



## **USO DE UM MECANISMO PARA APRENDIZAGEM ATIVA DA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE**

**LEONARDO LOURENÇO DE SOUZA** - leo.lourenco93@gmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

**RAFAELA APARECIDA MENDONÇA MARQUES** - rafaelaamm@hotmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

**JULIANA HELENA DAROZ GAUDENCIO** - juliana.gaudencio@unifei.edu.br  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

**CARLOS EDUARDO SANCHES DA SILVA** - sanches@unifei.edu.br  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

**ÁREA:** 4. ENGENHARIA DA QUALIDADE  
**SUBÁREA:** 4.5 – CONFIABILIDADE DE PROCESSOS E PRODUTOS

**RESUMO:** ATUALMENTE, AS DIRETRIZES CURRICULARES DAS ENGENHARIAS PAUTADAS NO DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS BUSCAM ADEQUAR A EDUCAÇÃO ÀS EXIGÊNCIAS DA SOCIEDADE, BEM COMO DO MERCADO PROFISSIONAL, SENDO FUNDAMENTAL PARA O ENSINO SUPERIOR. PARA ATINGIR ESSES OBJETIVOS, AS METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM TÊM SIDO UTILIZADAS, POIS CONTRIBUEM PARA A AUTOAPRENDIZAGEM E POSSIBILITA UMA MAIOR PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS. NESSE SENTIDO, ESTE ESTUDO RELATA UM ESTUDO DE CASO ENVOLVENDO A APLICAÇÃO DIDÁTICA DE UM MECANISMO PARA A APRENDIZAGEM ATIVA, ATRAVÉS DE UMA DINÂMICA UTILIZANDO O EQUIPAMENTO “LABIRINTO ELÉTRICO”. A APLICAÇÃO OCORREU EM UMA TURMA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ONDE O OBJETIVO FOI COMPREENDER OS CONCEITOS RELACIONADOS À CONFIABILIDADE DE UM SISTEMA, ALÉM DE ANALISAR OS DADOS DOS TEMPOS DE FALHA. COMO RESULTADOS, A APLICAÇÃO DIDÁTICA POSSIBILITOU AOS ALUNOS UMA COMPREENSÃO MAIS PROFUNDA E APLICADA DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE E CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE APRESENTADOS EM SALA DE AULA.

**PALAVRAS-CHAVES:** APRENDIZAGEM ATIVA; ANÁLISE DE CONFIABILIDADE;  
TEMPOS DE FALHA.

## 1. INTRODUÇÃO

No início da industrialização, a competitividade se concentrava em maximizar a produtividade e reduzir os custos de produção, a fim de oferecer produtos a preços competitivos. Com os rápidos avanços tecnológicos e a crescente demanda dos consumidores, há um surgimento constante de novos produtos. Neste contexto, a confiabilidade é uma das características mais desejáveis, sendo de interesse dos fornecedores assim como para consumidores que esperam dos fabricantes uma garantia de que o produto desempenhe a sua função requerida durante toda a vida útil prevista (DROGUETT; MOSLEH, 2006, KARIM, 2024). De acordo com Patil *et al.* (2017), a confiabilidade do produto ou sistema exerce grande importância para sustentar a participação de mercado em um cenário competitivo.

A importância da confiabilidade ganhou destaque significativo após o fim da Primeira Guerra Mundial, quando o conceito começou a ser aplicado em estudos da indústria aeronáutica. Posteriormente, durante a Segunda Guerra Mundial, a confiabilidade foi utilizada para corrigir falhas e analisar o funcionamento dos sistemas de mísseis (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Ao longo dos anos, a confiabilidade tem se expandido em diversos ramos industriais, abrangendo sistemas como automóveis (KARIN, 2024), gasodutos no setor de petróleo e gás (HOU *et al.*, 2019), eletrônicos (ZHANG; PAN; GOH, 2020), usinagem de aços endurecidos (WANG *et al.*, 2017), e entre outros. Para Safaei e Taghipour (2024), avaliar e analisar as características relacionadas à confiabilidade representa um desafio significativo para as indústrias.

De acordo com Vaccaro (1997), a avaliação da confiabilidade permite analisar os impactos do projeto na performance, manutenção e segurança de um produto, garantindo que não falhe prematuramente. Isso evita despesas inesperadas com custos de reparos e compensações por riscos à vida (VALADARES *et al.*, 2023), que podem resultar em insatisfação dos consumidores. Além disso, essas falhas podem aumentar os custos com reparos, alterações de projeto e processos de produção (HUSSAIN; MURTHY, 2003; SOUZA; GAUDÊNCIO; SILVA, 2023) e afetar negativamente as vendas e a reputação da empresa. A avaliação da confiabilidade durante o desenvolvimento de novos produtos é essencial para atender às expectativas de qualidade do cliente e orientar nas decisões sobre políticas de garantia (ZHANG; PAN; GOH, 2020).

