de desenvolvimento, porém já existe uma larga escala de tecnologias mescladas com marcas confiáveis, que compõem um vasto mercado em relação a impressora e seus componentes. As mais aplicadas no atual momento são SLA, SLS e FDM. (VOLPATO, 2017)

As principais especificidades de cada uma são:

- SLA: Esta foi a tecnologia de impressão 3D pioneira no mercado, sendo a primeira que foi oficialmente desenvolvida. Um feixe de luz ultravioleta (UV) adiciona resina fotopolimerante em camadas até a forma final do objeto. Mesmo sendo a primeira tecnologia desenvolvida, ainda é uma das mais precisas, que permite um produto com um ótimo acabamento em relação a rugosidade e detalhes. (VOLPATO, 2017)

- SLS: Técnica que utiliza o princípio da sinterização (compactação de partículas de pó) por meio de um laser de alta potência, este laser então, sinteriza o pó unindo e solidificando camada por camada até chegar na forma desejada e programada. A matéria prima pode ser o metal ou também polímero. (VOLPATO, 2017)

- FDM: Tecnologia mais conhecida e também a mais acessível, modela o produto com fusão da matéria prima e deposição da mesma em camadas. A matéria prima mais utilizada é o plástico que é um ótimo material para este tipo de aplicação em impressora 3D. Essa tecnologia também entrega uma ótima precisão e acabamento. (VOLPATO, 2017)

### 4 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Para melhoria de um processo, é necessário avaliar como um todo e verificar onde é possível otimizar tendo em vista que este gasto para a melhoria seja eficaz e demostre retornos sobre o impacto ao realizar a mesma. A ferramenta chamada de controle estatístico de processos é utilizada para justamente medir a qualidade dos processos, podendo ser usada, assim, para detectar problemas presentes ou até mesmo futuros nestes, para que a melhoria seja feita de imediato ou antes da implantação destes processos. (CONTADOR, 2010)

Dentro das análises do controle estatístico de processos, existem variações, dentre elas a comum, que é uma variação onde existe um problema ocasionado por situações aleatórias, sendo assim a causa raiz pode não ser possível de identificar, porém é uma variação que acontece de forma eventual. Outra seria a variação especial, que abrange os problemas sistêmicos ou mudanças que não prosseguem conforme o padrão onde inserido no processo, desta forma é possível impedir o problema, evitando danos no processo como um todo. (CONTADOR, 2010)

Quando a indústria possui possibilidade de controlar o processo, significa que ela pode obter informações que se analisadas e alinhadas com a ferramenta CEP, assim resultando na obtenção da melhoria, porém, muitas empresas ainda acham que o controle dos processos é desnecessário e acabam obtendo problemas que poderiam ter soluções com a otimização, resultando em uma produção sem controle de. (CONTADOR, 2010)

#### 4.1 Execução da ferramenta

A aplicação das ferramentas do controle estatístico de processo, segundo Contador (2010) acontece de diversas formas, dentre elas estão:

- Gráficos para controle;
- Gestão de rotina;
- Mapeamento e digitalização dos processos;
- Auditorias;
- Métodos estatísticos;
- Identificação de erros através de dispositivos confiáveis.

#### 4.2 Cartas de controle

Carta de controle é uma ferramenta do Controle Estatístico de Processos, que sem dúvida, é a ferramenta mais importante. Elas possuem basicamente três objetivos, que são, verificar se o processo é estatisticamente estável, assim não possuindo causas especiais de variação, verificar também se o processo permanece estável, assim indicando quando é necessária uma atuação sobre o mesmo, e por fim, permitir o aprimoramento contínuo, assim reduzindo a variabilidade. (SÃO PAULO, 2013)

Para a construção de uma carta de controle eficaz, é necessário seguir alguns passos, dentre eles, estão, coletar dados durante um período de tempo, assim tendo todos os tipos de variação que satisfazem o interesse em avaliar, quanto maior o tempo de análise, maior será a precisão na análise. Também é necessário calcular as estatísticas que resumem informações contidas nos dados, como amplitudes, desvios padrões, frações, medias, etc. Calcular também os limites de controle com base nas estatísticas, também marcar as mesmas nas cartas de controle juntamente com os limites de controle, a ponto de unir os mesmos para facilitar a visualização do comportamento do processo. Por fim, quando for detectada a presença de causas especiais, identificar, eliminar e assim prevenir a sua repetição. (SÃO PAULO, 2013)

