



**Gestão de projeto utilizando indicador-chave de desempenho (KPI) na simulação virtual do desenvolvimento de uma célula robotizada atuando em processos automotivos**

**Project management using key performance indicator (KPI) in the virtual simulation of the development of a robotic cell acting in automotive processes**

Cláudio Luís Magalhães Fernandes<sup>1</sup>

William A. Celestino Lopes<sup>2</sup>

Rodrigo Silvério da Silveira<sup>3</sup>

Leonardo do Espirito Santo<sup>4</sup>

João Inácio da Silva Filho<sup>5</sup>

**Resumo**

A implantação de robôs nos processos de produção é primordial para a indústria automobilista e vem trazendo fortes desafios aos gestores desses projetos. Considerando que Simuladores Virtuais retroalimentados envolvendo robótica podem disponibilizar dados passíveis de serem aplicados em cálculos de Indicador-Chave de Desempenho (*Key-Performance Indicator –KPI*), apresenta-se neste artigo um método de utilizar essa ferramenta computacional para prever a eficiência de um projeto de célula robotizada com base em indicadores confiáveis para o seu acompanhamento nas etapas do desenvolvimento

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Mecânica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Avenida Paulista 1313, São Paulo – SP, CEP: 01311-923. E-mail: [claudio.fernandes@sp.senai.br](mailto:claudio.fernandes@sp.senai.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3140-5580>

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Mecânica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Avenida Paulista 1313, São Paulo – SP, CEP: 01311-923. E-mail: [william.lopes@sp.senai.br](mailto:william.lopes@sp.senai.br)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-4437-776X>

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia Mecânica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Avenida Paulista 1313, São Paulo – SP, CEP: 01311-923. E-mail: [rodrisilverio@gmail.com](mailto:rodrisilverio@gmail.com)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0661-6714>

<sup>4</sup>Mestre em Engenharia Mecânica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Avenida Paulista 1313, São Paulo – SP, CEP: 01311-923. E-mail: [leonardo.santo@sp.senai.br](mailto:leonardo.santo@sp.senai.br)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4477-0544>

<sup>5</sup>Doutor em Engenharia elétrica, Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Rua Oswaldo Cruz, 278, Santos - SP, CEP: 11044-907. E-mail: [inacio@unisanta.br](mailto:inacio@unisanta.br) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9715-8928>

até que este alcance seu processo produtivo. Para detalhar os procedimentos apresenta-se a instalação de uma Célula Robotizada composta de dois braços robóticos atuando em conjunto no trabalho de estamparia de peças em indústria automobilística, onde, com o auxílio do *software Plant Simulation 14, versão educacional*, foi construído um pré-projeto e efetuadas simulações e obtidos valores para os ajustes e compatibilizações para as adequações baseados nas dimensões físicas das instalações reais. Os resultados obtidos por meio dos indicadores coletados utilizando o ambiente real e virtual indicam que esta técnica é bastante útil na elaboração deste tipo de projeto porque; permite otimizar a interatividade dos robôs com o processo produtivo extraindo o máximo desempenho de cada equipamento, documentar limites referenciais para futuras decisões e disponibilizá-los para a gestão nas etapas de seu desenvolvimento e ainda oferecer credibilidade aos financiadores através de indicadores de eficiência.

**Palavras-chave:** Gestão de Projetos. Robótica. Inovação. OEE. Novas Tecnologias. KPI. Simulação Virtual.

#### **Abstract**

The deployment of robots in production processes is essential for the automotive industry, and has brought strong challenges to the managers of these projects. Considering that feedback Virtual Simulators involving robotics can provide data that can be applied in Key-Performance Indicator (KPI) calculations, this article presents a method of using this computational tool to predict the efficiency of a project of a robotized cell based on reliable indicators for its follow-up in the development stages until it reaches its production process. To detail the procedures, the installation of a Robotic Cell composed of two robotic arms acting together in the work of stamping parts in the automotive industry is presented. With the help of the Plant Simulation 14 educational software, a pre-project was built, simulations were carried out, and resulting values were used for the adjustments and compatibility the adaptations based on the physical dimensions of the real installations. The results obtained through the indicators collected using the real and virtual environment indicate that this technique is very useful in the elaboration of this type of project because; it allows optimizing the interactivity of the robots with the production process. It also allows extracting the maximum performance from each piece of equipment, documenting reference limits for future decisions and making them available for management in the stages of its development, and offers credibility to funders through efficiency indicators.

**Keywords:** Project management. Robotics. Innovation. OEE. New Technologies. KPI. Virtual Simulation.

## Introdução

Apesar de inúmeras crises econômicas que o Brasil tem sofrido ultimamente, verifica-se no seu parque industrial um aumento significativo no desenvolvimento de projetos que visam a aplicação de robôs nas plantas de produção, principalmente aquelas pertencentes as indústrias automobilísticas (Braga, 2008). Tudo indica que esse aumento deva-se a necessidade da indústria automobilística se adequar a um exigente público que busca cada vez mais veículos automotivo com qualidade e dotados de recursos criados por recentes inovações tecnológicas. Diante dos problemas de mercado e as recentes crises na economia internacional que consequentemente afetam a economia nacional trazendo momentos de instabilidade ao país, chega-se à conclusão que o Brasil para responder a estas questões necessita urgentemente investigar novas formas de se manter no mercado automotivo (Braga, 2008) (Agostinetto, 2006).

A disponibilidade no mercado destes novos tipos de veículos automobilísticos passa necessariamente pelo aprimoramento de novas técnicas de engenharia e procedimentos modernos aplicados a gestão dos futuros projetos para a área da produção. Desse modo, é necessário que, na criação destes novos projetos, se possam incluir técnicas de elaboração e ensaios que necessitem de simulação virtuais que são feitos através de aplicativos e ferramentas computacionais dedicadas (Cáceres, 2010).

Ligada ao fato de que o Brasil é um país emergente com poucos recursos econômicos, essa realidade impõem a implantação de novas tecnologias para as linhas de produção, o que traz um forte desafio à engenharia brasileira que deve atuar nas mudanças necessárias com foco nas formas de gestão de projetos que tratam de instalações ligadas à robótica e as novas tecnologias (Braga, 2008) (Cáceres, 2010).

Apesar do aumento das linhas de produção com células robotizada, nota-se que atualmente as montadoras automotivas contam com um futuro incerto e se observa grande redução de investimentos em diversas áreas, e este cenário é encontrado também em segmentos complementares como de seus fornecedores, colaboradores e clientes (Agostinetto, 2006).

Algumas variáveis envolvendo a produção de veículos como custo de execução do projeto e o período contemplando desde a concepção até a entrega do carro ao cliente final impacta fortemente nos investimentos atuais e futuros em uma montadora. Portanto, para ajustar a competição do Brasil com países de primeiro mundo, além da economia deve-se dar total atenção ao avanço de pesquisas que tratam do uso da tecnologia e o *know-how* na fabricação dos veículos automotores. Neste contexto, as ferramentas computacionais com

simuladores virtuais são adequadas para oferecer apoio a este desafio onde pesquisas são feitas através de *softwares* dedicados que atuam em análises de qualidade do produto, na previsão de custos e na previsão de índices que medem a eficiência produtiva. Desse modo, os métodos que usam técnicas computacionais, a automatização através da robótica adicionados aos demais fatores são importantes para a indústria automobilística manter-se no mercado e conquistar novos clientes (Agostinetti, 2006) (Cáceres, 2010).