Espera-se que os engenheiros de confiabilidade possuam competências profissionais e habilidades desejadas (ABEPRO, 1998) para prever futuras falhas nos campos de atuação,

visando melhorar as estratégias de manutenção e gerenciamento de riscos (AGRAWAL; MITRA; GANGULY, 2024; BAHOOTOROODY *et al.*, 2020). A capacidade de prever com precisão o desempenho do sistema sob diversas condições operacionais pode aumentar significativamente a segurança e a eficiência (SAFAEI; TAGHIPOUR, 2024). Nesse sentido, é importante compreender alguns conceitos relacionados à confiabilidade de um sistema e análise dos tempos de falha, bem como as distribuições de probabilidade comumente utilizadas, os quais ajudam a modelar os tempos até a falha de seus componentes.

O objetivo geral deste trabalho é relatar um estudo de caso envolvendo a aplicação didática de um mecanismo para a aprendizagem ativa na disciplina de Confiabilidade, oferecida em uma universidade no sul de Minas Gerais. Nesta aplicação didática, utilizou-se o equipamento "Labirinto elétrico" como mecanismo para aplicar os conhecimentos adquiridos das aulas. As metodologias ativas de ensino-aprendizagem são recomendadas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Graduação em Engenharia (DCNs) (BRASIL, 2019), pois possibilitam uma maior participação dos alunos ao expô-los a situações reais ou simuladas que requerem a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos.

O trabalho está estruturado em cinco seções: a seção 2 mostra uma visão geral dos conceitos necessários para análise da Confiabilidade; a seção 3 detalha os procedimentos metodológicos; a seção 4 apresenta os resultados obtidos; e finaliza com as considerações finais na seção 5.

## **2. ANÁLISE DE CONFIABILIDADE: UMA VISÃO GERAL**

Os conceitos de qualidade e confiabilidade podem ser facilmente confundidos, mas de acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011), a diferença entre eles é exemplificada pela variável tempo. Em outras palavras, a confiabilidade leva em consideração a passagem do tempo, enquanto na qualidade isso não ocorre. Para os autores, ambos conceitos estão interligados no projeto, na manufatura e no uso posterior de produtos.

Segundo a NBR 5462, a confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar sua função requerida, de forma adequada, sob condições ambientais estabelecidas e durante um período de tempo predeterminado (ABNT, 1994). A confiabilidade representa a probabilidade (valores entre 0 e 1) de um produto ou sistema operar com sucesso, sem quebras ou falhas, dentro das condições de uso previamente estabelecidas e durante um determinado período de tempo (GARVIN, 1992; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011; ZHANG; WANG; ZHANG, 2023). Para Drouguett e Mosleh (2006), a confiabilidade caracteriza-se como um atributo intrínseco a um produto, devendo ser levado em consideração durante o seu processo de fabricação.

Fogliatto e Ribeiro (2011) associaram 5 conceitos principais para a confiabilidade, são eles:

- a) **Qualidade:** trata-se de um conjunto de características e componentes de um produto ou serviço que permitem a satisfação das necessidades implícitas e explícitas ligadas ao produto ou serviço. A qualidade é alcançada quando as especificações de projeto e fabricação são atendidas com a menor variabilidade possível (MONTGOMERY, 2004).
- b) **Disponibilidade:** refere-se à capacidade de um item, por meio de manutenção adequada, desempenhar sua função específica em um momento específico do tempo ou em um período de tempo preestabelecido. Geralmente, os sistemas operacionais são categorizados nas classes de sistemas reparáveis (reparado ou substituído quando ocorre uma falha) e não reparáveis (substituído após uma falha) (SAFAEI; TAGHIPOUR, 2024). Em itens não-reparáveis, a disponibilidade e a confiabilidade são conceitos equivalentes. Já em itens reparáveis, os estados possíveis da unidade em um determinado tempo ( $t$ ) de análise são “funcionando” ou em manutenção (em processo de reparo). Nesses casos, quando as falhas ocorrem, os sistemas são reparados para uma condição semelhante à que estavam antes da falha (VALADARES *et al.*, 2023), e utiliza-se um valor médio de disponibilidade para a unidade, que pode ser calculado da seguinte forma:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (1)$$

Onde  $A$  representa a disponibilidade média da unidade,  $MTTF$  (*Mean Time to Failure*) corresponde o tempo médio entre falhas e  $MTTR$  (*Mean Time To Repair*) é o tempo médio até concluir os reparos feitos na unidade.

- c) **Mantenabilidade:** refere-se à capacidade de um item ser preservado ou restaurado às condições necessárias para desenvolver suas funções requeridas, seguindo condições preestabelecidas de uso, por meio de manutenção em condições predeterminadas e uso de recursos e procedimentos padronizados.
- d) **Segurança:** trata-se da condição em que não existem situações (ou nível aceitável de risco) que possam resultar em morte, danos ou doenças ocupacionais as pessoas, bem como danos ou perdas de equipamentos ou propriedades.
- e) **Confiança (ou dependabilidade):** descreve um conjunto que envolve a disponibilidade e seus fatores determinantes: o desempenho da confiabilidade, do suporte técnico e da manutenibilidade.

