



UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA POKA-YOKE PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO EM SALA DE AULA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5374

Autores: NELSON WILSON PASCHOALINOTO, JOYCE ZAMPIROLI SCRIVANO, MARCELO MARQUES GOMES, JORGE KAWAMURA, CAIO JORGE GAMARRA, DAVID GARCIA PENOF

Resumo: Os processos produtivos são muito estudados visando o aumento de produtividade e a diminuição de perdas. As ferramentas de gerenciamento de sistemas produtivos quando aplicadas promovem melhorias com mudanças que impactam no tempo e custos envolvidos. O sistema Toyota de Produção é um exemplo de melhoria contínua e a ferramenta Poka-Yoke foi utilizada neste trabalho com o intuito de mostrar aos alunos do terceiro ano de engenharia de produção uma forma de minimizar perdas e otimizar os processos na prática. Um problema de montagem e desmontagem vivenciados em uma linha de produção de karts foi identificado pelos estudantes e, a partir da respectiva análise, o desenvolvimento de um novo produto foi pensado para contribuir com o aumento da produtividade da linha de produção. Um estudo ergonômico foi efetuado como forma de avaliar a postura do operador no respectivo posto de trabalho. Houve um maior engajamento dos estudantes, tornando as aulas mais prazerosas e proveitosas. A participação e o entendimento dos conceitos puderam ser melhores explorados e entendidos.

Palavras-chave: Poka-Yoke, Sistema Toyota de Produção, Lean Manufacturing

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA POKA-YOKE PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO EM SALA DE AULA

Nelson Wilson Paschoalinoto¹ – nelson.paschoalinoto@maua.br

Joyce Zampirolli Scrivano¹ – joyce.zampirolli@maua.br

Marcelo Marques Gomes¹ – marcelo.gomes@maua.br

Jorge Kawamura¹ – jorge.kawamura@maua.br

Caio Jorge Gamarra¹ – caio.gamarra@maua.br

David Garcia Penof¹ – dapenof@maua.br

[1] Instituto Mauá de Tecnologia - IMT
Praça Mauá, nº 1 – Bairro Mauá, 09580-900, São Caetano do Sul – SP

Resumo: Os processos produtivos são muito estudados visando o aumento de produtividade e a diminuição de perdas. As ferramentas de gerenciamento de sistemas produtivos quando aplicadas promovem melhorias com mudanças que impactam no tempo e custos envolvidos. O sistema Toyota de Produção é um exemplo de melhoria contínua e a ferramenta Poka-Yoke foi utilizada neste trabalho com o intuito de mostrar aos alunos do terceiro ano de engenharia de produção uma forma de minimizar perdas e otimizar os processos na prática. Um problema de montagem e desmontagem vivenciados em uma linha de produção de karts foi identificado pelos estudantes e, a partir da respectiva análise, o desenvolvimento de um novo produto foi pensado para contribuir com o aumento da produtividade da linha de produção. Um estudo ergonômico foi efetuado como forma de avaliar a postura do operador no respectivo posto de trabalho. Houve um maior engajamento dos estudantes, tornando as aulas mais prazerosas e proveitosas. A participação e o entendimento dos conceitos puderam ser melhor explorados e entendidos.

Palavras-Chave: Poka-Yoke, Sistema Toyota de Produção, Lean Manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido durante a crise do petróleo em 1973 pela Toyota Motor Corporation, tem como principal objetivo a eliminação de desperdícios dentro dos processos produtivos (Monden, 2015).

Segundo Monden (2015), esta metodologia foi adotada por diversas fábricas japonesas que viram no STP uma ferramenta eficiente de aumentar seus lucros por meio da redução de custos e/ou aumento da produtividade.

Ghinato (1995) cita que para que seja possível alcançar os objetivos propostos pelo Sistema Toyota de Produção, é necessário identificar e eliminar as atividades que não

agregam valor ao produto desenvolvido por entender que estas são entendidas como “perdas” neste processo.

Esse sistema teve como base a eliminação de desperdícios existentes na linha produtiva da Toyota que além da base de sua filosofia pautada na eliminação completa de desperdício, também trouxe dois conceitos fundamentais que dão suporte a essa filosofia: o *Just-in-time* (JIT) e a automação (JIDOKA) (Ghinato, 1995).