## 1.1 Célula Robotizada

Frente a necessidade de produzir um produto com custos reduzidos, obter uma melhor eficiência na execução de determinadas tarefas e alinhado a melhoria das condições de trabalho, a aplicação de células robotizadas é um tema que tem recebido uma grande importância da indústria automobilística (Scholz-Reiter & Freitag, 2007).

Uma célula robotizada pode ser considerada como sendo um conjunto de máquinas que são organizadas dentro de um espaço automatizado no qual um ou mais robôs são instalados para maximizar, acelerar e simplificar um módulo de produção completo e atingir altos níveis de repetitividade da qualidade do produto. Portanto, o motivo da implantação de Células Robotizadas pelo gestor está diretamente relacionado a produção automatizada que atuam na produção oferecendo as seguintes condições para a produção: a) melhor aproveitamento da matéria-prima; b) redução de perdas; c) economia de energia; d) redução do tempo de produção; e) eliminação de atividades perigosas ou insalubres; f) realização de atividades complexas (Juhás & Juhásová, 2020).

A Célula Robotizada é um tipo de sistema de automação industrial configurado e independente que pode atuar sobre processos de produção constituída por um ou mais robôs industriais. Portanto, o projeto de Células Robotizadas é relacionado a área de automação industrial e robótica (Lopes, 2018).

### Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é apresentar técnicas de aplicação de ferramentas computacionais que envolvam simulações virtuais como apoio às análises de um pré-projeto onde, nas etapas de seu desenvolvimento envolvendo uma Célula Robotizada de uma planta de produção na indústria automobilística sejam aplicados procedimentos baseados em Indicadores-Chave de Desempenho (KPI) coletados no processo.

Este trabalho tem como objetivo secundário a obtenção de dados simulados virtualmente para que sejam utilizados nos cálculos de indicadores de Índice de Eficiência permitindo as medições da eficiência do fluxo produtivo do projeto de uma Célula Robotizada fazendo comparações entre cenários reais da estampagem e simulados virtualmente para retroalimentação dos dados.

### **Referencial Teórico**

Para o alcance dos objetivos da pesquisa, que se relaciona com a problemática apresentada, será mostrado um método que se insere na robotização do parque industrial automobilístico brasileiro. Portanto, este trabalho traz técnicas de simulação para comparar dados produtivos envolvidos no desenvolvimento de uma Célula Robotizada aplicada à área de estamparia automotiva, onde a simulação virtual pode confrontar cenários simulados e comparar o ambiente virtual com métricas globais para se obter o máximo da eficiência do processo real, permitindo utilizar uma sistemática entre projetos já executadas junto aos novos a serem desenvolvidos.

#### **3.1 Simulações em Ambiente Virtual**

De forma geral a simulação é considerada como um processo de criação de modelos computadorizados que traz como proposta a forma de condução de experimentos numéricos com a finalidade de oferecer a compreensão do comportamento de um sistema em uma determinada combinação de condições. Em termos práticos pode-se considerar que uma simulação é um conjunto de métodos utilizados de forma aplicada para representar um sistema real (Shannon, 1998).

Atualmente a simulação computacional possibilita aos gestores criar cenários, prever e projetar os impactos das mudanças e obter resultados por meio de ensaios em ambiente virtual, o que com base nos resultados obtidos no modelo possibilitar tomadas de decisões mais eficazes no mundo real (Siderska, 2016).

A simulação virtual é uma das ferramentas computacionais que vem sendo utilizada para a indústria automobilística se adequar aos novos desafios, principalmente com a exploração de sua potencialidade como um excelente meio para a geração de informações e conhecimento no processo de gerenciamento organizacional de projetos na planta industrial (Siderska, 2016) (Pereira et al., 2022).

Nesta pesquisa, para os procedimentos de simulação efetuados, a ferramenta computacional aplicada no auxílio do projeto da Célula Robotizada foi o *software Plant Simulation 14 versão educacional* (Bangsow, 2010) (Siemens, 2013). Os detalhes dessa ferramenta de simulação virtual e principais considerações técnicas, serão mostrados na próxima seção.

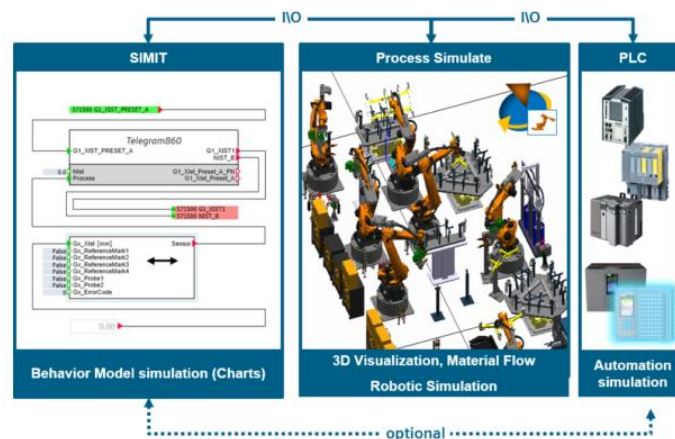
### **3.1.1 Software Plant Simulation 14 versão educacional**

Os programas de computadores referentes aos aplicativos da simulação virtual evoluíram ao longo dos anos e vem contribuindo com as pesquisas aplicadas em diferentes campos da ciência. Atualmente os simuladores de processos em ambiente virtual são bastante uteis para ajustar a produção atual com as mudanças impostas pelo novo cenário industrial, que utilizam robôs trabalhando em conjunto na planta industrial (Bangsow, 2010) (Siemens, 2013) (Siemens, 2022).

Neste contexto, o *software Tecnomatix Plant Simulation* da SIEMENS é uma ferramenta computacional de simulação muito utilizado e tem se destinado principalmente a análises de processos de logística e produção. Em âmbito mundial a sua versão profissional, vem atualmente sendo amplamente utilizada em pesquisas científicas e se destacando principalmente para criar modelos simulados discretos (Pereira et al., 2022). Os seus recursos permitem simular uma ampla gama de processos industriais, por exemplo, montagem de linhas de produção (Mourtzis et al., 2014) (Fedorko et al., 2022). Com o *software Tecnomatix Plant Simulation* é possível criar modelos microscópicos de processos através de programação adicional de funcionalidades de simulação, permitindo assim a visualização de simulação e experimentos (Mourtzis et al., 2014). Sendo utilizado em diversas áreas do conhecimento, o *Tecnomatix Plant Simulation* apresenta a sua aplicação bem-sucedida também em trabalhos científicos do campo da ergonomia (Hovanec et al., 2015), como também é aplicado em outras áreas não tradicionais, como mineração (Janeková et al., 2023) e segurança de infraestrutura crítica (Grabowik et al., 2020). Análises de diferentes sistemas de logística podem ser feitas como o *software Tecnomatix Plant Simulation*, portanto é considerado uma ferramenta analítica e preditiva para identificar e avaliar a eficiência dos processos (Neradilova & Laskovsky, 2016).