#### 4.3 Gráfico de valor individual e amplitude móvel

Em situações onde os valores medidos não passam por um agrupamento de amostragem, geralmente em análises com baixa carga produtiva, onde não se faz necessário o registro de dados por um longo período de tempo, utiliza-se dos chamados valores individuais ( $X$ ). Nesse tipo de aplicação é utilizado o próprio valor da medição e da amplitude móvel ( $R_m$ ), sendo essa descrita, conforme Gouveia (2011) como o módulo da variação entre as amostras:

$$R_m = |X_i - X_{i-1}|$$

No gráfico do valor individual também estão presentes a Linha Superior de Controle (*LSC*), a Linha Inferior de Controle (*LIC*) e a linha média das medições (*LM*), conforme Gouveia (2011):

$$LSC_x = \bar{X} + E_2 \cdot \bar{Rm}$$

$$LIC_x = \bar{X} - E_2 \cdot \bar{Rm}$$

$$LM_x = \bar{X}$$

É possível também acompanhar somente o valor das amplitudes, utilizando-se das equações abaixo, conforme Gouveia (2011):

$$LSC_{RM} = D_4 \cdot \bar{Rm}$$

$$LIC_{RM} = D_3 \cdot \bar{Rm}$$

$$LM_{RM} = \bar{X}$$

Nas equações apresentadas acima os valores de  $E_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  são constantes tabeladas conforme o número de medidas por amostra.

## 5 METROLOGIA E MEDIÇÃO

Metrologia é conhecida como a ciência da medição e suas aplicações, conjunto de aspectos tanto teóricos como práticos da medição. Basicamente ela está presente em tudo, sendo assim, definitivamente essencial no controle estatístico de processos, pois sem ela não é possível executar esta ferramenta. (RIBEIRO, 2008)

A medição consiste em medir propriedades ou grandezas, para tal feito, o valor medido de uma grandeza é comparado com uma unidade. (RIBEIRO, 2008)

### 5.1 Medição direta

Na medição direta, cujo nome ressalta que a comparação é diretamente realizada entre o valor medido e o valor que se deseja obter, o valor medido é direto e único, um exemplo de medição direta é medir o diâmetro de um eixo com um paquímetro, obtém-se o valor exato e direto em que a medida se encontra quando realizada a medição. (RIBEIRO, 2008)

### 5.2 Medição indireta

Na medição indireta, o valor é medido através de comparações com valores e unidades padronizadas. Este tipo de medição é utilizado quando a medição direta não é viável para aplicação, mas também existem métodos de medição onde a medição indireta produz resultados mais precisos que a própria medição direta. Um exemplo de medição indireta é medir a planeza e paralelismo de uma peça, utilizando um relógio comparador que é um instrumento criado justamente para medições indiretas, e uma mesa plana onde é apoiada a peça. (RIBEIRO, 2008)

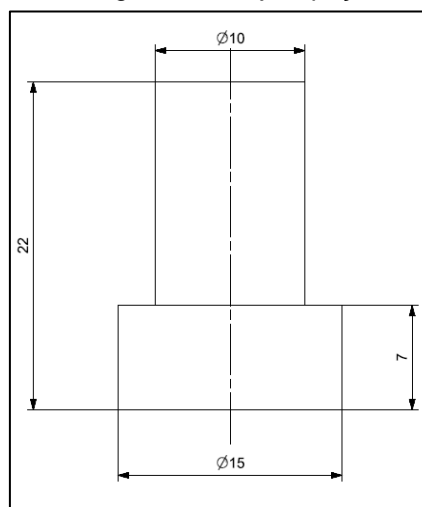
## 6 RESULTADOS

Nesta seção será apresentado os resultados técnicos obtidos pelos acadêmicos durante a aplicação da metodologia de ensino.

### 6.1 Fabricação das peças

Para possibilitar o desenvolvimento da análise, foi fabricado um lote de peças (Figura 1) com o intuito de fornecer os dados necessários.

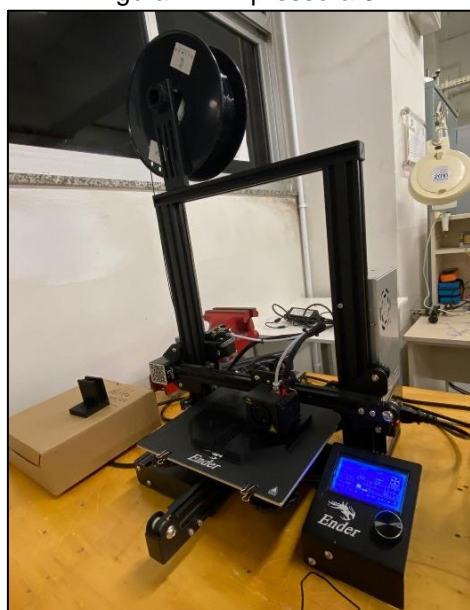
Figura 1 – Projeto peça



Fonte: Dos autores (2022)

O processo de fabricação foi feito por meio de uma impressora 3D (Figura 2), seguindo os parâmetros apresentados (Tabela 1):

Figura 2 – Impressora 3D



Fonte: Dos autores (2022)