Outro conceito importante que é aplicado aliado ao STP é o Poka-Yoke, que na prática revê processos a fim de evitar erros de manuseio de materiais e padronizar o trabalho. Nesse aspecto, o conceito Poka-Yoke é utilizado na medida em que os fabricantes se esforçam para otimizar seus processos de produção (Trojanowska *et al.*, 2023). A ferramenta Poka-Yoke foi utilizada pela primeira vez por Shigeo Shingo, dentre os conceitos do Sistema Toyota de Produção. A ideia do Poka-Yoke consiste em restrições metodológicas ou aspectos geométricos buscando evitar operações incorretas ou eventos indesejados (Martinelli, Lippi e Gamberini, 2022). Um Poka-Yoke é definido como um dispositivo que previne ou detecta anormalidades, que podem ser prejudiciais à qualidade do produto ou à saúde e segurança dos funcionários (Saurin, Ribeiro e Vidor, 2012). O Poka-Yoke é também entendido como uma estratégia corretiva japonesa usada para prevenir a ocorrência de defeitos, surgidos durante o processo de produção. A ferramenta pode ser interpretada como uma medida de precaução que se concentra na identificação e elimina a causa específica da variação nos processos (Tosa, Santoso e Purba, 2018). Um exemplo é o posicionamento de componentes mecânicos restringidas por sua geometria, como uma entrada USB. (Martinelli, Lippi e Gamberini, 2022). No dia a dia o conceito Poka-Yoke pode ser percebido na retirada de dinheiro em um caixa eletrônico, na qual os procedimentos e instruções devem ser seguidos à risca para que o saque seja efetuado. O aviso sonoro quando o cinto de segurança do automóvel é esquecido também pode ser pensado como um tipo de Poka-Yoke. O aviso sonoro quando a porta da geladeira aberta é esquecida também é um exemplo de Poka-Yoke.

No atual cenário industrial em rápida evolução, a busca pela eficiência e pela redução de erros tornou-se fundamental. Wasquevite *et al.* (2018) acrescentam que para aumentar a satisfação do cliente e melhorar a experiência do usuário, é possível reduzir a principal causa dos defeitos, atuando na redução e prevenção do erro humano no trabalho.

Uma outra abordagem utilizada neste trabalho é a aplicação do método RULA (*Rapid Upper-Limb Assessment*, ou seja, Análise Rápida dos Membros Superiores). Esse método permite levantamento de informações para investigação ergonômica nos postos de trabalho para identificar potenciais causadores de distúrbios musculoesqueléticos. Moreira *et al.* (2017) afirmam que este método permite investigar a exposição dos trabalhadores à fatores de risco durante as operações laborais apresentando o resultado em diagramas de postura e escores de avaliação do corpo.

As metodologias ativas têm uma função importante no processo e aprendizagem ao colocar o aluno como centro desse processo, permitindo que ele construa seu próprio conhecimento (Siqueira–Batista; Siqueira–Batista, 2009). Segundo Masetto (2014, p.85) “onde quer que possa haver uma aprendizagem significativa buscando atingir intencionalmente objetivos definidos aí encontramos uma aula universitária”.

O autor Silberman (1996 *apud* Barbosa; Moura, 2014) corrobora nesse conceito ao entender que no processo ativo, o aluno deve ler, escrever, discutir, perguntar, se ocupar em resolver os problemas do projeto proposto. Assim, o aluno deve ser exposto a tarefas de alto nível de síntese mental fazendo-o pensar sobre o processo ao qual está envolvido. O professor aqui atua como um orientador, facilitando esse processo de aprendizagem entendendo que ele não é a única fonte de informação e conhecimento.

2 METODOLOGIA

O estudo envolveu estudantes do terceiro ano do Curso de Engenharia de Produção na disciplina “Ferramentas de Gerenciamento de Sistemas Produtivos”. Essa disciplina foca no aumento da produtividade, buscando minimizar perdas e otimizar processos.

Essa atividade tratou de uma aplicação da ferramenta Poka-Yoke em uma situação real de uma linha de montagem de *karts*. A Figura 1 mostra a linha de produção usada.

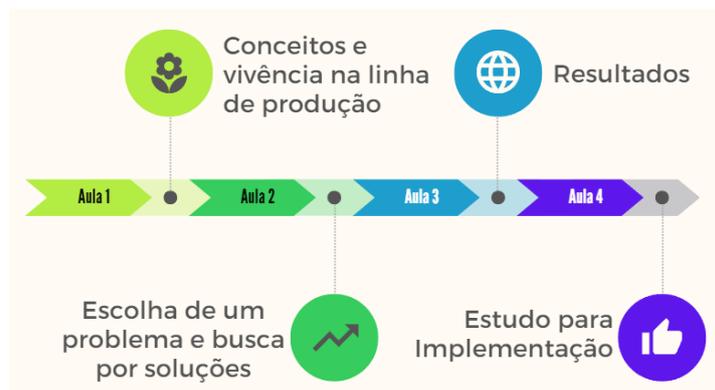
Figura 1 – Linha de montagem e desmontagem – Karts



Fonte: Dados dos autores (2024).

Para a aplicação da metodologia foram utilizadas 4 aulas de 100 minutos, ilustrada na Figura 2. A aula inicial foi destinada à assimilação dos conceitos e vivência na linha de produção. A segunda aula, após a utilização da linha de montagem e desmontagem pelos estudantes, foi dedicada a questionamentos sobre os problemas existentes no processo produtivo. Foi também escolhido um problema para a aplicação da ferramenta: a montagem e a desmontagem do volante dos *karts*. Nesta etapa, dados da montagem e desmontagem do volante foram documentados com filmagens, fotos, medições e cronometragem dos tempos. Na terceira aula os alunos, divididos em grupos de até cinco integrantes, foram instigados a propor soluções que resolvessem o problema utilizando o Poka-Yoke por meio de um projeto CAD. Na aula 4, houve uma discussão sobre os projetos apresentados e foram escolhidos os melhores, visando sua respectiva implementação e posterior teste no processo produtivo.

Figura 2 – Etapas utilizadas para a aplicação do presente estudo.



Fonte: Dados dos autores (2024).

2.1 O problema do volante

Os alunos elegeram a montagem e a desmontagem do volante como sendo a mais crítica, pois ocorreram muitas falhas humanas e também foram percebidos defeitos de processo. O Quadro 1 elenca os principais problemas observados. O Quadro 2 contém alguns dos comentários visualizados pelos estudantes.

Quadro 1 – Defeitos e falhas no processo de montagem e desmontagem do volante.

Falhas	Defeitos
Chave escapa da mão	Quebra de parafusos
Posição ruim para montar	Após primeiro aperto, perde-se o posicionamento dos furos
Perda de tempo	Carro está posicionado em altura ruim
Montagem em posição errada	Parafusos espanados
Parafusos caem no chão por descuido	Furos alongados
Falta de concentração	Quebra da cabeça dos parafusos

Fonte: Dados dos autores (2024).

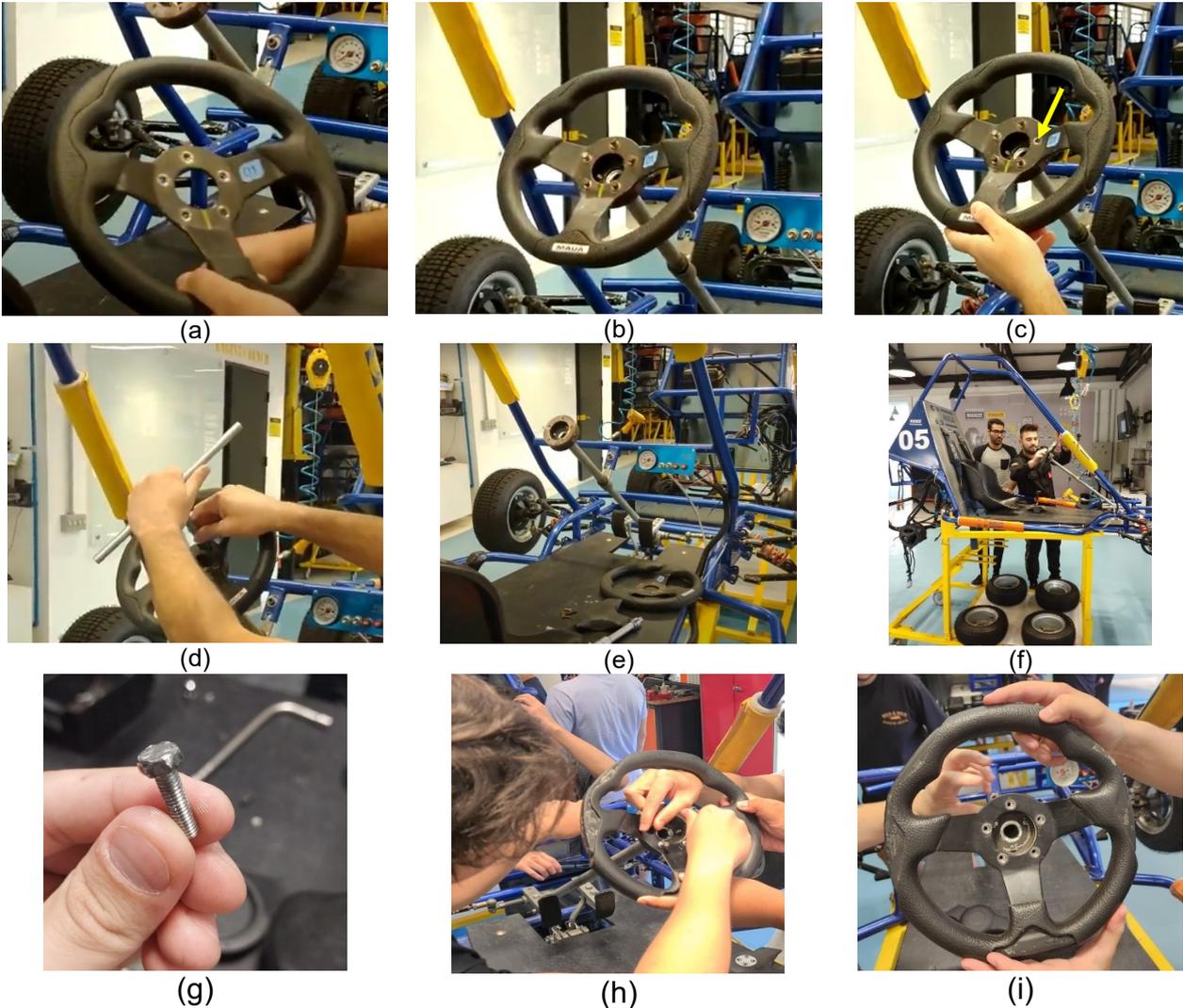
Quadro 2 – Comentários dos alunos sobre a atividade de montagem e desmontagem do volante.

<p>“Após análise do caso, identificamos que o processo era retardado por dois principais motivos: o encaixe errôneo do volante e o excesso de parafusos. O encaixe deste, era composto por cinco parafusos que formavam um pentágono regular, porém, dependendo da posição escolhida, o volante seria montado incorretamente, demandando uma remontagem e aumento do tempo do processo. Em relação a quantidade de parafusos, quanto mais parafusos, maior o tempo de montagem.</p>
<p>“Instalar o volante com o eixo esterçado: É possível instalar o volante do kart com o eixo esterçado, o que pode fazer com que ao voltar o eixo para a posição correta o volante fique “de cabeça para baixo” ou até desalinhado, sendo necessário refazer o processo”.</p>
<p>“Durante o processo de montagem e desmontagem de um volante de kart, foi observada uma dificuldade no encaixe manual do mesmo em sua base. Isso se deu devido à disposição simétrica dos parafusos, fazendo com que diversas vezes esse procedimento fosse realizado de forma errônea”.</p>
<p>“Durante a montagem do volante, diversos erros e falhas tanto humanas quanto de processo podem acontecer. Tais como o encaixe errado dos parafusos e a estabilização errada do volante pós processo. Na desmontagem do item também há o problema constatado da queda de parafusos. Outra falha adversa e inesperada que ocorreu no processo de retirada do volante foi a quebra do parafuso, impossibilitando a saída do mesmo”.</p>

Fonte: Dados dos autores (2024).

A Figura 3 ilustra alguns dos problemas encontrados. Na Figura 3.a observa-se o desgaste dos furos do volante, propiciando folgas na montagem. Na Figura 3.b percebe-se a montagem ineficiente devido aos desgastes das roscas dos parafusos e na Figura 3.c é mostrado a quebra de um parafuso, impossibilitando a montagem. A Figura 3.d ilustra o posicionamento da chave para a realização dos apertos e desapertos dos parafusos de forma ineficiente. A Figura 3.e mostra uma impossibilidade de montagem devido ao espanamento das roscas do cubo do volante e a Figura 3.f ilustra a posição ruim dos operadores para a montagem/desmontagem. Em 3.g pode-se observar um parafuso espanado. Na Figura 3.h uma tentativa errônea de montagem é observada e em 3.i a dificuldade de posicionamento do volante com o cubo é visualizada.

Figura 3 – Problemas encontrados na montagem e desmontagem do volante.



Fonte: Dados dos autores (2024).

Uma análise ergonômica do posto de trabalho foi desenvolvida utilizando o Método RULA para avaliar os possíveis impactos no corpo do operador considerando o posicionamento dele durante a atividade de fixar o volante (Figura 3 f). Para isto, o *Software Ergolândia* foi utilizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para justificar um dos pontos de falha levantados pelos alunos (posição ruim para montar) foi desenvolvido um estudo aplicando o método RULA neste posto de trabalho utilizando esta ferramenta que avalia o posicionamento dos braços, antebraços, punhos, pescoço e tronco. O resultado encontrado dessa operação foi de 7 pontos, indicando que mudanças devem ser feitas imediatamente (Figura 4).

Figura 4 - Resultado do método RULA

PONTUAÇÃO FINAL DO MÉTODO RULA: **7**

PONTUAÇÃO	NÍVEL DE AÇÃO	INTERVENÇÃO
1 ou 2	1	Postura aceitável.
3 ou 4	2	Deve-se realizar uma observação. Podem ser necessárias mudanças.
5 ou 6	3	Deve-se realizar uma investigação. Devem ser introduzidas mudanças.
7	4	Devem ser introduzidas mudanças imediatamente.

Fonte: Dados dos autores (2024).

A partir da criatividade de cada grupo, aliados aos conceitos de Poka-Yoke os projetos CAD foram submetidos e apresentados pelos grupos. Cabe ressaltar que algumas questões sobre a implantação da ferramenta precisaram ser respondidas e analisadas para o projeto ser validado. A Tabela 1 mostra as questões.

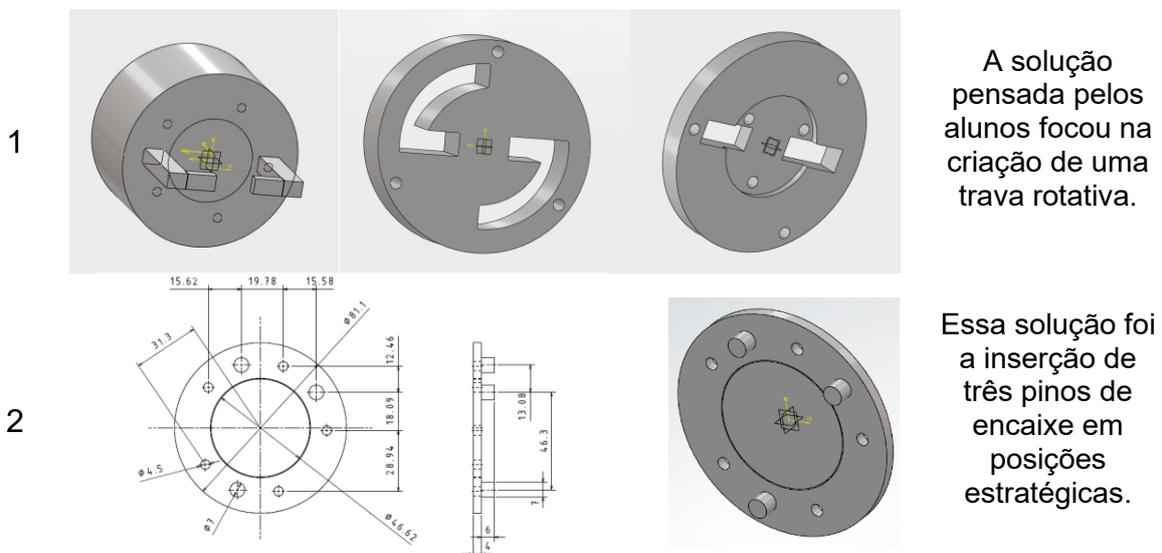
Tabela 1 – Perguntas para validação do projeto.

Questão	Defeitos
1	O projeto elimina a falha ou o defeito?
2	A solução necessita de alto investimento?
3	Será preciso mudar o processo de montagem/ desmontagem?
4	A solução não deixa a falha prosseguir?

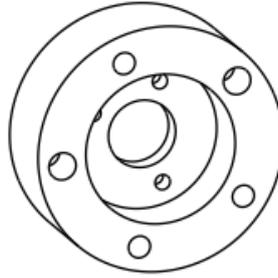
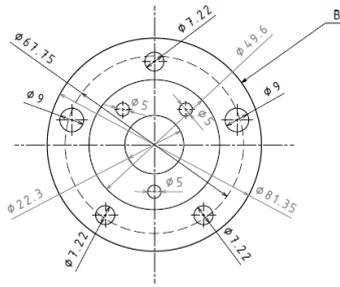
Fonte: Dados dos autores (2024).

A Figura 5 mostra os resultados apresentados pelos grupos.

Figura 5 – Projetos CAD idealizados pelos alunos.

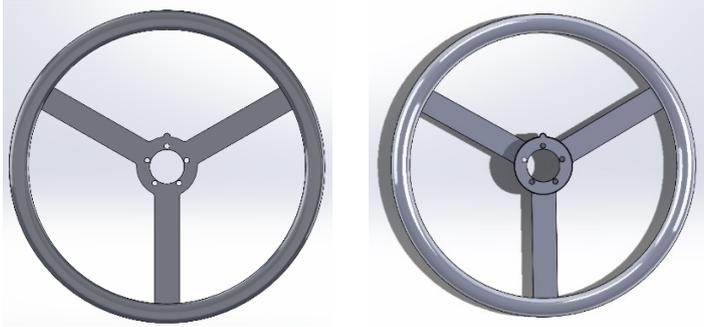


3



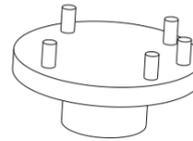
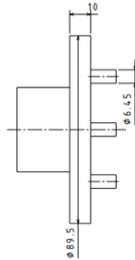
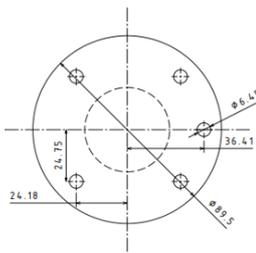
Essa solução alterou o diâmetro de dois parafusos.

4



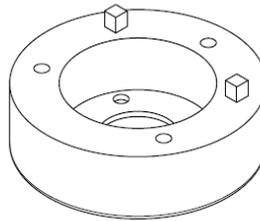
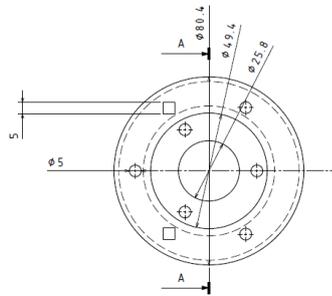
Criação de um rasgo de chave para melhor posicionamento do volante.

5



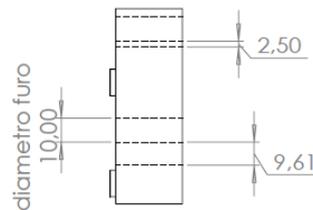
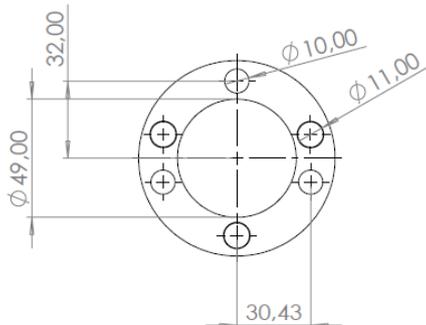
Essa solução apresentou a substituição de parafusos por porcas.

6

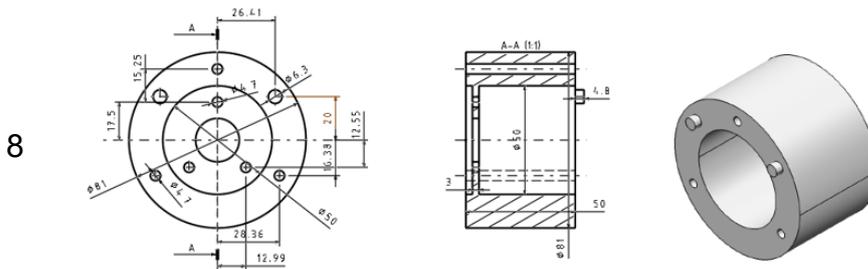


Criação de dois pinos prismáticos para facilitar o posicionamento da montagem.

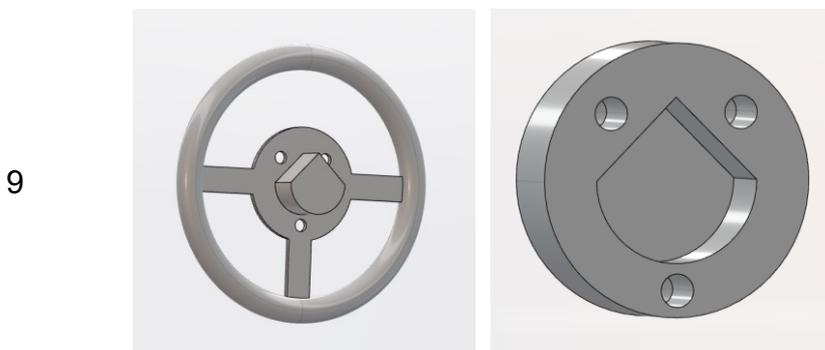
7



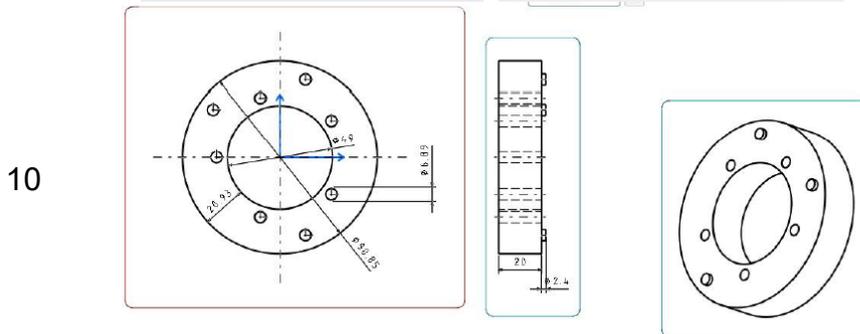
Criação de 3 pinos para auxiliar o posicionamento para a montagem do volante.



Aumento do cubo e desenvolvimento de dois pinos guias para a montagem.



Criação de uma geometria de encaixe específica para o correto posicionamento do volante.



Criação de 3 pinos guias para a montagem do volante, além dos parafusos.

Fonte: Dados dos autores.

O processo de discussão foi enriquecedor, pois cada grupo passou a “defender” o seu ponto de vista e seu respectivo projeto. Todos os grupos comentaram sobre as novas possibilidades e prováveis acertos e erros das novas propostas.

Ao final do debate, foram eleitos três projetos para a construção e futuro teste e validação na linha de produção. Os eleitos foram o projeto número 2 com a adição de 3 pinos para encaixe; o projeto número 5, em que os parafusos foram trocados por porcas e o projeto número 8, com a diminuição da quantidade de parafusos e adição de pinos. Em uma próxima etapa, estes três projetos serão usinados e testados na linha de montagem/desmontagem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No projeto apresentado, foi dado destaque à aplicação prática do conceito de Poka-Yoke para aprimorar o processo produtivo em uma linha de montagem de karts, com a participação ativa de alunas e alunos do terceiro ano do curso de Engenharia de Produção. Durante o desenvolvimento do projeto, os estudantes identificaram uma série de problemas na montagem e desmontagem dos volantes dos karts. Esses desafios incluíam desde a utilização de acessórios inadequados até o desgaste de peças, impactando diretamente na eficiência e na qualidade do produto final.