A Figura 1 mostra uma tela do aplicativo *software Tecnomatix Plant Simulation* onde é possível fazer simulações de Células Robotizadas (Siemens, 2013).





**Figura 1.** Aspecto geral de tela mostrando um processo de análise com simulação virtual de uma Célula Robotizada através do software *Tecnomatix Plant Simulation*.

Fonte: Manual SIEMENS *Tecnomatix Plant Simulation* (Siemens, 2013).

### 3.2 Indicadores de Eficiência

Para avaliar a eficiência do projeto da célula de robótica, o indicador utilizado será o Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE *Overall Equipment Effectiveness*) (Lopes & Blos, 2017) (Busso & Miyake, 2013). A descrição OEE e suas principais equações serão mostrados a seguir.

#### 3.2.1 Índice Global de Eficiência (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*)

O Índice Global de Eficiência OEE (*Overall Equipment Effectiveness* OEE) é um índice baseado em uma métrica percentual do processo mensurando os dados coletados por meio da qualificação do produto considerando três principais itens: Disponibilidade, Desempenho (ou *Performance*) e Qualidade. A sua introdução ocorreu em 1960 no Japão por Seiichi Nakajima com a finalidade de avaliar o desempenho de um equipamento (Busso & Miyake, 2013) (Esa & Yusof, 2016).

Esse modo de avaliação passou a ser utilizado por algumas empresas e em 1980, considerando que seria importante ter um índice que pudesse servir para todas as indústrias japonesas o *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) oficializou o seu modo de cálculo.

A partir da oficialização do JIPM o OEE passou a servir de referência para avaliar se uma máquina estava funcionando corretamente como também como verificação da necessidade de algum tipo de manutenção para o caso de se verificar uma queda do índice OEE. Mais tarde o OEE foi utilizado dentro do sistema de gestão da manutenção desenvolvido pela Toyota e que é conhecido como TPM (*Total Productive Maintenance*) (Busso & Miyake, 2013).

No caso da sua utilização no TPM, o OEE informa ao gestor de forma simples e direta a efetividade de um processo, demonstrando a desempenho dos equipamentos. Portanto, neste tipo de gestão utilizando o OEE o gestor tem a noção de que a partir do tempo disponibilizado para determinado processo, é possível prever quanto tempo o equipamento ficou em produção, a quão rápida foi à produção dos itens programados e quantos foram atendidos (Prabowo et al., 2018) (Tobe, 2017).

As condições características para os três fatores, Disponibilidade, Desempenho (ou *Performance*) e Qualidade, que vão gerar índices específicos que comporão o OEE são dispostas da seguinte forma (Esa & Yusof, 2016) (Busso & Miyake, 2013):

**Disponibilidade** - É a quantidade de tempo em que um equipamento esteve disponível para trabalhar comparado com a quantidade de tempo em que foi programado para trabalhar. Os eventos na máquina que influem neste índice são relacionados a três causas (Esa & Yusof, 2016) (Busso & Miyake, 2013):

1. Quebra/Falha
2. Setup e regulagens
3. Perdas/ Engenharia

O Índice de Disponibilidade *ID* é calculado através da equação (1):

$$ID\% = \frac{TC}{TRD} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

*TRD* = Tempo Real Disponível calculado por:

$$TRD = [\text{Tempo Teórico Disponível (TTD)} - \text{Tempo de Paradas Não Programadas (TPNP)}] \text{ (h)}$$

*TC* = Tempo de Carga calculado por:

$$TC = (\text{Tempo Teórico Disponível (TTD)} - \text{Tempo de Paradas Programadas (TPP)}) \text{ [h]}$$

**Desempenho** - É o quanto o equipamento trabalha próximo do tempo de ciclo ideal para produzir uma peça.

Os eventos na máquina que influem neste índice são relacionados a duas causas (Esa & Yusof, 2016) (Busso & Miyake, 2013):



1. Pequenas Paradas
2. Queda de Velocidade

O Índice de desempenho  $IP$  é calculado através da equação (2):

$$IP = \frac{\text{Peças Produzidas (PP)}(\text{peças})}{\text{Ciclo de Peça Produzida (CPP)} (\text{peças/h}) \times \text{Tempo disponível (TD)}(\text{h})} \quad (2)$$

Onde:

Tempo disponível(TD)=[Teórico Disponível (TTD) - Tempo de Paradas Programadas(TPP)] [h]

**Qualidade** - É o número total de peças boas produzidas, comparado com o número total de peças produzidas.

Os eventos na máquina que influem neste índice são relacionados a duas causas (Esa & Yusof, 2016) (Busso & Miyake, 2013):

1. Refugo
2. Retrabalho

O Índice de Qualidade  $IQ$  é calculado através da equação (3):

$$IQ = \frac{\text{Peças Produzidas} - [\text{Peças Refugadas(PRF)} + \text{Peças Retrabalhadas(PRT)}]}{\text{Peças Produzidas(PP)}} \quad (3)$$

O Índice Global de Eficácia do Equipamento (OEE) é calculado compondo os três índices anteriores tal que (Esa & Yusof, 2016) (Busso & Miyake, 2013):

$$OEE = ID \times IP \times IQ \quad (4)$$

### 3.2.2 Indicador-Chave de Desempenho KPI - Key Performance Indicator

Após a aceitação da aplicação do Índice de Eficiência OEE sua utilização se expandiu e passou a determinar, além da eficiência das máquinas ou linhas de produção, também a indicação para a planta de produção da fábrica. Essa expansão na área de produção industrial do Índice OEE originou o conceito de empresas *World Class*, que pode ser traduzido para Classe Mundial (Prabowo et al., 2018) (Silva & Oliveira, 2020). Portanto, atualmente o *World Class* é o conceito obtido pela empresa quando esta mantém a sua produção com um alto índice OEE. No entanto, alguns autores especificam que não é suficiente a empresa manter os índices acima de 85% para que esta seja considerada *World Class* (Silva & Oliveira, 2020). Esta classificação somente será alcançada caso a empresa apresente o desempenho mantido a um mínimo de 95%, a disponibilidade fique acima de 90% e a qualidade presente pelo menos 99% de aceitação (Silva & Oliveira, 2020).