Tabela 1 – Parâmetros e características da impressora 3D

Descrição	Valor
Material	PLA
Deposição de material (mm/passe)	0,2
Temperatura da mesa (°C)	60
Temperatura do cabeçote (°C)	200

Fonte: Dos autores (2022)

## 6.2 Medição

As peças, após fabricadas, foram medidas meio de uma Máquina de Medição por Coordenadas (MMC), conforme abaixo (Tabela 2):

Tabela 2 – Medidas peças

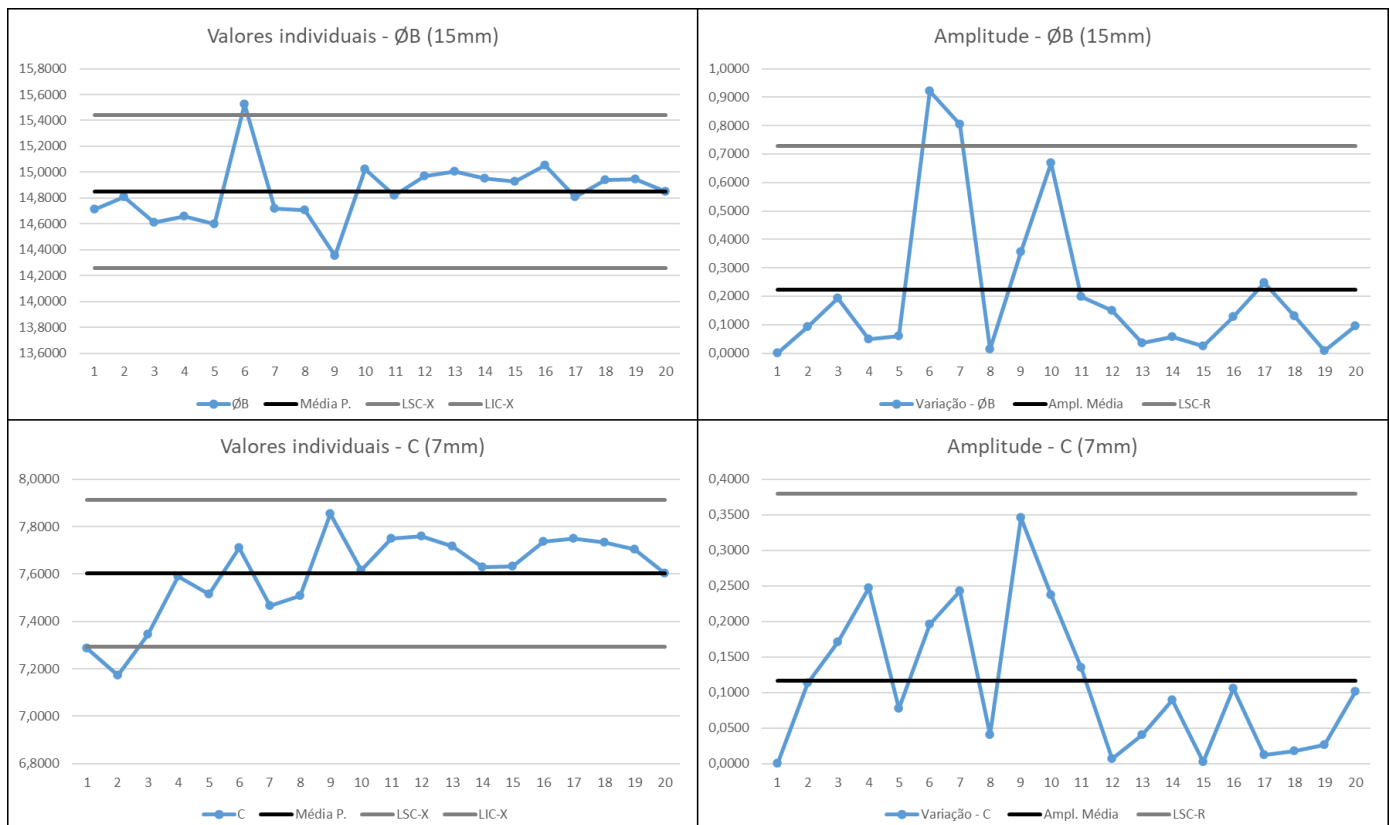
Amostra	ØA (10mm)	ØB (15mm)	C (7mm)	D (22mm)
1	9,7880	14,7120	7,2875	23,0755
2	9,7290	14,8055	7,1740	23,0560
3	9,6600	14,6125	7,3445	22,9730
4	9,8050	14,6610	7,5910	23,1670
5	9,7520	14,6015	7,5135	23,2980
6	9,7585	15,5230	7,7095	23,3555
7	9,7740	14,7185	7,4670	23,3015
8	9,7780	14,7055	7,5075	23,2480
9	9,7580	14,3505	7,8535	23,3190
10	9,6370	15,0200	7,6160	23,2450
11	9,8910	14,8205	7,7510	23,3020
12	9,9270	14,9705	7,7580	23,1505
13	9,8765	15,0070	7,7180	23,2715
14	9,6420	14,9505	7,6290	23,0460
15	9,7690	14,9270	7,6320	23,1900
16	9,9540	15,0545	7,7375	23,0780
17	9,9105	14,8065	7,7500	23,0700
18	9,9005	14,9375	7,7320	23,0550
19	9,8975	14,9450	7,7055	23,0750
20	9,8004	14,8489	7,6041	23,1724