A partir da identificação desses problemas, os alunos propuseram soluções e projetaram ferramentas Poka-Yoke utilizando software de CAD. Essa etapa do projeto

permitiu aos estudantes aplicarem de forma prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, demonstrando sua capacidade de análise e resolução de problemas. Foram selecionados os melhores projetos para implementação futura, de forma criteriosa, valorizando o trabalho colaborativo e a avaliação cuidadosa das propostas apresentadas pelos alunos. Assim, como próximo passo deste projeto, está proposta a fabricação e implementação prática na linha de montagem de karts, das melhores soluções.

Dessa forma, este projeto não apenas proporcionou aos alunos uma oportunidade de aplicar seus conhecimentos na prática, mas também os prepara para enfrentar desafios reais em suas futuras carreiras como Engenheiras e Engenheiros de Produção.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Mauá de Tecnologia por todo o apoio para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Eduardo Fernandes; MOURA, DG de. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. In: **Anais International Conference on Engineering and Technology Education**, Cairo, Egito. 2014. p. 110-116.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção**: mais do que simplesmente *just-in-time*. Production, v. 5, p. 169-189, 1995.

MARTINELLI, Matteo; LIPPI, Marco; GAMBERINI, Rita. Poka yoke meets deep learning: a proof of concept for an assembly line application. **Applied Sciences**, v. 12, n. 21, p. 11071, 2022.

MASETTO, Marcos. **Docência na universidade**. Papirus Editora, 2014.

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção**: uma abordagem integrada ao *just in time*. Bookman editora, 2015.

MOREIRA, Içara *et al.* Análise Ergonômica: Métodos Rula e Owas aplicados em uma Instituição de ensino superior. **Revista Espacios**. Vol. 38 (Nº 11) Año 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n11/a17v38n11p22.pdf>. Acesso em 09 jun. 2024.

SAURIN, Tarcisio Abreu; RIBEIRO, José Luis Duarte; VIDOR, Gabriel. A framework for assessing poka-yoke devices. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 31, n. 3, p. 358-366, 2012.

SIQUEIRA–BATISTA, Rodrigo; SIQUEIRA–BATISTA, Romulo. **Os anéis da serpente: a aprendizagem baseada em problemas e as sociedades de controle**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 14, p. 1183-1192, 2009.

TOSA, Feri Ali; SANTOSO, Yadi; PURBA, Humiras Hadi. Using Poka-yoke Method for detection defect product In assembly component automotive, **International Journal of Scientific Research Engineering & Technology** 2, V.7, Issue 12, 2018.

TROJANOWSKA, Justyna *et al.* Poka Yoke in smart production systems with Pick-to-Light implementation to increase efficiency. **Applied Sciences**, v. 13, n. 21, p. 11715, 2023.

WASQUEVITE, Guilherme Dias *et al.* Proposta de uso de um software de simulação e da metodologia de aprendizagem baseada em problemas nas disciplinas de sistemas produtivos em um curso de Engenharia de Produção. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 39, p. 94-100, 2018.)

USING THE POKA-YOKE TOOL FOR PRODUCT DEVELOPMENT IN THE CLASSROOM

Abstract: *Production processes are widely studied aiming to increase productivity and reduce losses. Productive systems management tools promote enhancements that shape the time and cost involved in the process. The Toyota Production System serves as a prime example of continuous improvement, and the Poka-Yoke tool was employed in this study to demonstrate to third-year production engineering students a hands-on approach to minimizing losses and optimizing processes. A kart assembly/disassembly line was used as a demonstration, allowing students to experience the operation and identify difficulties. From the corresponding analysis, a new part was developed to contribute to productivity increase in this assembly line. Additionally, an ergonomic study was conducted to evaluate operator posture while fastening a steering wheel at their workstation. Significant increase in student engagement was observed, resulting in more enjoyable and beneficial classes. Participation and comprehension of concepts could have been more thoroughly explored and understood.*

Keywords: *Poka-Yoke, Toyota Production System, Lean Manufacturing.*