No estudo de confiabilidade, utilizam-se quatro funções para caracterizar o comportamento de variáveis aleatórias: Função de densidade de probabilidade ( $f(t)$ ), Função

de distribuição cumulativa ( $F(t)$ ), Função de confiabilidade ( $R(t)$ ) e Função de risco ( $h(t)$ ). De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011), o tempo até a falha corresponde ao tempo decorrido desde que o item é colocado em operação até a ocorrência de sua primeira falha ( $t, t + \Delta t$ ]. Convenciona-se  $t = 0$  como ponto inicial da operação do sistema. Nesse sentido, pressupõe-se que a variável aleatória  $T$  seja continuamente distribuída com densidade de probabilidade  $f(t)$ . A função de distribuição acumulada (probabilidade de falha em um tempo menor ou igual a  $t$ ) é dada por:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du, t > 0 \quad (2)$$

A função  $F(t)$  representa a probabilidade de falha do item dentro do intervalo  $(0, t]$ . Já a densidade de probabilidade  $f(t)$  é estabelecida da seguinte forma:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt}F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (3)$$

A função de confiabilidade  $R(t)$ , também denominada função de sobrevivência, indica a probabilidade do item sobreviver ao intervalo de tempo  $(0, t)$ , ou seja, com ausência de falhas, e ainda funcionando no tempo  $t$ . Sendo assim, a função de confiabilidade no tempo  $t$  pode ser definida como:

$$R(t) = P(T > t) \quad (4)$$

Portanto,  $R(t)$  é dada por:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du \quad (5)$$

A taxa de falhas instantânea  $h(t)$  (*Hazard function*), também conhecida como função de risco, representa a taxa de falha instantânea em um dado instante  $t$ , dado que o item está operando nesse instante. Esta função pode ser definida em termos da confiabilidade  $R(t)$  e da função densidade de probabilidade  $f(t)$ :

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \quad (6)$$

As distribuições de probabilidade mais comumente utilizadas em estudos de confiabilidade são a Exponencial, *Weibull*, *Gama* e *Lognormal*. Segundo BahooToroody *et al.* (2020), estas distribuições de probabilidade são caracterizadas por um ou mais parâmetros: Localização, que desloca a distribuição de probabilidade ao longo do eixo de tempo; Escala, que expande ou contrai o eixo do tempo; e Forma, que, segundo o nome, indica a forma da função de densidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Geralmente, tais parâmetros são estimados pelos métodos dos momentos, dos mínimos quadrados e da máxima verossimilhança ou MLE (*Maximum likelihood estimators*). Ao conhecer distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a esses tempos, torna-se possível estimar a probabilidade

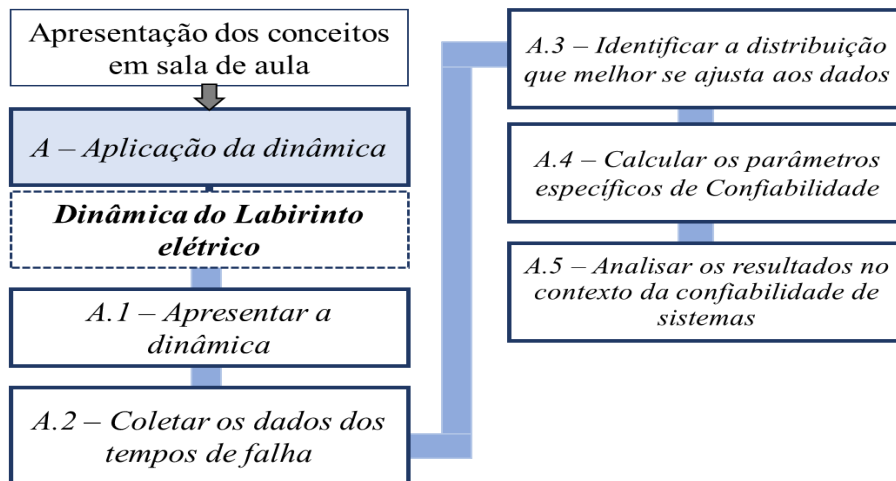
de uma unidade sobreviver em qualquer instante  $t$ . Assim como ocorre com a distribuição Normal, a distribuição de *Weibull* é muito utilizada para modelar uma ampla gama de propriedades de distribuição de falhas de componentes ou sistemas (GADDAFEEA, CHINCHANIKA, 2020; ZHANG; PAN; GOH, 2020; GÓMEZ *et al.*, 2024). Assim, a confiabilidade é uma teoria comum nos cursos de engenharia.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Atualmente, a necessidade de adequar a educação às exigências da sociedade e, em particular, do mercado profissional, tornou-se fundamental para o ensino superior. (GAUDÊNCIO *et al.*, 2017). Para atingir tais objetivos, as metodologias ativas de ensino-aprendizagem têm sido utilizadas, pois contribuem para a autoaprendizagem e possibilita uma maior participação dos alunos. A aprendizagem ativa tornou-se uma estratégia que favorece o desenvolvimento de competências da engenharia, proporcionando uma boa experiência de aprendizagem para os discentes (FREEMAN *et al.*, 2014), bem como a resolução de problemas e pensamento crítico (DOLMANS *et al.*, 2016). Além disso, aumenta a retenção e a compreensão do conhecimento, já que todo o esforço de aprendizagem é exercido pelo próprio aluno (ASOK *et al.*, 2016). Muitas vezes, os professores enfrentam dificuldades sobre como desenvolver atividades de aprendizagem ativa e incorporá-las no seu ensino em sala de aula (GRAEFF, 2010). Nesse sentido, este estudo relata um caso envolvendo uma aplicação didática utilizando o equipamento “Labirinto elétrico” como mecanismo para promover aprendizagem ativa na disciplina de Confiabilidade.