Fonte: Dos autores (2022)

## 6.3 Gráficos de controle

Com base nesses valores é possível aplicar os gráficos de controle por valor individual e amplitude, conforme apresentado (Figura 3):

Figura 3 – Valor individual e amplitude



Fonte: Dos autores (2022)

Com bases nos gráficos apresentados anteriormente é possível aplicar os testes de não aleatoriedade e constatar as seguintes situações:

- Pontos fora dos limites de controle nos valores individuais (ØB e C) e amplitude (ØB);
- Estratificação / falta de variabilidade, com diversos pontos próximos à linha média nos valores individuais (ØB e C);
- Sequência de pontos do mesmo lado da média nos valores individuais (C).

De forma geral podemos observar que em ambas as dimensões controladas (ØB e C), o gráfico de valores únicos se apresenta consideravelmente mais estável que o de amplitude, embora ainda possua pontos fora das linhas de controle, sendo essas ocorrências teoricamente atreladas a causas especiais de variação, não sendo observadas em nenhum outro ponto da avaliação.

Quanto aos gráficos de amplitude, é possível observar bastante variação entre diferentes amostras, com base nisso podemos inferir que o processo utilizado não é robusto o suficiente para fornecer estabilidade dimensional entre peças em sequência, embora na análise realizada essa variação considerada elevada causou poucos pontos fora das linhas de controle no gráfico de valores individuais.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os aspectos mencionados, infere-se que as habilidades requeridas no processo de aprendizagem na formação do engenheiro, em sua maioria de absorção técnica, podem ser alinhadas a atividades práticas voltadas a resolução de problemas, que facilitam a compreensão e o processo de aprendizado do graduando.

No estudo em específico do controle estatístico de processos, a elaboração prática da atividade, desde sua produção agregando conceitos de manufatura aditiva; à sua análise de variabilidade; favorece o estudo do conceito em questão, que por meio de metodologia ativa de ensino permite ao estudante, um desenvolvimento da visão crítica, relacionando o conhecimento teórico e prático.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação (2018). Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de graduação em engenharia. Brasília, MEC/CNE.

ANTHONY, Thomas. I'm OK, you're OK: a practical guide to transactional analysis. Estados Unidos: Harper & Row, 1969.

ALMEIDA, Fernando. The Role of Serious Games, Gamification and Industry 4.0 Tools in the Education 4.0 Paradigm. Contemporary Educational Technology, Portugal, v.10, n.2, p.120-136, 2019.

PIPES, Alan. Desenho para designers. 1. ed. São Paulo: BLUCHER, 2010.

VIEIRA, S. Estatística para a qualidade. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

CONTADOR, José Celso (org.). Gestão de Operações A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

SÃO PAULO. Instituto Adolfo Lutz. Secretaria de Estado da Saúde. Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativo. São Paulo, 2013.

VOLPATO, Neri. Manufatura aditiva tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017.

GOUVEIA, Arthur. CEP - Controle Estatístico de Processos. São Paulo: Nelpa, 2011.

DIAS, José Luciano de Mattos. Medida, normalização e qualidade: aspectos da história da metrologia no Brasil. Rio de Janeiro: Inmetro, 1998.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior. São Carlos: Edufscar, 2008.

## APPLICATION OF PROBLEM-BASED LEARNING TO TEACH STATISTICAL PROCESS CONTROL THROUGH PARTS PRODUCED WITH ADDITIVE MANUFACTURING

**Abstract:** *Aiming to analyze methods of inclusion of practices in studies of a predominantly technical nature, in curricular units of Engineering courses, this article aims to apply the PBL (Problem Based Learning) method to the variability in the experimental production process of PLA (Poly Lactic) axes. The samples manufactured through additive 3D printing (additive manufacturing) were introduced into learning environments, and the use of data and updated data were presented as tools for learning processes, given the statistical studies of SPC (Statistical Process Control). For technical elaboration, the concepts of the X-MR Control Chart (Moving Range) were used. The results obtained show the feasibility of the application of the methodology used, for the cognition of the proposed subject.*

**Keywords:** *Additive Manufacturing. Learning. PBL. X-MR. SPC.*