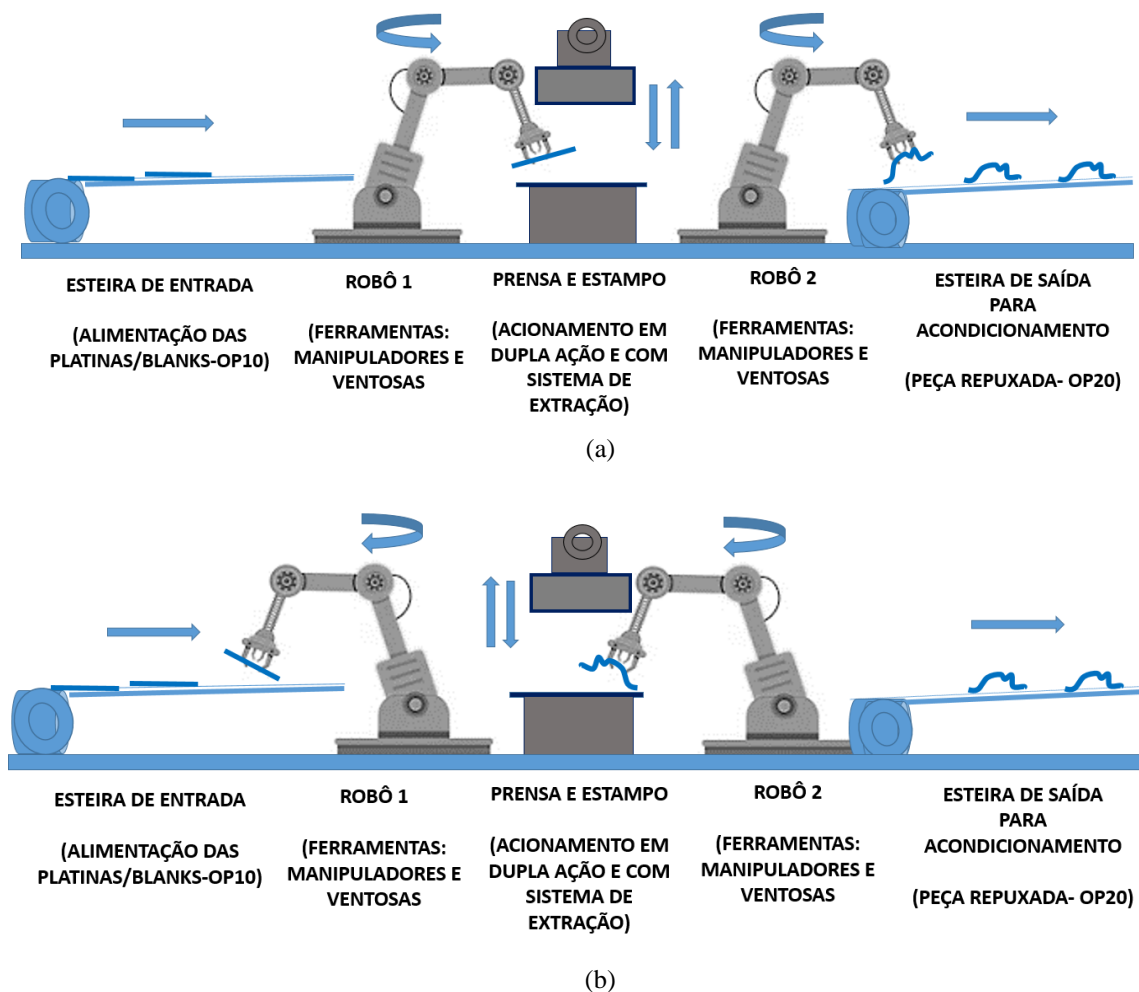
Neste trabalho os valores dos indicadores de eficiência e *World Class*, formarão um Indicador-Chave de Desempenho, conhecido pela sigla em inglês KPI - *Key Performance Indicator*. Este **indicador mensurável**, que é composto por parâmetros calculados pelos Índices de Eficiência, possibilitará a avaliação e monitoramento do desempenho do projeto da Célula Robotizada.

#### Procedimentos Metodológicos

Neste trabalho inicialmente se estabeleceu as dimensões físicas e obteve-se os dados reais para o projeto de instalação de uma Célula Robotizada para atuar em um processo industrial de estamparia na planta de indústria automobilística.

No projeto inicial a célula operativa foi criada de modo virtual composta de uma máquina de estampagem, duas esteiras de transporte de chapas e peças e de 2 robôs Manipuladores com ações específicas na produção das peças estampadas.

A Figura 2 mostra o desenho do projeto inicial da Célula Robotizada e as indicações de movimentos nas Esteiras, Robôs, Prensas, Estampas e Peças estampadas.



**Figura 2. Desenho do projeto da Célula Robotizada e as indicações dos movimentos dos equipamentos.**  
a) Ação do Robô 1 na inserção da chapa em OP10 (Platina/Blank) no estampo e colocação da peça repuxada sobre a Esteira de Saída pelo Robô 2.  
b) Ação do Robô 2 na retirada da peça repuxada de dentro do estampo e retirada da Esteira de alimentação pelo Robô 1 para o início do segundo ciclo.

Conforme visto no desenho da Célula Robotizada verifica-se que, inicialmente, as chapas de aço conhecidas como platinas ou *blanks* oriundas da operação indicada como OP10 que serão repuxadas entram no processo de estampagem através da Esteira alimentadora.

Na produção, o primeiro Robô (Robô 1) terá como tarefa retirar a chapa da Esteira alimentadora e colocá-la sobre o estampo fixado na prensa e o segundo Robô (Robô 2), por sua vez, terá como tarefa retirar a peça já estampada através da operação de repuxo e colocá-la sobre a Esteira de Saída. Portanto, a peça é produzida na ação de transformação da chapa no estampo fixado na prensa ao realizar movimentos verticais.

Os tempos das ações devem ser sincronizados de modo que os movimentos verticais da prensa devem ocorrer dentro do período em que o Robô 1 retorna para pegar uma nova chapa e de modo simultâneo o Robô 2 coloca a peça moldada sobre a Esteira de saída.

Esta atividade na automação da célula automatizada conhecida como intertravamento garante que os movimentos sejam executados de forma segura respeitando os ciclos de cada movimento.

#### 4.1 Definições das Etapas

Após estes primeiros procedimentos foram então definidos quais seriam os principais estágios na elaboração da Célula Robotizada e ações que seriam inseridas no *software Plant Simulation*.

Através das primeiras simulações no ambiente virtual, foram estudadas todas as relações que interagem a movimentação dos Robôs com as dimensões do espaço físico considerando as ações das pessoas envolvidas interagindo com a máquina.

E assim definidas as principais etapas estabelecidas no projeto juntamente com os respectivos tempos de duração no processo de produção da estamparia.

Por meio deste processo simulado, todas as ações e etapas foram estabelecidas considerando a evolução e o envolvimento dos equipamentos da Célula Robotizada, bem como os objetivos esperados, além de respeitar os sistemas de segurança contidos nos intertravamentos.

As informações detalhadas sobre as etapas, e seus tempos de duração relacionados a elas, estão expostas na Tabela 1.