Portanto, o estudo classifica-se como uma abordagem quali-quantitativa, de natureza aplicada e de caráter descritivo (MIGUEL *et al.* 2012; VERGARA, 2013; GIL, 2002). Em relação ao método de Estudo de Caso, busca-se investigar um dado fenômeno baseado em um contexto real contemporâneo de um ou mais casos, o que possibilita desenvolver novas teorias e aprofundar o entendimento sobre o fenômeno estudado (MIGUEL *et al.* 2012). A aplicação ocorreu em uma turma do curso de Engenharia de Produção de uma universidade localizada no sul de Minas Gerais, onde o objetivo foi compreender os conceitos relacionados à confiabilidade de um sistema, bem como analisar os dados dos tempos de falha. A Figura 1 mostra as etapas de como ocorreu essa aplicação didática.

FIGURA 1 – Etapas da aplicação didática



Fonte: Autores (2024)

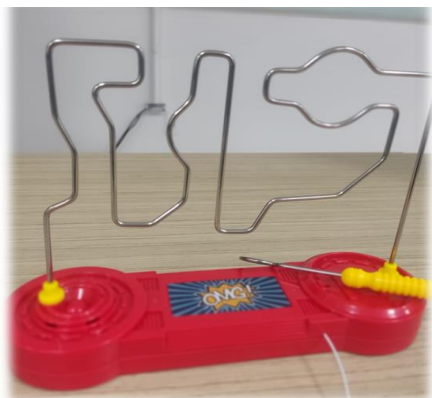
## 4. RESULTADOS

### A – Aplicação da dinâmica

#### A.1 – Apresentar a dinâmica

Inicialmente, foram apresentados os conceitos de confiabilidade na disciplina objeto de estudo com o tempo de cerca de 1 hora/aula. Vale destacar que no Projeto Pedagógico do Curso (PPC), existe a disciplina obrigatória de confiabilidade, que possui como pré-requisito a disciplina de estatística. As demais 2 horas/aula da disciplina foram reservadas para a explanação e aplicação da dinâmica. O labirinto elétrico consistia em um arame sinuoso, onde os alunos tinham o desafio de percorrer com uma argola metálica (Figura 2). O objetivo era mover a argola ao longo do arame sem tocá-lo. Caso ocorresse o contato, um alarme soaria, indicando uma falha no sistema. Além de ser uma ferramenta lúdica, este dispositivo serviu para simular o processo de teste de confiabilidade de um determinado produto ou componente real, coletando dados de tempos de falha.

FIGURA 2 – Labirinto elétrico



Fonte: Autores (2024) (Ark Toys, Brasil)

Antes de iniciar a coleta de dados, a professora realizou algumas simulações para que os alunos se familiarizassem com a dinâmica.

### A.2 – Coletar os dados dos tempos de falha

Durante a aplicação da dinâmica, cada aluno teve a oportunidade de testar o labirinto e a professora ficou responsável por cronometrar o tempo até a falha (quando o alarme soava). Caso o aluno conseguisse chegar ao final do percurso sem tocar no arame, seria registrado o tempo total necessário para concluir o percurso. Ao todo, foram coletados 42 tempos até a falha (em segundos), conforme a Tabela 1. Nenhum aluno conseguiu completar todo o percurso.

TABELA 1 – Tempo até a falha de cada aluno

Aluno	Tempo até a falha	Aluno	Tempo até a falha	Aluno	Tempo até a falha	Aluno	Tempo até a falha
1	6,07	12	7,04	23	2,53	34	6,12
2	25,34	13	5,33	24	31,51	35	6,85
3	4,68	14	9,92	25	19,43	36	10,24
4	6,77	15	2,66	26	12,17	37	20,16
5	6,93	16	4,67	27	29,91	38	9,32
6	18,63	17	8,99	28	18,15	39	23,97
7	9,37	18	5,15	29	4,77	40	8,65
8	25,34	19	6,99	30	11,71	41	11,06
9	12,34	20	7,92	31	7,95	42	11,77
10	10,04	21	8,22	32	4,22		
11	7,42	22	4,35	33	4,60		

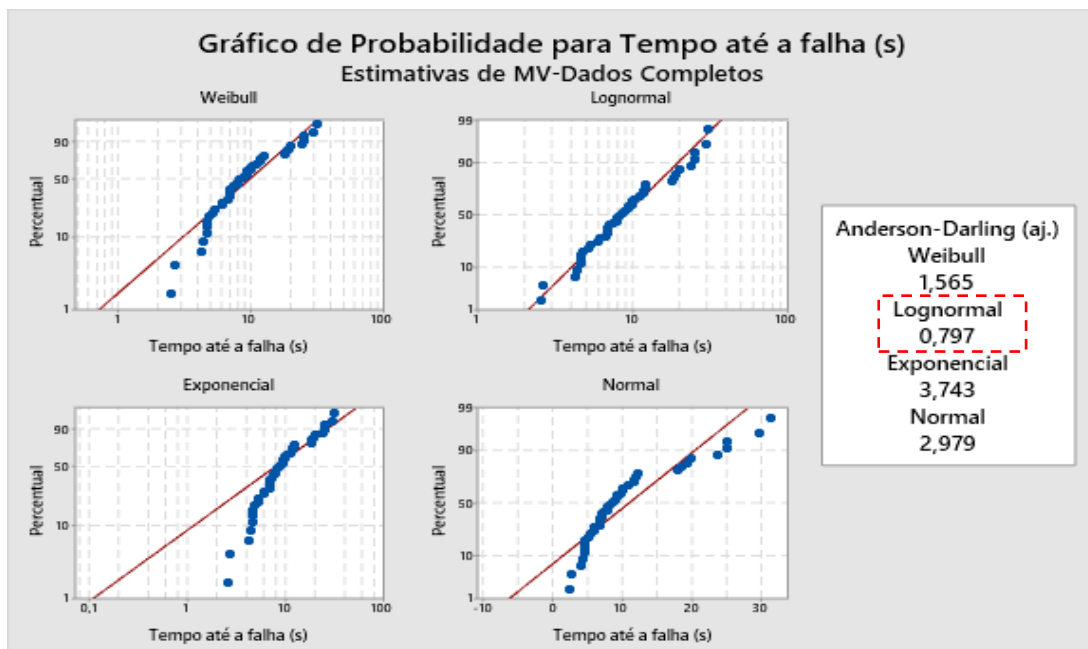
Fonte: Autores (2024)

### A.3 – Identificar a distribuição que melhor se ajusta aos dados

Após a coleta dos tempos de falha na dinâmica do Labirinto elétrico, os dados foram analisados com auxílio do *software* estatístico Minitab ® 19.0. Tais análises permitiu entender a distribuição das falhas e calcular a confiabilidade do "sistema" representado pelo Labirinto elétrico. Inicialmente, identificou-se a distribuição que melhor se ajusta aos dados de tempo de falha (Figura 3). Vale ressaltar que especificamos as distribuições comumente utilizadas e que já estão padronizadas no *software*: *Weibull*, *Lognormal*, *Exponencial* e *Normal*.

Utilizou-se o critério de Anderson-Darling (AD) para avaliar a aderência de cada distribuição aos dados coletados. Quanto menor for o valor calculado, isto é, mais próxima a distribuição estiver dos dados coletados, melhor será o seu ajuste (HAWKINS, 2023). Neste caso, a distribuição que apresentou o melhor ajuste aos dados coletados foi a *Lognormal*, obtendo um valor de AD de 0,797.

FIGURA 3 – Gráfico de Identificação de distribuição

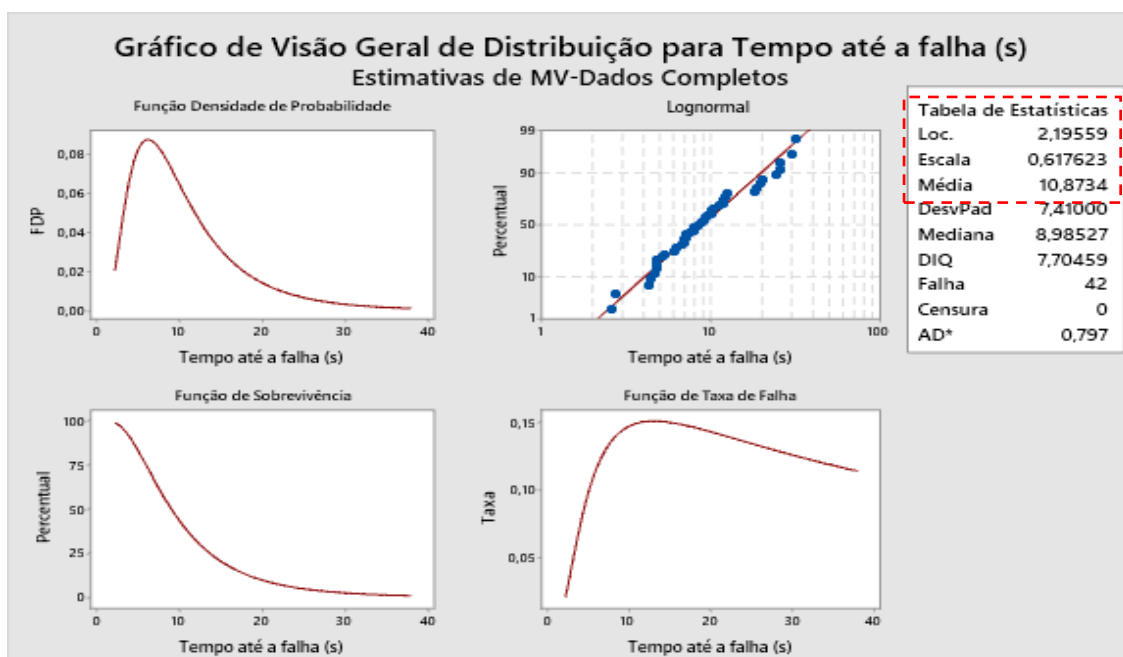


Fonte: Autores (2024)

#### A.4 – Calcular os parâmetros específicos de confiabilidade

No próximo passo, os alunos analisaram, com o auxílio da professora, os parâmetros específicos dessa distribuição que foram utilizados para os cálculos de probabilidade (Figura 4). Tais parâmetros são essenciais para caracterizar a distribuição *Lognormal* por meio das funções de confiabilidade, além de calcular as probabilidades de sobrevivência do sistema.

FIGURA 4 – Gráfico de visão geral de distribuição para os tempos até a falha



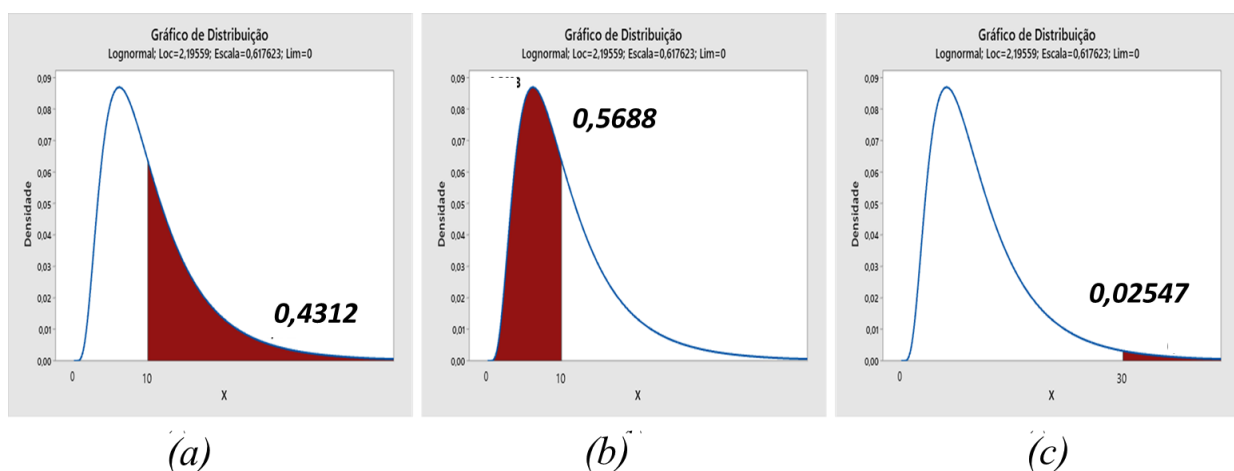
Fonte: Autores (2024)

Na Figura 4, são exibidos os gráficos de Função Densidade de Probabilidade (FDP), função de Sobrevivência (ou Confiabilidade) e função de Risco (ou taxa de falha). A FDP ( $f(t)$ ) revela a distribuição dos dados, informando a probabilidade relativa de ocorrência para diferentes valores de tempos até a falha. Na distribuição *Lognormal*, o gráfico FDP exibe uma assimetria positiva, concentrando a maioria dos dados em valores menores, com uma cauda longa estendendo-se em direção a valores maiores, onde a probabilidade de ocorrência é mais baixa. A função de Sobrevivência ( $R(t)$ ) mostra a probabilidade de um sistema ou componente não falhar além de um tempo específico  $t$ , sendo importante para estimar a vida útil e a confiabilidade. Inicialmente, essa função será alta (maior confiabilidade) e diminui suavemente à medida que  $t$  aumenta. Por fim, a função de Risco ( $h(t)$ ) indica a taxa instantânea de falha ao longo do tempo, possibilitando compreender padrões de falha e comportamento do sistema. Observa-se que, no início, exibe um padrão crescente de falhas que atinge um pico, e depois, há uma redução gradual.

#### A.5 – Analisar os resultados no contexto da confiabilidade de sistemas

Os parâmetros da distribuição *Lognormal* foram: **Loc** = 2,19559, **Escala** = 0,617623, e **Média** = 10,8734. Portanto, o tempo médio esperado até que ocorra uma falha (MTTF) foi de aproximadamente 10,87 segundos. Discutiu-se em sala, qual era a probabilidade desse sistema operar (sobreviver) e de falhar em até 10 segundos de teste. Também, qual era a probabilidade desse sistema falhar após 30 segundos de teste. A Figura 5 mostra os gráficos de distribuições de probabilidade utilizando os parâmetros da Localização e Escala da distribuição *Lognormal*.

FIGURA 5 – Gráfico de distribuições de probabilidade



Fonte: Autores (2024)

Conforme a Figura 5, temos que: (a) a probabilidade do sistema de sobreviver em até 10 segundos de teste era de 0,4312, indicando que a probabilidade do sistema não falhar dentro dos primeiros 10 segundos de teste é de 43,12%; (b) a probabilidade do sistema falhar em até 10 segundos era de 0,5688, indicando que a probabilidade do sistema falhar dentro dos primeiros 10 segundos de teste é de 56,88%; (c) a probabilidade de falha após 30 segundos de teste era de 0,02547, ou seja, após 30 segundos de teste, a probabilidade do sistema falhar é de 2,55%. Percebeu-se que com o decorrer do tempo, havia uma redução da probabilidade de falha.

Por fim, assumiu-se que houvesse uma taxa de falha constante assim como ocorre na distribuição exponencial. A taxa de falha ( $\lambda$ ) é inversamente proporcional ao MTTF ( $1/\text{MTTF}$ ), portanto, se o MTTF foi de 10,87 segundos, então a taxa de falha é de 0,09196 ( $9,2 \times 10^{-2}$  falhas por segundos). Isso significa que, em média, podia-se esperar aproximadamente 0,092 falhas a cada segundo de operação do sistema.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica do Labirinto elétrico, relacionada à análise de confiabilidade, proporcionou uma experiência de aprendizagem ativa e produtiva para os alunos. Por meio deste estudo de caso, foi possível demonstrar uma aplicação didática simulando um cenário real de teste de um determinado produto/componente, o que proporcionou aos alunos uma visão prática de como analisar a confiabilidade e trabalhar com os tempos de falha. A participação ativa dos alunos reforça a aprendizagem através da experiência didática, permitindo uma compreensão mais profunda e aplicada dos conceitos teóricos apresentados em aula. Essa dinâmica obteve avaliação e *feedbacks* positivos, destacando-se o dispositivo como um mecanismo eficaz para ensinar os conceitos de confiabilidade de um sistema.

Cada aluno teve o desafio de percorrer o Labirinto elétrico sem tocar no arame, o qual acionava um alarme em caso de falha. Coletou-se 42 tempos de falha (em segundos), e posteriormente, analisou-se os dados no *software* estatístico Minitab® 19.0. A distribuição *Lognormal* mostrou-se a que melhor se ajustou aos dados de tempo de falha, com um valor de 0,797 para a estatística de Anderson-Darling. Um gráfico de distribuição geral foi gerado para visualizar as funções de confiabilidade e encontrar os parâmetros da distribuição *Lognormal* (Loc = 2,19559, Escala = 0,617623, Média = 10,8734). Esses parâmetros permitiram calcular a probabilidade do sistema sobreviver ou falhar em diferentes intervalos de tempo. Com base no MTTF (tempo médio até a falha) de 10,87 segundos e assumindo-se uma taxa de falha

constante, obteve-se uma taxa de falha de 0,0919 (ou  $9,2 \times 10^{-2}$  falhas por segundo), indicando que, em média, ocorriam aproximadamente 0,092 falhas por segundos durante a operação do sistema.

Como limitações, o estudo de caso abordou apenas a análise dos dados de tempos falhas sem censura. Novos estudos podem incluir a análise de dados censurados, utilizando censura à direita. Também, é possível registrar a distância percorrida do percurso (arame) do Labirinto elétrico até o momento da falha, e não apenas o tempo. Além disso, sugere-se que novos labirintos elétricos sejam adquiridos para que seja possível dividir os alunos em equipes, permitindo a comparação dos resultados. O aprendizado pode ser complementado a partir da disponibilização de mais exercícios para que os alunos pratiquem os conceitos abordados. Por fim, para que o processo de aprendizagem seja facilitado, a disciplina teórica pode ser desdobrada em uma parte prática, com turmas menores de até 15 alunos, por exemplo.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A.; MITRA, D.; GANGULY, A. A model for failure-time data with two dependent failure modes and prediction of future failures. **Quality Engineering**, v. 2024, p. 1-14. DOI: 10.1080/08982112.2024.2321839.

ASOK, D.; ABIRAMI, A. M.; ANGELINE, N.; LAVANYA, R. Active learning environment for achieving higher-order thinking skills in engineering education. In: **2016 IEEE 4th International Conference on MOOCS, Innovation and Technology in Education (MITE)**, Madurai, India, p. 47-53, 2016. DOI: 10.1109/MITE.2016.020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ABEPRO). **Engenharia de Produção: grande área e diretrizes curriculares**, 1998. Disponível em: <<https://abepro.org.br/arquivos/websites/1/diretrcurr19981.pdf>>. Acesso em: 10 Jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:1994**. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BAHOOTOROODY, A.; ABAEI, M. M.; ARZAGHI, E.; SONG, G.; DE CARLO, F.; PALTRINIERI, N.; ABBASSI, R. On reliability challenges of repairable systems using hierarchical bayesian inference and maximum likelihood estimation. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 135, p. 157-165, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.039>.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Resolução N° 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2019.

DOLMANS, D. H. J. M.; LOYENS, S. M. M.; MARCQ, H. *et al.* Deep and surface learning in problem-based learning: a review of the literature. **Advances in Health Sciences Education**, v. 21, p. 1087-1112, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9645-6>.

DROGUETT, E. L.; MOSLEH, A. Análise Bayesiana da confiabilidade de produtos em desenvolvimento. **Gestão & Produção**, n. 1, v. 13, p. 57-69, 2006.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FREEMAN, S.; EDDY, S. L.; McDONOUGH, M.; SMITH, M. K.; OKOROAFOR, N.; JORDT, H.; WENDEROTH, M. P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 23, p. 8410-8415, 2014. DOI: [10.1073/pnas.1319030111](https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111).

GADDAFEE, M.; CHINCHANIKAR, S. An Experimental Investigation of Cutting Tool Reliability and its Prediction Using Weibull and Gamma Models: A Comparative Assessment Materials Today. **Proceedings**, v. 24, p. 1478-1487, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.467>

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GAUDÊNCIO, J. H. D.; SCHEIDEGGER, A. P. G.; PINTO, C. P.; TURRIONI, J. B.; TURRIONI, A. M. S. Proposal of statistical analysis to support the assessment method of a Brazilian Industrial Engineering course. **Production**, v. 27, e20162189, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.218916>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓMEZ, Y. M.; GALLARDO, D. I.; MARCHANT, C.; SÁNCHEZ, L.; BOURGUIGNON, M. An in-depth review of the Weibull model with a focus on various parameterizations. **Mathematics**, v. 12, n. 1, p. 56, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/math12010056>.

GRAEFF, T. R. Strategic teaching for active learning. **Marketing Education Review**, v. 20, n. 3, p. 265-278, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2753/MER1052-8008200307>.

- HAWKINS, D. M. The distribution of the Anderson Darling statistic. **Communications in Statistics - Simulation and Computation**, p. 1-5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610918.2023.2245174>.
- HOU, X.; WANG, Y.; ZHANG, P.; QIN, G. Non-probabilistic time-varying reliability-based analysis of corroded pipelines considering the interaction of multiple uncertainty variables. **Energies**, v. 12, n. 10, p. 1965, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12101965>.
- HUSSAIN, A. Z. M. O.; MURTHY, D. N. P. Warranty and optimal reliability improvement through product development. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 38, n. 11-13, p. 1211-1217, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(03\)90122-1](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(03)90122-1)
- KARIM, Md Rezaul. Divide and recombine approach for warranty database: Estimating the reliability of an automobile component. **Data Science and Management**, v. 7, n. 2, p. 119-128, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2023.12.002>
- MIGUEL, P. C. A. *et al.* **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. 265 p.
- MONTGOMERY, D. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- PATIL, R.B.; KOTHAVALA, B.S.; WAGHMODE, L.Y.; JOSHI, S.G. Reliability analysis of CNC turning center based on the assessment of trends in maintenance data: A case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 34, n. 9, p. 1616-1638, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2016-0126>.
- SAFAEI, F.; TAGHIPOUR, S. Reliability and maintainability estimation of a multi-failure-cause system under imperfect maintenance. **Quality and Reliability Engineering International**, p. 1-30, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.3595>.
- SOUZA, L. L.; GAUDÊNCIO, J. H. D.; SILVA, C. E. S. Análise da confiabilidade aplicada em dados de falhas de ferramentas de corte de aços endurecidos.. In: IEPG SUMMIT: construindo o futuro com inovação e sustentabilidade. **Anais...** Itajubá-MG: IEPG/UNIFEI, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/iepg-summit-2023-388661/755440-analise-da-confiabilidade-aplicada-em-dados-de-falhas-de-ferramentas-de-corte-de-acos-endurecidos/>. Acesso em: 01 jul. 2024.
- VACCARO, Guilherme Luís Roehle. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1997.
- VALADARES, D. G. d. O.; QUININO, R. C.; CRUZ, F. R. B.; HO, L. L. Repairable system analysis using the discrete Weibull distribution. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 72, n. 4, p. 1507-1514, 2023. DOI: 10.1109/TR.2023.3236156.
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

WANG, X., WANG, B., LV, C. *et al.* Research on tool change time and the dynamic reliability of the machining process based on sensitivity analysis. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 89, p. 1535–1544, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9177-0>

ZHANG, C. W.; PAN, R.; GOH, T. N. Reliability assessment of high-quality new products with data scarcity. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 14, p. 4175-4187, 2020. DOI: 10.1080/00207543.2020.1758355

ZHANG, X.; WANG, W.; ZHANG, W. Mission reliability analysis of flexible manufacturing cells considering component reliability, task demand, and product quality. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 124, p. 4403–4414, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10060-2>