



## APLICAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO DE FMEA DE PROJETO NO DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ DE SEIS EIXOS

### APPLICATION OF THE FMEA ANALYTICAL DESIGN METHOD IN THE DEVELOPMENT OF A SIX-AXIS ROBOT

Jean Carvalho Santos de Oliveira<sup>1</sup>

Josué Farah<sup>2</sup>

#### RESUMO

O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo mostrar a relevância da aplicação do método analítico chamado FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) de Projeto ou Modo de falha e análise de efeitos no desenvolvimento de um projeto que pode trazer um grande auxílio para analisar as modelagens e montagens realizadas e desta maneira tornar possível um projeto assertivo avaliar as aplicações dos componentes prever e detectar possíveis falhas que possam acontecer. Prever detectar e eliminar qualquer que seja a falha é essencial, pois qualquer detalhe que não for observado, por menor que ele seja, pode levar o projeto a um fim catastrófico. Levando tudo isso em conta, o uso do FMEA de projeto detecta com muita precisão possíveis erros ou falhas no seu momento de desenvolvimento, no ambiente de modelagem tridimensional (3D), podendo assim proporcionar ações de corretivas mais eficazes e em tempo hábil. De maneira geral, podemos dizer que, o FMEA de projeto é um método analítico que usa de forma resumida e organizada os conhecimentos dos integrantes que contribuem para criação e desenvolvimento do projeto. Assim, podemos formalizar e documentar as considerações que são geralmente agregadas durante a jornada de desenvolvimento do projeto para que ocorra uma melhor análise de desenhos tridimensionais que são de grande importância quando se trata de detectar erros ou falhas, no dimensionamento ou forma construtiva na etapa de desenvolvimento. O presente artigo aborda a aplicação da ferramenta FMEA à etapa desenvolvimento do projeto de um braço robótico de seis eixos.

**Palavra-chave:** FMEA de projeto. Análise de falhas. Braço robótico de seis eixos

#### ABSTRACT

The development of this work aims to show the relevance of the application of the analytical method called Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Design or Failure Mode and Effects Analysis in the development of a project can bring a great help to, analyze the modeling and assemblies performed and thus making possible an assertive design evaluating

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia em Mecânica de Precisão na Faculdade de Tecnologia SENAI Suíço-Brasileira "Paulo Ernesto Tolle". E-mail: Jean\_.cso@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente na Faculdade de Tecnologia SENAI Suíço-Brasileira "Paulo Ernesto Tolle". E-mail: josue.farah@sp.senai.br



the applications of the components and predicting and detecting possible failures that may happen. Predicting and eliminating whatever the failure is essential is that any detail not observed, however small, can bring the project to a catastrophic end. Taking all of this into account, the use of design FMEA can be very accurately detecting possible errors or failures at their developmental moment in the 3D modeling environment, and thus can have a more effective and timely remediation action. In general, we can say that project FMEA is an analytical method that uses in a summarized and organized way the knowledge of the members that contribute to the creation and development of the project. Thus we can formalize and document the considerations that are generally aggregated during its development journey so that a better analysis of three-dimensional drawings that are of great importance when it comes to detecting errors or failures, in sizing or constructive form in the development stage occurs.

**Keywords:** Design FMEA. Fault Analysis. Six Axis Robotic Arm

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente uso de novas tecnologias no universo industrial vem exigindo que empresas aprimorem cada vez mais seus bens e produtos com inovações, tecnologia, buscando um baixo custo e fazendo que não se perca eficiência e qualidade e desta forma continuar atendendo seu público alvo. Como o estudo desenvolvido teve como objetivo o desenvolvimento de um braço robótico de seis eixos, dentro de um espaço de tempo determinado com alto índice de assertividade, o FMEA foi de extrema importância. Esta ferramenta auxilia nas ações para que a análise do projeto seja feita de maneira organizada e objetiva.

Aliando esse pensamento ao desenvolvimento do projeto e produto, e aplicando ferramentas de melhorias podemos perceber um alto índice de positividade no resultado final, este artigo é uma forma clara e sucinta para esclarecer e exemplificar o uso da ferramenta FMEA de projeto, para detectar possíveis falhas durante o desenvolvimento do braço robótico objeto de projeto de conclusão de curso com prazo de execução máxima de 12 meses. Os seis primeiros meses foram destinados às pesquisas e embasamento teórico para início do desenvolvimento do modelo 3D no qual foi aplicada a ferramenta FMEA. Uma vez que o projeto total ainda se encontra em execução, os seis meses finais estão sendo destinados à confecção final com usinagem dos componentes, montagem do protótipo, visando validar a eficácia do FMEA, em análise de projetos similares em âmbitos educacionais e com prazos determinados. Os resultados de validação serão objeto de trabalho futuro.



## 2 DESENVOLVIMENTO

Considerando a abordagem dada na introdução deste artigo, o objeto de estudo foi um projeto de conclusão de curso onde se tem 12 meses de prazo para execução determinados pelo calendário escolar com prazos extremamente restritos. A grande necessidade de acerto direcionou ao uso do FMEA de projeto, por se tratar de um dos métodos mais eficientes, quando se trata de ferramentas que utilizam as técnicas de baixo risco na revisão de um projeto.

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma da ferramenta que previne problemas, falhas, custo abusivo de um projeto e identifica soluções imediatas para erros.

De acordo com Slack (2002), o método Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecido como FMEA de projeto (*Failure Mode and Effect Analysis*), busca evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto.

Resumidamente podemos dizer que a técnica usada no FMEA é basicamente identificar erros e falhas eminentes antes da produção de peças ou produtos em busca de uma maior classe de confiabilidade, eliminando as possibilidades de que seu produto ou projeto falhe, sendo assim é uma excelente ferramenta que visa à otimização do projeto ou produto. Com a organização e conhecimento de uma equipe que integram o desenvolvimento do seu projeto, é feita a análise do projeto e assim podendo ser conhecido pontos fortes e fracos, tendo uma grande probabilidade de reconhecimento de falhas potenciais e pontos cruciais, sendo assim fundamental para que possa ser aplicado o FMEA para todas as eventuais causas de falhas e agindo diretamente no ponto usando indicadores de avaliação de risco e por meio dos mesmos discutindo e tomando as devidas medidas determinadas por uma equipe para a correção da falha e melhoria do projeto.

Para uma maior evidência no resultado, podemos responder diretamente a duas etapas entre o FMEA de projeto e o FMEA do processo, apesar do uso das mesmas ferramentas, os objetivos são bem diferentes, identificados através das seguintes perguntas:

No caso do FMEA de projeto deve-se perguntar:

- Como esse projeto pode deixar de fazer o que deve fazer?
- O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais do projeto?

No caso do FMEA de processo a pergunta é diferente:

- Como esse processo pode deixar de fazer o que deve fazer?
- O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais do processo?

Serão obtidos resultados totalmente diferentes se realizado em FMEAs diferentes, impedindo com que os objetivos alcançados se confundam entre Processo e Projeto, como veremos ao decorrer do artigo com a implantação da ferramenta do FMEA de Projeto.



O FMEA a seguir demonstra a análise do projeto de desenvolvimento durante o desenvolvimento de braço robótico com movimentos em seis eixos como uma das entregas de um projeto de conclusão de curso executado por alunos do Curso Superior Tecnólogo de Mecânica de Precisão da Faculdade SENAI Suíço-Brasileira Paulo Ernesto Tolle, com o objetivo de estudo de movimentos lineares capazes de executar a usinagem de materiais não metálicos e de baixa densidade que não demandem grandes esforços.

Foi levado em consideração que para construção do braço robótico seriam necessárias peças oriundas de vários modelos de processo de fabricação como o torneamento, o fresamento, o corte a laser e dobra, aliados a montagem e ajustes.

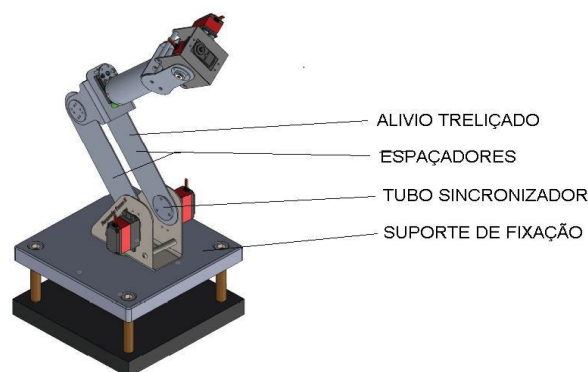
Aliado a isto foi feita uma otimização topológica criteriosa com objetivo de alívio de massa para atender ao torque dos servos motores utilizando todos os componentes que foram analisados por ferramentas disponíveis no próprio software *SolidWorks*, no módulo de simulação, que tem ferramentas capazes de analisar pontos de rupturas, pontos de fragilidade, resistência, fadigas e falhas de material e seus componentes, verificação de interferências e montagens. Tais ferramentas auxiliam e diminuem as chances de acidentes durante e após testes realizados na etapa de aprovação gerando informações extremamente importantes para que se obtenha um dimensionamento estrutural do projeto, pois cada resultado orienta mudanças de grande significância na geometria dos componentes, como espessuras de chapas, dimensionamento de alívio de massa e de sistemas de mancalizações.

### Análise do projeto

Após a obtenção de um projeto de acordo com o que foi idealizado no escopo inicial, este foi submetido a análise de falha e melhorias com o uso da ferramenta FMEA. Os resultados desta análise serão apresentados a seguir.

O FMEA é uma ferramenta que possibilita melhorias no projeto e indica graus de severidade encontrados em pontos fracos do projeto, possibilitando alterações antes da etapa de fabricação.

Figura 1-Projeto do braço robótico de seis eixos antes da revisão feita pelo FMEA. Os pontos identificados mostram as falhas apontadas pelo FMEA que serão discutidas posteriormente.



Fonte: do Autor



A figura 1 representa o desenho 3D, projetado pelo respectivo grupo de formandos antes da aplicação do FMEA, o mesmo está tomando forma e funcionalidade através de pesquisas de mercado e fornecedores de produtos similares as otimizações em simulações em *software* como já citado, tendo buscado uma área de atuação abrangente, a mesma foi desenvolvida considerando normas e conhecimentos, porém nem todos os movimentos e aplicações podem ser claramente visualizados inicialmente devido a essa falta de percepção na movimentação no espaço. Submetendo o projeto a uma análise do FMEA de projeto, onde foram analisados todos os movimentos, evidenciadas possíveis falhas e dificuldades que possam acontecer no decorrer da confecção do protótipo.

É importante salientar que após a aplicação do FMEA de projeto é crucial a convocação de profissionais das áreas envolvidas sejam estas, operacional, gerencial, desenvolvedores e engenheiros para formar uma equipe multidisciplinar, onde o foco principal é realizar apontamentos de possíveis falhas e dificuldades na execução e funcionamento, sejam elas, da parte construtiva, do funcionamento, financeira, fabril, manutenção e entre outros quaisquer eventos que possam impossibilitar a qualidade e a garantia do projeto. Tratando-se de trabalho de conclusão de curso os conhecimentos necessários foram trazidos pelos alunos do grupo de trabalho, a partir de suas experiências profissionais e acadêmicas e professores.

Esses apontamentos, normalmente, costumam acontecer com análise do projeto através de desenhos técnicos, desenhos de conjunto e quanto maior a sua complexidade, o uso dos desenhos 3D facilitam a percepção dos observadores.

No FMEA de projeto são feitas as seguintes observações das falhas detectadas:

1. Definido as funções
2. Apontados as possíveis falhas
- 3.
4. Identificando os modos de falha
5. Descrevendo seus efeitos
6. Isolando as causas
7. Estimando sua severidade
8. Estimando sua ocorrência
9. Estimando sua detecção
10. Calculando o RPN (*risk priority number* - Grau de Prioridade e Risco)

E por fim, a construção do FMEA.

Conforme Pahl et al., (1996) “O projeto de produto deve ser desenvolvido em quatro fases: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Entretanto, recomenda-se aplicar o método abordado neste estudo na fase de projeto preliminar, após refazer a fase de esclarecimento da tarefa”.

### **Construção e análise do FMEA**

O FMEA montado a seguir foi desenvolvido segundo o modelo mostrado na figura 1.



Figura 2-Quadro de análise do FMEA do projeto do braço robótico

ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DA FALHA POTENCIAL  
(FMEA DO PROJETO)

Número da FMEA \_\_\_\_\_

Sistema: Robótico

Subsistema: Braço robótico 6 eixos

Componente: Conjunto braço robótico 6 eixos

Projetista Responsável \_\_\_\_\_

Data da FMEA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Preparado por: \_\_\_\_\_

Nome do Item	Função do Item	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial (ais) de Falha	Causa(s) Mecanismo(s) Potencial(s) de Falha	O C	S E	D E	R	Ações Recomendadas	Resultados da Ação				
										Ações Tomadas	O C	S E	D E	R P
Tubo sincronizador	Sincronizar o movimento rotativo dos braços primários	Sua inexistência ocasiona liberdade dos motores girarem fora de sincronização	Risco de falha de posicionamento dos braços primários	Equipamento não desenvolvido e empregado pelo projetista	5	4	6	120	Adicionar um tubo sincronizador responsável por rotacional os dois braços primários simultaneamente	Foi adicionado ao projeto um tubo ligando os braços primários	1	1	1	1
Suporte de fixação	Suportar toda a estrutura e ter liberdade de movimentação com suavidade	Forma construtiva impede a movimentação da estrutura com a liberdade desejada	Risco de impacto entre base e o braço robótico podendo causar deformações na geometria do equipamento	Base com forma construtiva muito grande	7	7	2	98	Modificando geometria da peça, deixando livre a área de usinagem do braço	Modificou-se a geometria quadrada por uma circular, aumentado à área útil	1	1	1	1
Alívio treliçado	Transmissão de movimento	Peso excessivo	Perda de rendimento e excesso de esforço dos motores	Braço robótico com peso acima do suportado pelo motores	5	8	3	120	Confeccionar treliças ao decorrer do comprimento do braço primário	Foi confeccionado rasgos para redução de peso do braço primário	2	1	1	2
Espaçadores	Dar rigidez a estrutura do braço primário	Dimensionamento construtivo possibilita vibrações e deformações indesejáveis	Aparecimento de trincas e rupturas	Equipamento não desenvolvido e empregado pelo projetista	7	8	2	168	Adicionar espaçadores para união e fixação dos braços primários	Foi adicionado ao projeto espaçadores ligando os braços primários	1	1	1	1

Fonte: FARAH, J. O uso da FMEA de Projeto no desenvolvimento de Ferramentas de estampagem de metais. Corte e Conformação de Metais, 2014



Podemos observar, na figura 2, a análise dos índices de ocorrência, severidade e detecção de erro e falhas do projeto de braço robótico com movimentação em seis eixos, podemos notar que para cada um deles foram atribuídos valores significantes de 1 a 10 de acordo com uma escala determinada. A multiplicação desses fatores, descrito na tabela, será alcançado um dado chamado de RPN onde quanto mais alto for este valor a falha será de maior impacto e assim determinando a ordem de prioridade das ações a serem tomadas.

Dentre as falhas apontadas (figura 2), podemos acompanhar no exemplo a seguir, como foi obtido o RPN da falha descrita como: suporte de fixação.

Ocorrência: 7	RPN = Ocorrência x Severidade x Detecção
Severidade: 8	RPN=7X8X2
Detecção: 2	RPN = 168

Levando em consideração que esses dados foram retirados de um projeto ainda em fase de desenvolvimento, todas as ações propostas foram aplicadas devidamente. Considerando o RPN podemos tomar ações mais precisas, agindo diretamente onde estão as falhas agravantes e realizando melhorias no projeto do braço robótico.

As definições correspondentes aos números de Escala de Severidade que aparecem na figura 2 são exemplos que podem ou não ser aplicados às organizações dos leitores. As definições nessa escala devem refletir a natureza dos produtos que são projetados e fabricados pelas organizações. Sugere-se que esses exemplos sirvam como guia para o desenvolvimento de uma Escala de Severidade específica a organização. (PALADY, 1997, P. 60).

A seguir estão as tabelas utilizadas para cálculo do RPN.

Figura 3-Descrição da Escala de Avaliação de Ocorrência

	Grau
Efeito não percebido pelo cliente.	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; mas não faz que procure o serviço.	2
Efeito insignificante, que perturba o cliente mas não faz que procure o serviço.	3
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente, não faz com que o cliente procure o serviço.	5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que o cliente procure o serviço.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a	7



uma falha grave ou uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	
Efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	9
Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.	10

Fonte: Palady (1997, p. 71)

Figura 4-Descrição da Escala de Severidade

	Grau
Extremamente remoto, altamente improvável.	1
Remoto, Improvável.	2
Pequena chance de ocorrência.	3
Pequeno número de ocorrências.	4
Espera-se um número ocasional de falhas	5
Ocorrência moderada.	6
Ocorrência frequente.	7
Ocorrência elevada.	8
Ocorrência muito elevada.	9
Ocorrência certa.	10

Fonte: Palady, (1997, p. 61)

Figura 5-Descrição da escala de Detecção

	Grau
É quase certo que será detectado.	1
Probabilidade muito alta de detecção.	2
Alta probabilidade de detecção.	3
Chance moderada de detecção.	4
Chance média de detecção.	5
Alguma probabilidade de detecção.	6
Baixa probabilidade de detecção.	7
Probabilidade muito baixa de detecção.	8
Probabilidade remota de detecção.	9
Detecção quase impossível.	10

Fonte: Palady, (1997, p. 81)

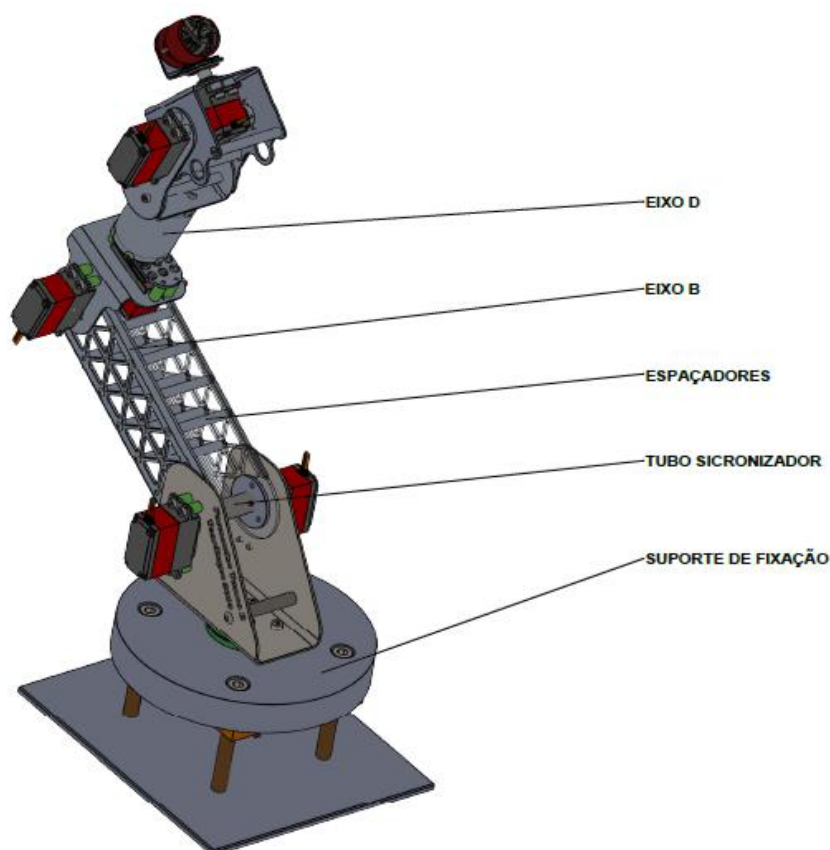
Um valor muito baixo na Escala de Detecção sugere que esse modo de falha ou suas causas certamente serão detectados antes de chegarem ao cliente ou à operação seguinte ao local onde o problema foi criado o valor mais alto na escala que é dez sugere que a forma mais provável de a organização tomar conhecimento do problema ocorre quando ela recebe reclamações dos clientes quanto mais alto o valor maior o custo da falha e maior parte do custo dessa falha não é incluída no sistema contábil. Qual o custo da falha associado a cada reclamação dos clientes em termos de percepção dos clientes ou de fatia de mercado. (PALADY, 1997, p. 60)

### Alteração do projeto com base no FMEA

Posteriormente o levantamento dos resultados obtidos pelo FMEA, pudemos tomar decisões para continuidade do projeto, realizar as respectivas mudanças e melhorias e apresentar um modelo do braço robótico com movimento em seis eixos, corrigido e verificado. Todas as ações indicadas pela ferramenta surtiram o efeito esperado minimizando a possibilidade de falhas.

Podemos notar na figura 6, a seguir, o resultado obtido com as melhorias executadas no projeto inicial.

Figura 6 - Projeto do braço robótico de seis eixos após a revisão feita pelo FMEA. Os pontos identificados mostram onde foram executadas alterações.



Fonte: Dados do Autor



A figura 6 representa o desenho 3D, após as indicações, alterações e aplicação do FMEA.

Uma vez que aplicadas as alterações necessárias no projeto e tomadas as decisões de dar continuidade ao mesmo, foram gerados os documentos necessários para dar início ao seu processo de fabricação. Mesmo durante e após o uso da ferramenta FMEA, devemos sempre observar e acompanhar todos os passos do projeto, pois a qualquer momento pode se fazer alguma intervenção com o objetivo de uma melhoria contínua, isso quer dizer que mesmo após a aprovação do FMEA, os riscos do projeto são reduzidos, porém existe uma possibilidade, mesmo que seja pequena, que alguns erros e falhas que não foram detectados no FMEA sejam detectados na fase de execução, porém havendo um acompanhamento constante, correções e decisões poderão ser tomadas de maneira rápida e eficaz.

## 6. Conclusões

O uso da ferramenta FMEA de projeto foi de grande importância para melhoria do projeto braço robótico com movimento de seis eixos citado anteriormente como projeto de conclusão de curso. O uso do FMEA possibilitou identificações das falhas e a geração de um gráfico de riscos eminentes, fazendo assim, com que ações em devidos pontos cruciais fossem devidamente tomadas, evitando o registro de ocorrências em uso. Sendo a aplicação do FMEA uma das últimas etapas aplicadas sobre o projeto, faz com que a realização do mesmo seja concretizada com o mínimo de falhas possíveis.

Um grande ganho para o grupo executor do projeto foi a maturidade adquirida na aplicação da ferramenta FMEA sendo esta utilizada em diversas áreas produtivas. Tal maturidade só foi possível devido ao empenhados no desenvolvimento e execução do projeto, sempre buscando conhecimento e experiência para gerar a melhoria significativa sob o processo aqui gerado.

## 7. Referências

FARAH, J. O uso da FMEA de projeto no desenvolvimento de ferramentas de estampagem de metais: FMEA de projeto. **Corte e conformações de Metais**, São Paulo, v. 10, n. 111, p. 20-29, jul. 2014. Mensal.

PAHL, G. *et al.* **Engineering design: a systematic approach**. Londres: Springer, 1996. 544 p.

PALADY, P. **FMEA: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAN, 1997. 270 p.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em Manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais**. São Paulo: Atlas, 2002. 754 p.

### Sobre os autores:

---

#### <sup>1</sup> Jean Carvalho Santos de Oliveira



Cursando atualmente a Graduação em Tecnologia em Mecânica de Precisão pela Faculdade de Tecnologia SENAI Suíço-Brasileira “Paulo Ernesto Tolle” (2019). Tem experiência na área de Moldes Plásticos, com ênfase em Planejamento Construção e Manutenção.

#### <sup>2</sup> Josué Farah



Possui graduação em Projetos Mecânicos pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (2007) com especialização em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional, UNINTER, (2014). Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia Mecatrônica, lecionando as disciplinas de Projetos no curso Tecnológico em Mecânica de Precisão. Tem experiência nas áreas de Engenharia de projetos, com sólido conhecimento em ferramentas de estampagem e moldes de injeção.