POSICIONAMENTO	ETAPAS - Atividades	Tempo - (seg.)
1	Sistema operativo 1 abastece a Esteira de alimentação com chapas de aço.	20
2	Robô 1 realiza movimento para pegar uma chapa de aço.	4
3	Robô 1 movimenta a chapa de aço do suporte até o posicionamento dentro do estampo.	8
4	Robô 1 retorna ao ponto inicial para a retirada da próxima chapa de aço.	8
5	Após 2 seg. da movimentação de retorno do Robô 1 a Máquina de Estampagem executa o processo de repuxo de forma concomitante (intertravamento).	3 desc. + 3 sub. = 6
6	Robô 2 retira a peça estampada de dentro da prensa quando a mesma já está no ponto máximo superior (intertravamento).	3
7	Robô 2 coloca a peça estampada na Esteira de Saída.	3

8	Sistema operativo 2 retira peça estampada Esteira de Saída.	15
---	---	----

**Tabela 1. Relação das atividades e tempos nas etapas do modelo da Célula Robotizada.**

A partir das definições das etapas e dos procedimentos com os respectivos tempos de duração, foi então iniciada a construção no *software Plant Simulation* do modelo virtual do projeto considerando valores de grandezas físicas que espelham modelos reais construtivos dos equipamentos utilizados na Célula Robotizada.

A Figura 3 mostra a ferramenta computacional *Plant Simulation* com o cenário que sofrerá as adaptações do projeto da Célula Robotizada implantada neste estudo.



**Figura 3. Célula Robotizada na ferramenta computacional *Plant Simulation* adaptada para o projeto de estudo para gestão.**

Fonte: adaptado de Siemens (2022).

No modelo da Célula Robotizada desenvolvido na ferramenta computacional foram considerados além dos 2 robôs, os dispositivos sensores da máquina de estamparia, sistema de automação com controladores lógicos programáveis (PLC), uma interface homem-máquina (HMI) e um sistema de supervisão.

## 4.2 Ensaaios

A Célula Robotizada dedicada ao serviço de estamparia de uma indústria automobilística foi modelada na ferramenta computacional *Plant Simulation 14 versão educacional* a partir dos dados dimensionais da instalação, de valores das grandezas físicas correspondentes as máquinas e equipamentos utilizados no modelo e das ações estabelecidas nas etapas com a determinação do fluxo produtivo do projeto. A seguir, com o modelo inicial definido e com todos os ajustes e as condições permitidas, foram efetuados os ensaios para as análises da Célula Robotizada de forma concreta.

Na simulação virtual considerou-se as condições de funcionamento da Célula Robotizada envolvendo alguns tipos de problemas na produção tais como: a) falhas ocasionadas por falta de componentes; b) barreiras físicas como colunas e; c) limitações envolvendo fluxo de movimentação de cargas e vibrações. Dessa forma, na aplicação da ferramenta computacional *software Plant Simulation* o estudo foi limitado aos movimentos robóticos envolvidos no processo de estampagem, onde os robôs foram simulados nas suas tarefas considerando as condições mínimas e máximas das atividades permitidas.

Os valores limites foram determinados considerando o espaço físico e dimensionais das instalações do projeto na linha de produção da indústria automobilística e a capacidade de cada máquina estabelecida pelos dados técnicos de sua fabricação.

### Apresentação e Análise dos Resultados

Após a instalação do modelo inicial, foi possível a efetuação de várias simulações virtuais da Célula Robotizada considerando atributos diferentes e possíveis problemas estruturais que porventura viessem acontecer durante a construção do projeto real.

#### 5.1 Resultados das simulações e ambiente virtual

Com o objetivo de mensurar as principais atividades dos Robôs, na sequência foram efetuadas simulações com diferentes configurações baseada na produção piloto de linhas anteriores e possíveis falhas na produção ocasionadas por problemas já conhecidos anteriormente.

A Figura 4 mostra como exemplo uma tela do *software Plant Simulation* com resultados numéricos obtidos após a efetuação de um ensaio.

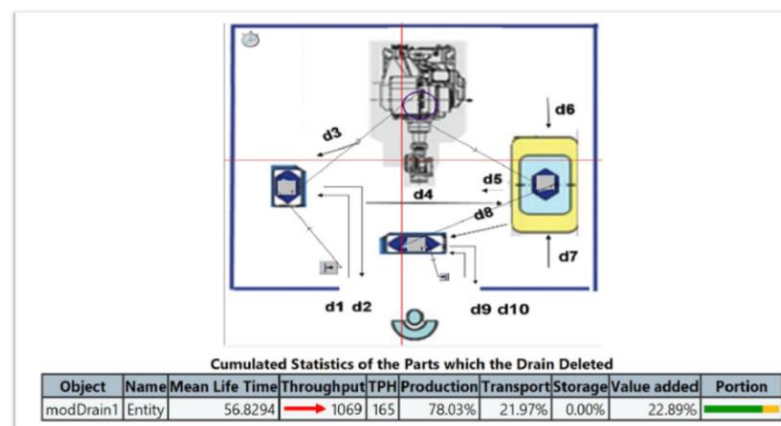
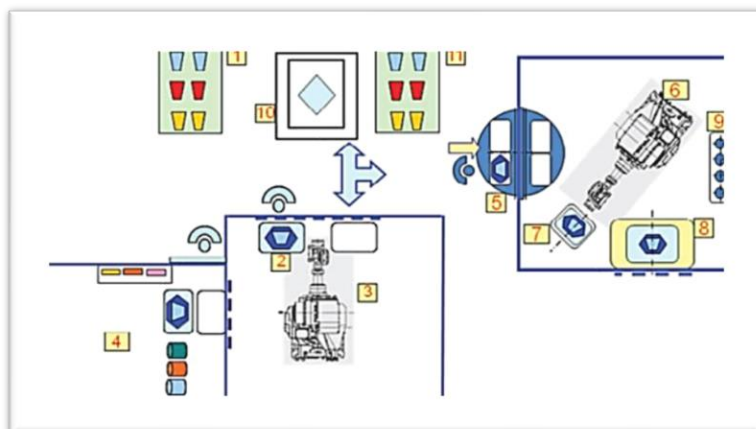


Figura 4. Exemplo de tela do *software Plant Simulation* com os resultados obtidos após a efetuação de um ensaio.



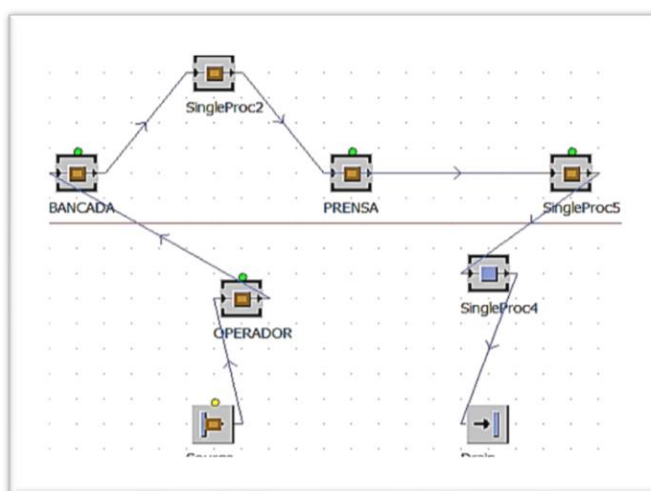
O *software Plant Simulation* ofereceu uma visão geral do projeto baseado no desenho em ambiente 2D o que permite a verificação nas instalações e a efetivação dos ajustes considerando todos os objetos de montagem que compõem a Célula Robotizada para a linha de produção.

A Figura 5 mostra uma representação da tela do *software Plant Simulation* com a dimensão 2D.



**Figura 5.** Representação da tela do *software Plant Simulation* com as representações 2D do projeto em análise.

Para uma compreensão total do projeto, foi criado virtualmente fluxograma que posiciona os elementos da Célula Robotizada, onde os recursos do *software Plant Simulation* permitem dispô-los de modo que se possa exemplificar o sequenciamento e fluxo da linha. A Figura 6 mostra a tela do *software Plant Simulation* com o diagrama documentado onde se considera o fluxo das ações da Célula Robotizada atuando no processo de produção.



**Figura 6.** Tela do *software Plant Simulation* mostrando o fluxo das ações da Célula Robotizada atuando no processo de produção.

Para investigar os limites impostos pelo projeto foram efetuadas outras simulações virtuais com condições mínimas e máximas de produção aplicando o modelo ideal como referência.

## 5.2 Resultados dos Ensaio e do Índice Global de Eficiência (OEE)

Neste trabalho, foram feitos os ensaios no simulador virtual considerando ações simuladas em conjunto envolvendo objetos, equipamentos e os dois Robôs utilizados na tarefa de estamparia da Célula Robótica seguindo as ações apresentadas na Tabela 1. Baseados nos resultados, na forma de tempo decorrido nas ações e na correspondente quantidade de peças produzidas, são calculados os Índices de Eficiência *ID*, *IP* e *IQ*. Com os valores *ID*, *IP* e *IQ* é então calculado o Índice resultante OEE.

Para manter uma referência na gestão das etapas que são estabelecidas na instalação real do projeto é feita uma comparação do Índice OEE resultante com o índice de eficiência mundial relacionado a classificação *World Class* das fabricas

Considerando o modelo ideal como sendo o projeto viável para a concretização da instalação na da Célula Robótica na fábrica, foram então efetuadas as simulações para a coleta de valores que envolvem a produção das peças e os tempos relacionados a falhas com seus correspondentes tempos.

Os estudos simulados virtualmente com o modelo mais aproximado considerado ideal apontaram que o cenário mais próximo da realidade envolvendo disponibilidade, performance e qualidade foi encontrado quando a se chegou as seguintes condições expostas a seguir.

### a) Disponibilidade:

No item Disponibilidade a Célula Robotizada foi programada para trabalhar 2 turnos de 8 horas com uma parada operacional (TPO) de 30 minutos para que os operadores pudessem fazer a troca de turno. Durante o expediente foram estabelecidas paradas intercaladas de 10 minutos a cada 4 horas. Portanto, para os 2 turnos de 8 horas estabelecidos no modelo, o tempo total programado para estas paradas intercaladas (TPIN) é de 40 minutos. Isto significa que Tempo de Paradas programadas (TPP) para o modelo proposto é calculado por:

$$TPP = TPO + TPIN \rightarrow TPP = [30 + 40] \text{ min}$$

$$TPP = 70 \text{ min}$$

O cálculo para o Índices de Eficiência que trata de Disponibilidade (ID) no modelo é feito utilizando a Equação 1, tal que:

1.a Cálculo do  $TRD =$  Tempo Real Disponível

Sendo o Tempo Real Disponível (TRD) calculado por

$$TRD = [\text{Tempo Teórico Disponível (TTD)} - \text{Tempo de Paradas Não Programadas (TPNP)}] \text{ (h)}$$

Sendo que, para o modelo Ideal do projeto, o Tempo Teórico Disponível (TTD) considerado em minutos é:

$$TTD = [2 \times 8 \times 60] \text{ min} \rightarrow TTD = 960 \text{ min}$$

Considerando que no processo de fabricação ocorreu um tempo de paradas não programadas (TPNP) de 30 minutos, então, o tempo Real Disponível (TRD) em minutos será:

$$TRD = [2 \times 8 \times 60] \text{ min} - 30 \text{ min}$$

Resultando em:

$$TRD = 930 \text{ min}$$

2.a Cálculo do  $TC =$  Tempo de Carga

Sendo:

$$TC = (\text{Tempo Teórico Disponível (TTD)} - \text{Tempo de Paradas Programadas (TPP)}) \text{ [h]}$$

Então, com o cálculo considerado em minutos, tem-se:

$$TC = [960 - 70] \text{ min}$$

$$TC = 890 \text{ min}$$

Portanto, o Índice de Disponibilidade  $ID$  é calculado conforme a Equação (1):

$$ID\% = \frac{TC}{TRD} \times 100 \rightarrow ID\% = \frac{890 \text{ min}}{930 \text{ min}} \times 100$$

Resultando em

$$ID = 95,7\%$$

Com os valores do Índice de Disponibilidade  $ID$  pode-se fazer uma comparação considerando as empresas que seguem padrões *World Class* que possuem um indicador padrão mundial de disponibilidade em torno de 90%.

b) Desempenho:

No item Desempenho determinou-se que no modelo Ideal, portanto como o que mais se aproxima de uma configuração real, os valores obtidos pela simulação virtual indicaram que a Célula Robotizada foi projetada com um ciclo de 24 segundos por peça, totalizando 2,5 peças/min.

Acompanhando no Simulador Virtual verificou-se que ao final do dia a situação projetada da operação da Célula Robotizada apresentava uma quantidade de peças produzidas (PP) de 2200 peças.

Sendo

$$\text{Peças Produzidas (PP)}(\text{peças})=2200$$

$$\text{Ciclo de Produção (peças/min)}=2,6 \text{ peças/min}$$

Sendo o Tempo disponível (TC)=TD

$$\text{TC}=[960 - 70] \text{ min} \rightarrow \text{TC}=890 \text{ min}$$

O Índice de desempenho  $IP$  é calculado através da equação (2):

$$IP = \frac{\text{Peças Produzidas (PP)}(\text{peças})}{\text{Ciclo de Peça Produzida (CPP)} (\text{peças/min}) \times \text{Tempo disponível (TD)}(\text{min})}$$

$$IP = \frac{2200 \text{ peças}}{2,6(\text{peças/min}) \times 890 (\text{min})} \rightarrow IP\% = 0,95 \times 100$$

Resultando em

$$IP = 95\%$$

Com os valores do Índice de Desempenho pode-se fazer uma comparação considerando que, para as empresas que seguem padrões *World Class* o indicador padrão mundial de desempenho é em torno de 95%.

c) Qualidade:

Para o Índice de Qualidade foi utilizado os dados históricos que reproduziram em casos similares, onde em relação as peças produzidas, as perdas de peças refugadas ficaram em torno

de 1% e as peças retrabalhadas em torno de 0,5%. E assim, o Índice de Qualidade IQ pode ser calculado levando em consideração a quantidade de peças produzidas. Portanto, sendo:

Peças Produzidas (peças)=2200

Peças Refugadas (peças)=22

Peças Retrabalhadas (peças)=11

O Índice de Qualidade  $IQ$  é calculado através da equação (3):

$$IQ = \frac{\text{Peças Produzidas} - [\text{Peças Refugadas}(\text{PRF}) + \text{Peças Retrabalhadas}(\text{PRT})]}{\text{Peças Produzidas}(\text{PP})}$$

$$IQ = \frac{2114 - [22 + 11]}{2200} \rightarrow IQ\% = 0,985 \times 100$$

Resultando em

$$IQ\% = 98,5\%$$

Com os valores do Índice de Qualidade pode-se fazer uma comparação considerando que para as empresas que seguem padrões *World Class*, o indicador padrão mundial de desempenho é em torno de 99%. Portanto, a partir dos dados coletados nos Ensaios em simulação virtual efetivado no *software Plant Simulation* é calculado o Índice Global de Eficiência OEE do projeto Ideal.

Sendo o Índice Global de Eficácia do Equipamento (OEE) calculado compondo os três índices anteriores conforme a Equação (4), portanto tem-se que:

$$OEE = ID \times IP \times IQ$$

$$OEE = 0,959 \times 0,95 \times 0,99 \rightarrow OEE\% = 0,90 \times 100$$

Resultando em

$$OEE = 90\%$$

Além do ensaio que mostrou os valores do Modelo Ideal (Ensaio 1), foram feitos mais 2 ensaios diferentes onde, o segundo ensaio (Ensaio 2) utilizou os valores suportáveis

considerando-se limites máximos tomando como referência o modelo ideal com cerca de 10% a mais nos valores relacionados ao tempo de parada não programada, a produção de peças que foram refugadas e nos eventos de peças retrabalhadas.

O terceiro ensaio (Ensaio 3) utilizou os mesmos valores suportáveis considerados limites com cerca de 20 % em relação ao ensaio do modelo ideal.

A Tabela 2 mostra os resultados dos Índices de Eficiência correspondentes a Disponibilidade, Desempenho, Qualidade e OEE, do modelo Ideal e dos Ensaios 2 e 3.

Modelo considerado Ideal				Modelo Limite Mínimo (-10%)				Modelo Limite Mínimo (-20%)			
TRD	PP	PP		TRD	PP	PP		TRD	PP	PP	
930	2200	2200		933	2196	2196		936	1760	1760	
TPNP	CPP	PRF		TPNP	CPP	PRF		TPNP	CPP	PRF	
30	2,6	22		33	2,6	44		36	2,6	44	
TC	TD	PRT		TC	TD	PRT		TC	TD	PRT	
890	890	11		890	890	22		890	890	22	
ID	IP	IQ	OE E	ID	IP	IQ	OEE	ID	IP	IQ	OE E
95,7%	95%	98,5%	90%	95,3 %	95%	97%	87,8%	95%	76,%	96%	69%
<b>Legenda:</b> TRD = Tempo Real Disponível TPNP =Tempo de parada não programada TC = Tempo de Carga TTD = Tempo Teórico Disponível TD = Tempo Disponível						PP=Peças produzidas CPP= Ciclo de peça produzida PRF= Peças Refugadas PRT= Peças Retrabalhadas					

**Tabela 2. Índices de Disponibilidade, de Desempenho e de Qualidade dos Ensaios 2 e 3 considerando os valores de Peças produzidas de 10% e 20% a menos com reflexos no Tempo de parada não programada (1%), aumento de Peças Refugadas (50%) e de Peças Retrabalhadas (50%) em relação aos valores do modelo Ideal.**

Nos Ensaios 2 e 3, em relação aos encontrados nas simulações efetuadas no modelo Ideal considerou-se que as produções de peças diminuiriam 10 e 20%, respectivamente, com reflexos nos valores de: Tempo de Parada Não Programada (TPNP) 10 e 20%; Peças Refugadas (PRF) (50%) e; de Peças Retrabalhadas (PRT) com 10% e 20% de aumento.

Após a obtenção dos dados coletados no ambiente real e inseridos no modelo ideal simulado nomeado de ensaio 1, juntamente com os ensaios 2 e 3 obtidos por meio dos modelos limite mínimo de -10% e 20% respectivamente foi desenvolvido um sistema de gestão dos KPI junto ao indicador padrão mundial de desempenho *World Class* aplicados a célula robotizada para estamperia conforme indica a figura 7.



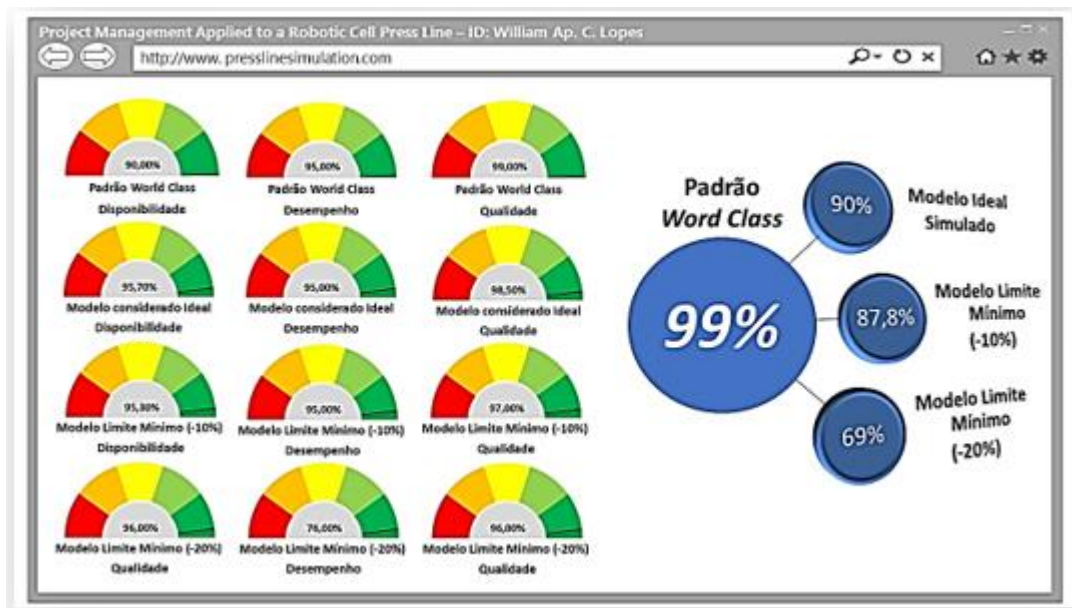


Figura 7. Tela do site desenvolvido para integrar e disponibilizar os KPI mensurados na célula robotizada.

Diante dos dados coletados os novos projetos são retroalimentados de acordo com os dados obtidos pelo banco de dados dos KPI, facilitando as entradas de dados entre o ambiente real e o virtual desenvolvido no software *Plant Simulation*.

### 5.3 Discussão

A utilização do *software Plant Simulation* para a simulação de diversos cenários produtivos da Célula Robotizada permitiu extrair ao máximo de cada variável e estudar o seu comportamento quando integradas. Desse modo, com as ferramentas computacionais a criação de projetos muito similares as implementações reais são uteis para o enfrentamento da crise que passa o Brasil e o mundo oferecendo um forte apoio a engenharia e aos gestores de projetos ligados a empresas automobilísticas.

Com o *software Plant Simulation* foram efetuados vários ensaios do modelo da Célula Robotizada e feito a coleta os dados que através de cálculos foram transformados em Índices de Eficiência, cujos resultados emitidos puderam atender a eficiência ideal adotada em vários sistemas produtivos contidos nos indicadores de OEE.

No estudo do modelo virtual da Célula Robotizada o projeto virtual da Célula Robotizada foi simulado no ambiente 2D onde foram analisadas as variáveis nos principais estágios do projeto, levando em consideração o posicionamento, a movimentação e a montagem de dois robôs manipuladores. Para a extração dos dados virtuais foram considerados os limites estabelecidos aos movimentos envolvidos nos acionamentos dos robôs

atuando no processo de estampagem considerando a tecnologia utilizada e o espaço físico das instalações.

Os valores dos Índices de Eficiência Global obtidos nas simulações do modelo ideal foram comparados aos valores dos Indicador *World Class* permitindo que fossem efetivadas as modificações do modelo da Célula Robotizada na elaboração do projeto. Os resultados dos Índices de Eficiência obtidos no Modelo Ideal foram compatíveis aos Índices de classes mundiais.

Foram apresentados na Tabela 2 os resultados obtidos com variações na produção de peças e alterações no tempo de paradas não programadas. Estes resultados finais mostram que os índices de eficiência ficam diminuídos a medida que a produção de peças se torna menor.

Com base nas simulações e nos ajustes utilizando valores com aproximações, foi selecionado um modelo construído com o *software Plant Simulation* com resultados que se mostraram mais aproximados com a realidade.

A inclusão de um sistema de leitura e armazenamento de KPI permitiu que os dados de KPI fossem armazenados em banco de dados de forma a documentar os principais resultados obtidos nas simulações, criando assim um documento para comparações e tomadas de decisão na gestão do projeto real e futuros.

Verifica-se que o estudo realizado neste trabalho analisou uma única célula e sua abrangência, no entanto, os recursos oferecidos pelo ambiente virtual do aplicativo em outras versões permitem a ampliação do modelo, incluindo mais componentes e robôs manipuladores atuando no processo. Dessa forma, é notado que a aplicação do *software Plant Simulation* no projeto de Células Robotizadas traz outras possibilidades, tais como a de se criar diferentes configurações de projetos de maior complexidade e otimizar o seu funcionamento na planta industrial das fabricas automotivas.

### **Conclusões**

Esta pesquisa teve como foco obter resultados de ensaios através de simulações em ambiente virtuais considerando um projeto de Célula Robotizada funcionando em um processo industrial de estampagem de uma planta de produção ligada a fabricação de veículos automotores. Neste trabalho foram apresentados métodos que envolvem simulações virtuais para criar modelos de projetos na área de automação e robótica com a ferramenta computacional *software Plant Simulation 14 versão educacional*. A técnica de simulação virtual se mostrou muito útil no campo de gestão de projetos envolvendo Célula Robotizada, pois no ambiente automobilístico, onde o processo de estampagem exige prazos cada vez mais

curtos, estas simulações permitem que a empresa obtenha um nível de competitividade elevado juntamente com versatilidade atrelada a eficiência. Além disto, visto que atualmente ainda existem situações de estampagem muitas vezes de forma manuais, a simulação do processo de forma virtual possibilita oferecer à linha de projetos da fábrica tipos de modelos de automação robotizado com as melhorias necessárias, ao que traz vantagens ao campo de estudo que trata da ergonomia e diretamente a produção. Nesta pesquisa também foi feito um estudo criterioso do desempenho do modelo simulado virtualmente, onde verificou-se o atendimento do Índices de Eficiência do projeto comparando os fatores que estabelecem eficiência ideal adotada nos indicadores de OEE. E assim, conforme mostrou os resultados, esta técnica utilizando ambiente virtual é bastante útil na gestão do projeto de Célula robotizada permitindo otimizar a interatividade dos 2 robôs com o processo produtivo, extraindo o máximo de cada elemento que integrará a instalação final e oferecendo credibilidade aos financiadores através dos indicadores de eficiência. Os resultados mostraram que softwares dedicados à simulação virtual são capazes de armazenar as documentações, criando banco de dados com os valores envolvidos no processo de criação dos modelos e, dessa forma, permitem que, na implementação os gestores possam disponibilizar destes dados e acompanhar cada fase da sua implantação real, fazendo os ajustes necessários a cada etapa concluída. Processar, integrar e disponibilizar dados que possam ser utilizados em novos projetos permite que o desenvolvimento seja mais eficiente ao considerar valores anteriormente obtidos junto a comparativos a simulação em *softwares*. De posse dessas informações estruturais do projeto e com a possibilidade de modificar as configurações, ajustar os parâmetros a cada fase, o gestor do projeto poderá acompanhar a sua implantação mantendo o nível de confiabilidade e diminuindo custos e assim aumentando o nível de qualidade do produto.

### Referências

- Agostinetto, J. (2006). Sistematização no processo de desenvolvimento de produto, melhoria contínua e desempenho: o caso de uma empresa de autopeças. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- Bangsow, S. (2010). Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions. Zwickau: Springer, 297 p.
- Braga, R. M. (2008). Os desafios para estabelecer um fluxo contínuo numa linha de produção: caso da indústria automobilística. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

- Busso, C. M. & Miyake, D. I. (2013). Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. *Produção*, v. 23, n. 2, p. 205-225.
- Cáceres, M. S. J. (2010). Proposta de Metodologia para Implementação de Sistemas de Manufatura Digital baseada no gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto com ênfase no Ensino tecnológico. 132f. Dissertação. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Esa, F., & Yusof, Y. (2016). Implementing overall equipment effectiveness (OEE) and sustainable competitive advantage: A case study of hicomdiecastings SDN. BHD. (HDSB). *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 199–203.
- Fedorko, G.; Molnár, V.; Strohmandl, J.; Horváthová, P.; Strnad, D. & Cech, V. (2022). Research on Using the Tecnomatix Plant Simulation for Simulation and Visualization of Traffic Processes at the Traffic Node. *Appl. Sci.* 2022, 12, 12131. <https://doi.org/10.3390/app122312131>
- Grabowik, C.; Ćwikła, G.; Kalinowski, K. & Kuc, M. A. (2020). Comparison Analysis of the Computer Simulation Results of a Real Production System: Production System Modelling with FlexSim and Plant Simulation Software. *Adv. Intell. Syst. Comput.* 950, 344–354.
- Hovanec, M.; