


APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA 4.0 NA MELHORIA DOS PROCESSOS DE INJEÇÃO PLÁSTICA EM UMA EMPRESA NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-096>

Data de submissão: 09/12/2024

Data de publicação: 09/01/2025

Marcos Sidney Castro Ferreira

Graduação em Administração

Acadêmico do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. Brasil.

E-mail: marcos.castro@tutiplast.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7921-9555>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2147135298406426>

Paola Souto Campos

Doutora em Diversidade Biológica

Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. Brasil.

E-mail: pscampos@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4827-0619>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6414810834266975>

Jandecy Cabral Leite

Doutor em Engenharia Elétrica

Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. Brasil

E-mail: jandecy.cabral@itegam.org.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-3549>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/7279183940171317>

RESUMO

A otimização do Lead Time garante o cumprimento de prazos estabelecidos com os clientes, o que, por sua vez, promove a satisfação e a fidelização deles. Além disso, a redução desse tempo proporciona uma gestão mais eficiente de recursos, com impactos diretos na redução de custos operacionais. Este estudo teve como objetivos, implementar tecnologias de Indústria 4.0 para aprimorar os processos de injeção plástica em uma empresa no Polo Industrial de Manaus (PIM), reduzindo os custos de fabricação, aceleração do Lead Time de construção dos dispositivos e otimização do tempo no desenvolvimento de novos produtos. Na metodologia foram coletados dados sobre os novos processos de produção e realizada a avaliação do impacto da tecnologia na redução dos custos de fabricação e na melhoria do lead time, através mapeamento de fluxo atual do processo, análise dos relatórios de perdas de produção e dados da performance de produção. Os resultados mostram a redução significativa no lead time, ou seja, no tempo necessário para criar esses dispositivos na qual teve um prazo reduzido de 35 (trinta e cinco) para 9 (nove dias). A impressão 3D também possibilitou a criação de dispositivos mais complexos e precisos, com menor desperdício de

material, contribuindo diretamente para a redução de custos e para um aumento da qualidade do produto.

Palavras-chave: Automação. Impressão 3D. Melhoria. Indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

No cenário altamente competitivo da indústria moderna, a eficiência operacional tornou-se uma necessidade imperativa para as empresas que desejam manter-se relevantes e lucrativas (Serfontein, J., et al, 2013). O desenvolvimento de dispositivos de produção, uma área crucial para muitos setores, enfrenta desafios significativos relacionados ao lead time. O lead time elevado não só compromete os prazos de entrega acordados com os clientes, mas também afeta a cadeia de suprimentos, aumentando os custos e reduzindo a agilidade empresarial (Chen, Chih-Jou., 2019). Investigar as causas raízes dos atrasos é essencial para desenvolver soluções práticas para cada etapa do processo produtivo levando em conta desde a compra de insumos até a confecção e os testes de dispositivos na linha de produção, onde cada fase será minuciosamente analisada para identificar oportunidades de melhoria. Através de uma abordagem sistemática e integrada, espera-se alcançar uma redução substancial nos tempos de ciclo e, conseqüentemente, elevar a competitividade das empresas envolvidas.

Historicamente, o tempo de desenvolvimento e produção sempre foi um fator crítico no sucesso das empresas manufatureiras. Desde os primórdios da Revolução Industrial, quando a eficiência de produção começou a ganhar destaque, até os dias atuais, onde a agilidade e a flexibilidade são fundamentais, o lead time tem sido uma medida de desempenho essencial (Şen & İrge, 2020). No entanto, com o aumento da complexidade dos dispositivos de produção e a demanda por personalização diferenciado, o lead time tornou-se um desafio ainda maior. Esta pesquisa tem como objetivo abordar este desafio contemporâneo, explorando métodos para reduzir o tempo de desenvolvimento de dispositivos de produção. A análise abrangerá toda a cadeia produtiva, desde a aquisição de materiais até os testes finais, com um foco especial nas práticas que podem ser implementadas para minimizar atrasos e cumprir os prazos estabelecidos com os clientes. A intenção é oferecer uma perspectiva histórica que contextualize a importância da eficiência produtiva e propor soluções inovadoras para os problemas atuais.

O sucesso de uma empresa de produção está intrinsecamente ligado à sua capacidade de entregar produtos de alta qualidade dentro dos prazos estabelecidos (Tortorella, L. et al. 2021). Contudo, muitas empresas enfrentam dificuldades significativas devido ao elevado lead time no desenvolvimento de dispositivos de produção. Este problema não só compromete a satisfação dos clientes, mas também pode resultar em perda de receita e aumento dos custos operacionais. Utilizando uma combinação de análise de dados, técnicas de gestão de projetos e metodologias de produção enxuta, espera-se desenvolver um conjunto de práticas recomendadas que possam ser adotadas por empresas para otimizar seus processos e atender de forma mais eficaz às demandas dos clientes.

O tempo de espera (lead time) no desenvolvimento de dispositivos de produção é uma métrica crucial que afeta diretamente a performance e a competitividade das empresas (Henao, R.; Sarache, W.; Gómez, I., 2019). Um lead time elevado pode resultar em atrasos na entrega de produtos, insatisfação dos clientes e aumento de custos, o que compromete a viabilidade de longo prazo das organizações (Mutua, M. 2015). Esta pesquisa analítica se propõe a investigar detalhadamente as causas do elevado lead time, utilizando uma abordagem sistemática que inclui a análise de processos de compra, confecção e testes de dispositivos. Serão examinadas as principais barreiras e gargalos em cada etapa, e propostas soluções baseadas em melhores práticas abordadas na empresa, avanços tecnológicos e inovações em gestão de processos. O objetivo final é implementar tecnologias da indústria 4.0 para aprimorar os processos de injeção plástica em uma empresa no PIM.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

Produção é o processo de criação de bens ou serviços a partir da combinação de diferentes recursos, como matérias-primas, trabalho, capital, tecnologia e acompanham o homem desde sua origem.

A administração da produção é uma área da administração que se concentra na gestão eficiente e eficaz dos processos de produção e operações de uma organização, onde irá garantir que os bens e serviços sejam produzidos de maneira econômica, com qualidade e dentro dos prazos estabelecidos, sendo um fator importante para o sucesso de qualquer organização (Paiva et al., 2009). A administração da produção tem suas raízes na Revolução Industrial, quando a mecanização e a produção em massa começaram a transformar a maneira como os bens eram produzidos. Pioneiros como Frederick Taylor e Henry Ford introduziram técnicas de gerenciamento científico e linha de montagem, respectivamente, que revolucionaram a produção industrial. Ao longo do tempo, a disciplina evoluiu para incorporar abordagens mais sofisticadas, como a produção enxuta (Lean Manufacturing), a gestão da qualidade total (TQM) e a produção just-in-time (JIT) (Jamba, 2024).

2.2 PRODUÇÃO JUST-IN-TIME (JIT)

A Produção JIT é baseada em vários princípios fundamentais que visam otimizar a produção e reduzir desperdícios, eliminar desperdício, produção enxuta, fluxo de processo contínuo, qualidade na fonte e melhoria contínua usando as ferramentas do Kaizen. (Carvalho, 2016).

A implementação da JIT utiliza várias ferramentas e técnicas para alcançar seus objetivos:

- Kanban: Um sistema de sinalização que controla o fluxo de materiais e produtos no processo de produção, assegurando que os itens sejam produzidos e entregues somente quando necessários.
- SMED (Single-Minute Exchange of Die): Técnicas para reduzir o tempo de setup das máquinas, permitindo maior flexibilidade e menores lotes de produção.
- TPM (Total Productive Maintenance): Uma abordagem para garantir que as máquinas e equipamentos estejam sempre em boas condições de funcionamento, minimizando interrupções na produção.
- Heijunka (Nivelamento da Produção): Técnica para nivelar a carga de trabalho e evitar picos e vales na produção, promovendo um fluxo contínuo e estável.

A Produção JIT tem sido amplamente adotada em diversas indústrias, incluindo automotiva, eletrônica e manufatura de bens de consumo, a prática oferece vários benefícios significativos como redução de estoques reduzindo os custos de armazenamento e o capital empatado, eliminando os desperdícios e a criação de um fluxo contínuo de produção aumentam a eficiência operacional, ênfase na qualidade na fonte e na melhoria contínua resulta em produtos de maior qualidade e menores taxas de defeitos, capacidade de produzir com base na demanda real permite uma maior flexibilidade para responder rapidamente às mudanças no mercado.(Ribeiro, 2017).

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Conhecida como a Quarta Revolução Industrial, é uma nova fase na organização e controle da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos. Esta fase é caracterizada pela digitalização e integração de todos os elementos da cadeia de valor através da internet das coisas (IoT), Big data e Analytics, Inteligência Artificial (IA) e outras tecnologias avançadas. A digitalização e a integração de cadeias de valor criam oportunidades significativas para a otimização de processos produtivos e a inovação em modelos de negócios.

Schawb (2016), diz que "A Indústria 4.0 é caracterizada pela digitalização e integração de cadeias de valor, produtos e serviços, resultando em uma fusão de mundos físicos, digitais e biológicos" não surgiu de forma isolada, mas é o resultado de uma série de evoluções tecnológicas e organizacionais que remontam à Primeira Revolução Industrial. A Primeira Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII, foi marcada pela mecanização da produção através do uso da água e do vapor. A Segunda Revolução Industrial, no final do século XIX e início do século XX, introduziu a eletricidade e a produção em massa, enquanto a Terceira Revolução Industrial, a partir da década de

1970, trouxe a automação e a digitalização com a introdução de computadores e tecnologias de informação.

Kagermann, Wahlster, & Helbig (2013) afirmam que "cada revolução industrial trouxe mudanças significativas na sociedade e na economia, e a Indústria 4.0 não é exceção, promovendo a automação e a troca de dados em tecnologias de manufatura". A Quarta Revolução Industrial continua essa trajetória, mas com um foco muito maior na interconexão, inteligência artificial e automação total dos processos produtivos, impulsionada por uma série de tecnologias avançadas que juntas transformam os processos industriais. Entre as principais tecnologias destacam-se:

2.3.1 internet das coisas (iot)

A IoT permite a interconexão de dispositivos e sistemas, facilitando a comunicação entre máquinas e otimizando processos produtivos. Lee, Bagheri, & Kao (2015) apontam que "a IoT desempenha um papel crucial na Indústria 4.0, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real para a tomada de decisões informada".

2.3.2 inteligência artificial (ia) e machine learning

A IA e o Machine Learning são componentes essenciais na Indústria 4.0, fornecendo capacidades de análise avançada e automação. "A IA está revolucionando a manufatura ao permitir a previsão de falhas, manutenção preditiva e otimização de processos" (Russell & Norvig, 2016).

2.3.3 big data e analytics

A capacidade de coletar e analisar grandes volumes de dados é fundamental na Indústria 4.0. "O Big Data permite às empresas identificarem padrões e tendências, melhorando a eficiência e a tomada de decisões" (Manyika et al., 2011).

2.3.4 robótica avançada

Robôs avançados estão sendo cada vez mais utilizados para tarefas complexas e repetitivas, melhorando a precisão e a eficiência. "A robótica na Indústria 4.0 é caracterizada pela colaboração entre humanos e robôs, criando um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente" (Bauer, Hämmerle, & Schlund, 2015).

2.3.5 computação em nuvem

A computação em nuvem permite o armazenamento e processamento de dados em larga escala, facilitando o acesso e a análise de informações em tempo real. "A computação em nuvem é uma tecnologia facilitadora crucial na Indústria 4.0, permitindo a escalabilidade e a flexibilidade dos recursos" (Armbrust et al., 2010).

2.3.6 manufatura aditiva (impressão 3d)

A impressão 3D está transformando a manufatura ao permitir a produção de peças complexas de forma rápida e econômica. "A manufatura aditiva está revolucionando a produção, reduzindo desperdícios e permitindo a customização em massa" (Gibson, Rosen, & Stucker, 2010).

2.3.7 realidade aumentada e virtual

A realidade aumentada e virtual está sendo utilizadas para treinamento, manutenção e design, proporcionando uma visualização interativa e imersiva. Azuma (1997) observa que "essas tecnologias estão aprimorando a eficiência operacional ao fornecer informações contextuais em tempo real para os trabalhadores". A Indústria 4.0 tem um impacto profundo em várias dimensões, incluindo econômica, social e ambiental. Esses impactos são sentidos em diferentes setores e escalas, variando de mudanças no mercado de trabalho a transformações digitais nas empresas. A adoção desta revolução está aumentando a produtividade e eficiência das empresas, resultando em benefícios econômicos significativos. "A digitalização e automação dos processos produtivos estão criando novas oportunidades de negócios e modelos de receita" (Pereira & Romero, 2017).

Essa revolução está transformando o mercado de trabalho, criando demandas por habilidades digitais e tecnológicas. Lasi et al., (2014) afirma que "a automação e a IA estão substituindo tarefas repetitivas e manuais, ao mesmo tempo que geram novas oportunidades para trabalhadores qualificados". A transformação digital é um aspecto central da Indústria 4.0, permitindo que as empresas se adaptem rapidamente às mudanças no mercado e melhorem sua competitividade. "Empresas que adotam tecnologias desse modelo se tornam mais ágeis e inovadoras, capazes de responder rapidamente às demandas dos clientes".

A adesão da Indústria 4.0, está promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes em termos energéticos. Rübmann et al., (2015) observam que "a integração de tecnologias inteligentes permite a otimização do uso de recursos, reduzindo o desperdício e melhorando a sustentabilidade". Apesar dos inúmeros benefícios, a implementação da Indústria 4.0 enfrenta desafios significativos que precisam ser superados para que seu potencial completo seja realizado, a complexidade tecnológica da Indústria

4.0 representa um desafio significativo para muitas empresas. De acordo com Müller, Buliga, & Voigt (2018) destacam que "a integração de sistemas heterogêneos e a necessidade de interoperabilidade são barreiras tecnológicas importantes".

Com a crescente digitalização e interconexão, as preocupações com a segurança cibernética aumentam. "A proteção contra-ataques cibernética e a garantia da segurança dos dados são desafios críticos na Indústria 4.0" (Müller, Buliga, & Voigt (2018). Pequenas e médias empresas (PMEs) enfrentam desafios únicos na implementação da Indústria 4.0 devido a recursos limitados. "A falta de acesso a financiamento e a necessidade de investimento em tecnologia são barreiras significativas para as PMEs" (Mittal, Khan, & Romero, 2018).

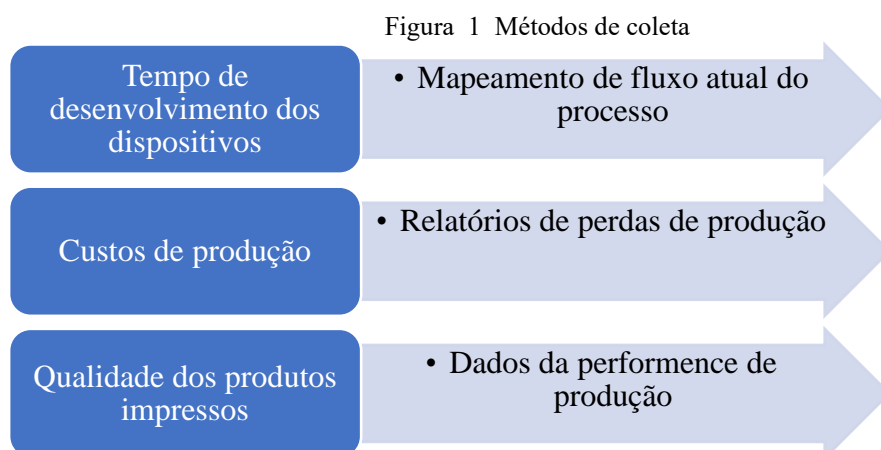
A transição para a Indústria 4.0 exige uma força de trabalho altamente qualificada, o que representa um desafio significativo em termos de formação e educação. O desenvolvimento de habilidades técnicas e digitais é essencial para aproveitar ao máximo as oportunidades oferecidas pela economia digital e pela inovação tecnológica, à medida que o mundo se torna cada vez mais conectado e dependente da tecnologia, essas habilidades se tornam fundamentais para a competitividade e a adaptação no mercado de trabalho.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DA PESQUISA

O projeto foi realizado no setor e injeção plástica de uma empresa localizada no PIM. na qual foram coletados dados sobre os processos de produção antes e após a implementação da tecnologia de impressão 3D.

Inicialmente, foram realizados o mapeamento do fluxo atual do processo para a fabricação de Jigs e gabaritos, incluindo a dependência de fornecedores externos, levantamento de dados dos custos anuais para novos projetos contemplando a demora no desenvolvimento de novos produtos, o tempo de produção, e a qualidade dos dispositivos produzidos. Esses dados serviram como base de comparação para a análise dos impactos da implementação da impressão 3D. A empresa foi acompanhada durante o processo de transição para a produção interna dos dispositivos utilizando impressão 3D. Foram coletados dados sobre os novos processos de produção, incluindo o tempo de desenvolvimento dos dispositivos, os custos de produção, e a qualidade dos produtos impressos, onde a análise incluiu a avaliação do impacto da tecnologia na redução dos custos de fabricação e na melhoria do lead time. (Figura 1).

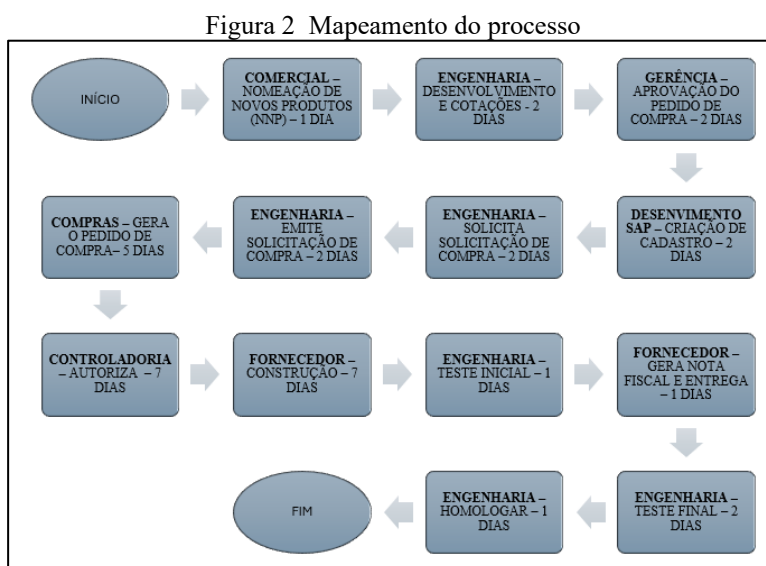


Fonte: Autores, (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapear as principais deficiências nos processos atuais de injeção plástica

O mapeamento, conforme mostra Figura 2, consiste desde a elaboração do desenho do dispositivo até a homologação do dispositivo final pela equipe de engenharia. Este processo ao ser realizado o mapeamento para busca das deficiências na qual teve um prazo de 35 (trinta e cinco) dias distribuídos em 13 (treze) etapas.



Fonte: Autores, (2024).

4.2 REDUZIR OS CUSTOS DE FABRICAÇÃO ELIMINANDO A DEPENDÊNCIA DE FORNECEDORES EXTERNOS

De acordo com a figura 3, observa-se que, no ano de 2021, a demanda de produção com o uso de dispositivos (Jigs) no processo era relativamente baixa, esse cenário refletia uma utilização limitada

desse recurso. No entanto, em 2022, a situação sofreu uma mudança significativa, com um aumento considerável na utilização dos Jigs, o que levou a uma melhoria nos processos e na produtividade da empresa. Esse crescimento, embora tenha contribuído para um aumento na produção, também trouxe consigo um aumento nos custos operacionais.

Já em 2023, a empresa recebeu novos processos, incluindo mais gravação em tampografia e montagem, o que gerou um acréscimo substancial nos custos de produção. Esses processos, embora tenham agregado valor à operação e permitido a diversificação das capacidades produtivas, também resultaram em um custo mais elevado em comparação aos anos anteriores. O aumento nos custos está relacionado à complexidade dos novos processos e à necessidade de maior investimento em tecnologia.

Figura 3 Custos anuais com dispositivos

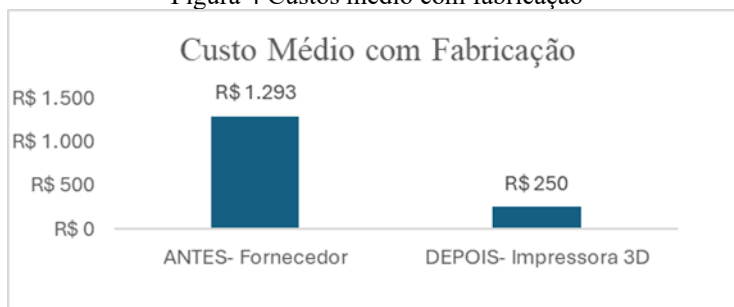


Fonte: Autores, (2024).

No cenário tradicional de fabricação, muitas vezes, os processos de produção envolvem a utilização de processos de usinagem, além disso, há o custo de materiais e o tempo elevado de produção de 240 horas como mostra a Figura 5, que incluem etapas como o desenho do projeto, preparação, moldagem e acabamento por parte do fornecedor.

Com a impressão 3D, esses custos podem ser drasticamente reduzidos. A impressão 3D permite a fabricação direta da peça a partir de um modelo digital, sem a necessidade de moldes ou ferramentas adicionais, eliminando custos com preparação e reduzindo consideravelmente o desperdício de material, o tempo de produção é significativamente reduzido para 6 horas como mostra a figura 5, uma vez que a impressão 3D pode criar uma peça em horas, enquanto os métodos tradicionais podem levar dias, especialmente para produções pequenas ou protótipos. Uma pesquisa recente conduzida por Gartner (2023) destaca que a impressão 3D tem o potencial de reduzir os custos de fabricação em até 25% para empresas que adotam a tecnologia para produção em massa, especialmente em setores de alta personalização e baixa tiragem.

Figura 4 Custos médio com fabricação

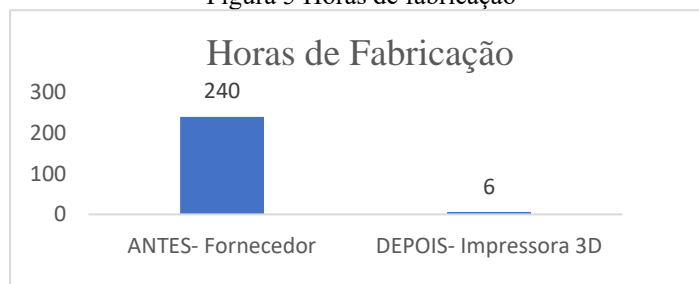


Fonte: Autores, (2024).

4.3 ACELERAR O LEAD TIME DE CONSTRUÇÃO DOS DISPOSITIVOS, MELHORANDO A AGILIDADE NA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS PROJETOS

A implementação de estratégias como a automação de processos, a integração de tecnologias avançadas, como a impressão 3D possibilitou uma redução significativa no tempo de desenvolvimento de dispositivos. Antes da adoção dessas melhorias, o lead time médio para a construção de dispositivos era de 240 horas. Após a implementação das mudanças, esse tempo foi reduzido para apenas 6 horas. Esse aprimoramento não só acelera o lançamento de novos produtos para os clientes, mas também fortalece a competitividade da empresa no mercado, permitindo uma resposta mais ágil às demandas dos consumidores e às exigências de inovação (Kuczynski et al., 2023).

Figura 5 Horas de fabricação

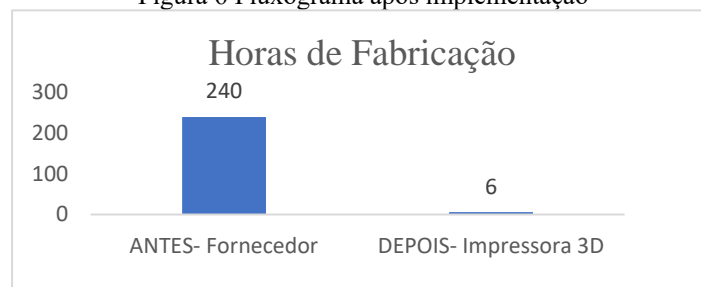


Fonte: Autores, (2024).

4.4 OTIMIZAR O TEMPO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS, UTILIZANDO TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D

Este processo ao ser realizado o mapeamento após implementação teve um prazo reduzido de 35 (trinta e cinco) para 9 (nove dias) distribuídos em 9 (nove) etapas, redução de 74% no tempo com a fabricação da própria peça, o que eliminou a compra por parte de fornecedores.

Figura 6 Fluxograma após implementação



Fonte: Autores, (2024).

4.4.1 etapas do processo da impressão 3d

O processo de impressão 3D foi dividido em algumas etapas principais:

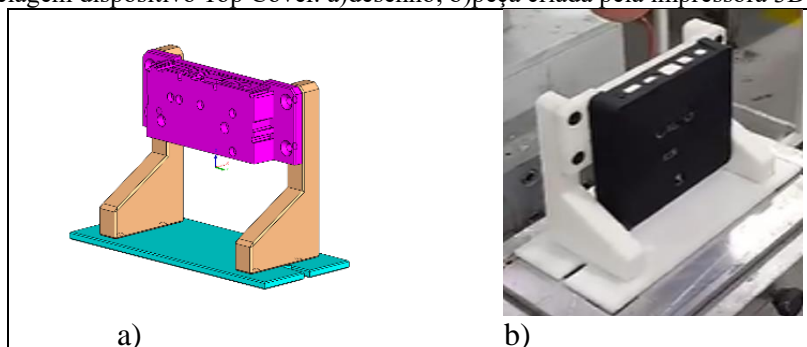
- Criação do Modelo 3D: O primeiro passo consistiu em criar ou obter um modelo 3D digital do objeto a ser impresso realizado no software de modelagem 3D.
- Fatiamento do Modelo (Slicing): O modelo 3D foi convertido em camadas finas (slices) por meio de um software de fatiamento, este software gerou o código G que a impressora usou para determinando como o objeto seria impresso camada por camada.
- Preparação da Impressora: Antes de começar a impressão, foi necessário verificar se a impressora estava configurada corretamente, com o filamento inserido e a mesa de impressão nivelada.
- Carregamento do Código G na Impressora: O código G gerado pelo software de fatiamento foi carregado na impressora, geralmente via cartão SD, USB ou conexão direta com o computador.
- Início da Impressão: A impressora começa a aquecer os componentes necessários (como o bico extrusor e a cama aquecida) e, em seguida, iniciou-se a impressão camada por camada, de acordo com as instruções do código G.
- Monitoramento da Impressão: Durante o processo de impressão, foi importante o processo de monitoramento para garantir que o material fosse depositado corretamente e que o modelo estivesse sendo impresso sem falhas.
- Finalização e Remoção do Objeto: Após a impressão terminar, o objeto deve ser cuidadosamente retirado da plataforma de impressão.

4.4.2 da implantação da melhoria

Essas etapas são bastante comuns e se aplicam a várias impressoras 3D. A Figura 7 mostra a modelagem de um dispositivo tipo "Jig" utilizado para a montagem do Top Cover. Este dispositivo tem a função de facilitar o posicionamento e fixação da peça durante o processo de tampografia. Já a

Figura 7 mostra a peça projetada, que foi impressa em 3D, permitindo uma visualização mais detalhada e precisa do design.

Figura 7 Modelagem dispositivo Top Cover. a) desenho; b) peça criada pela impressora 3D, implementada.



Fonte: Autores, (2024).

A evolução das demandas de produção nos últimos anos tem impulsionado uma busca constante pela otimização dos processos industriais, nesse cenário, a impressão 3D se destaca como uma tecnologia transformadora, trazendo avanços significativos tanto em termos de custo quanto de eficiência. A capacidade de produzir peças sob demanda e com alta personalização torna a impressão 3D uma ferramenta essencial para reduzir desperdícios e melhorar a agilidade nos processos. Nas indústrias, a impressão 3D permite a fabricação de protótipos rápidos, o que acelera o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, ela possibilita a criação de componentes complexos, que seriam difíceis ou impossíveis de produzir com métodos tradicionais. Essa flexibilidade no design resulta em uma redução significativa de custos com matéria-prima e diminui a necessidade de ferramentas e equipamentos de ferramentaria caros.

Outro benefício crucial da impressão 3D é a diminuição dos prazos de produção. A possibilidade de produzir peças diretamente a partir de modelos digitais elimina a necessidade de etapas adicionais, como ajustes em maquinários de ferramentaria. Isso não só acelera a entrega de produtos, mas também permite um melhor aproveitamento de recursos humanos e materiais.

Portanto, a impressão 3D não só melhora a eficiência operacional, mas também oferece soluções práticas e inovadoras para os desafios da indústria moderna, equilibrando de maneira eficaz os custos e a qualidade do produto. Esse avanço tecnológico é um passo importante para atender à crescente demanda por produção mais rápida e personalizada.

Figura 8 Situação futura do processo com a Impressora 3d Kings com suas características



Fonte: Impressora 3D industrial KINGS 800PRO, baseada na tecnologia SLA (Stereolithography Apparatus), (2024).

Tabela 1: Materiais e Características.

Material	Características
Resina Padrão	- Acabamento superficial liso. - Quebradiço.
Resina de Alto Detalhe	- Maior precisão dimensional. - Preço mais alto.
Resina Transparente	- Material transparente. - Requer pós-processamento.
Resina Moldável	- Usada para criar peças de molde. - Baixa porcentagem de cinzas após queima.
Resina Resistente ou Durável	- Propriedade mecânica semelhante à ABS. - Baixa resistência térmica.
Resina de Alta Temperatura	- Resistência a temperatura. - Usada para moldagem por injeção e ferramentas.
Resina Dentária	- Biocompatível. - Alta resistência a abrasão.
Resina Flexível	- Material semelhante à borracha. - Precisão dimensional.

Fonte: Impressora 3D industrial KINGS 800PRO, baseada na tecnologia SLA (Stereolithography Apparatus), (2024).

A Figura 8 mostra uma impressora 3D industrial KINGS 800PRO, baseada na tecnologia SLA (Stereolithography Apparatus). O conteúdo é organizado em três principais seções: equipamento, materiais e suas características. Na parte inferior da figura, são ressaltados os seguintes benefícios: Qualidade de Impressão; Velocidade e Eficiência; Precisão e Consistência e Variedade de Materiais. A Figura 8 mostra que a impressora 3D KINGS 800PRO possui alta versatilidade, sendo capaz de utilizar uma ampla gama de resinas, com características específicas que atendem a diversas aplicações industriais e técnicas (Tabela 1). A Figura 9 mostra os resultados de acordo com uma análise comparativa antes e depois da implementação de uma impressora 3D, destacando os ganhos em redução de custos, tempo de fabricação e viabilidade econômica. Abaixo está a descrição detalhada:

Quadro Comparativo:

1. Antes da Implementação (Fornecedor A): Horas de Fabricação: 240 horas; Custo Unitário de Fabricação: R\$ 1.293,00.
2. Depois da Implementação (KINGS 3D): Horas de Fabricação: 6 horas (redução de 97%); Custo Unitário de Fabricação: R\$ 250,00 (redução de 81%).

A comparação mostra uma expressiva diminuição nos tempos e custos de fabricação com o uso da impressora 3D KINGS.

3. Problemas Identificados: Local: Impressora 3D.

Problemas: Horas de confecção do dispositivo elevadas; 2. Lead time elevado para o fluxo de compras; 3. Alto custo avaliado dos fornecedores e 4. Alto índice de dispositivos danificados.

4. Ação Tomada: a) Redução de 75% no desenvolvimento dos novos dispositivos NNP;b) Redução de 90% do tempo de fabricação e c) Redução de 80% no custo de fabricação de cada dispositivo.

5. Payback (Retorno do Investimento): A seção de Payback apresenta: a) Custo Médio do Dispositivo: R\$ 1.293,00 antes → R\$ 250,00 depois; b) Quantidade de dispositivos: 50 unidades; c) Custo Total (antes): R\$ 64.650,00; d) Custo Total (com impressora 3D): R\$ 12.500,00; e) Economia Total: R\$ 52.150,00 e Payback Simples: 15,1 meses.

A implementação da impressora 3D KINGS gerou grandes vantagens no processo: 1. Redução drástica no tempo de fabricação (de 240h para 6h); 2. Redução expressiva nos custos unitários (de R\$ 1.293,00 para R\$ 250,00); 3. Economia de R\$ 52.150,00 em 50 dispositivos e 4. Viabilidade econômica confirmada com um payback de 15,1 meses. A ação trouxe maior eficiência operacional, redução de custos e agilidade no processo produtivo.

Figura 9 Comparações do antes e depois dos resultados do processo



1. Saving de 1 ano estima lucro de R\$ 156.145,00. / 2. Saving de 5 ano estima lucro de R\$ 782.250,00.
Fonte: Autores, (2024).

5 CONCLUSÃO

Especificamente Jigs, e como essa tecnologia impactou positivamente o processo de desenvolvimento, a principal vantagem destacada é a redução significativa no lead time, ou seja, no tempo necessário para criar esses dispositivos na qual teve um prazo reduzido de 35 (trinta e cinco) para 9 (nove dias) distribuídos em 9 (nove) etapas no tempo com a fabricação, o que proporcionou maior agilidade na resposta às demandas dos clientes. A impressão 3D permitiu acelerar as etapas de criação e ajustes de dispositivos, antes demoradas e dependentes de métodos tradicionais, como a usinagem manual. Além disso, a adoção da tecnologia da impressão, resultou em um aumento da eficiência operacional. A substituição de métodos tradicionais por soluções mais modernas da indústria 4.0 reduziu custos de produção, melhorando a competitividade da empresa no mercado.

A impressão 3D também possibilitou a criação de dispositivos mais complexos e precisos, com menor desperdício de material, contribuindo diretamente para a redução de custos e para um aumento da qualidade do produto. A integração da impressão 3D no desenvolvimento e produção de jigs não só otimiza o tempo e os custos, mas também oferece benefícios em termos de flexibilidade e personalização, tornando as empresas mais adaptáveis às necessidades específicas dos clientes. A adoção da impressão 3D traz uma transformação significativa no processo de produção, proporcionando uma melhoria contínua nos prazos de entrega, na redução de custos e na qualidade do produto, além de impulsionar a competitividade da empresa no mercado.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM), ao ITEGAM e as empresas Salcomp, Foxconn, Procomp/Diebold, Inventus Power, Coelmatic por meio da Lei no. 8.387/1991 de Informática para incentivo a Projetos de PD&I com apoio financeiro PUR044/2023/CITS ao projeto de Mestrado através da Coordenadora do Programa Prioritário da Indústria 4.0 e Modernização Industrial, o Centro Internacional de Tecnologia de Software (CITS)/CAPDA/SUFRAMA/MDIC.

REFERÊNCIAS

- Armbrust, Igor; Lauro, Flávio Antônio Ascânio. O skate e suas possibilidades educacionais. Motriz: Revista de Educação Física, v. 16, p. 799-807, 2010.
- Azuma, Ronald T. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments/MIT press, 1997.
- Carvalho de A., Fernando Miguel. Relatório de Estágio: Implementação da Metodologia Lean na Indústria Automóvel. 2016. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu (Portugal).
- Chen, Chih-Jou. Developing a model for supply chain agility and innovativeness to enhance firms' competitive advantage. Management Decision, v. 57, n. 7, p. 1511-1534, 2019.
- Gartner. (2023). The Future of 3D Printing in Manufacturing: Cost Reduction and Efficiency Gains. Gartner Research.
- Gibson, Ian et al. The use of multiple materials in additive manufacturing. Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing, p. 436-449, 2010.
- Henao, Rafael; Sarache, William; Gómez, Iván. Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. Journal of cleaner production, v. 208, p. 99-116, 2019.
- Jamba, Geraldina Nacol dos Reis. Diagnóstico da área de administração de produção do Grupo Qg- Jeitinho Caseiro. 2024.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. National Academy of Science and Engineering, Frankfurt, 2013.
- Kuczynski, R., Silva, T. L., & Souza, P. J. (2023). O impacto da automação e tecnologias emergentes na indústria 4.0: Desafios e avanços. Revista de Engenharia e Tecnologia, 45(3), 85-97.
- Lasi, Heiner et al. Industry 4.0. Business & information systems engineering, v. 6, p. 239-242, 2014.
- Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, v. 3, n. 1, p. 18-23, 2015.
- Mittal, Sameer et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). Journal of manufacturing systems, v. 49, p. 194-214, 2018.
- Müller, Julian Marius; Buliga, Oana; Voigt, Kai-Ingo. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. Technological forecasting and social change, v. 132, p. 2-17, 2018.
- Mutua, Musyoka. Lean supply chain management practices and organizational performance of large scale manufacturing firms in Kenya. 2015. Tese de Doutorado. University of Nairobi.

Paiva, E. L., Carvalho, J. M., Jr., & Fensterseifer, J. E.(2009). Estratégia de produção e de operações. Porto Alegre: Bookman.

Pereira, Ana C.; Romero, Fernando. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia manufacturing*, v. 13, p. 1206-1214, 2017.

Ribeiro, Danilo Ribamar Sá et al. Sistemática para implementação de Lean Maintenance em processos de manufatura com base na Abordagem Toyota Kata. 2017.

Russell, Stuart J.; Norvig, Peter. *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson, 2016.

Rüßmann, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

Schwab, K. M. *A quarta revolução industrial*. (D. M. Miranda, Trad.). São Paulo: Edipro, 2016.

Şen, Erdal; İrge, Necmiye Tülin. Industry 4.0 and agile firms. In: *Agile Business Leadership Methods for Industry 4.0*. Emerald Publishing Limited, 2020. p. 209-231.

Serfontein, Jacob Jacobus., 2010; Mithas, Sunil; Tafti, Ali; Mitchell, Will., 2013

Tortorella, Guilherme Luz et al. Integration of industry 4.0 technologies into total productive maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, v. 240, p. 108224, 2021.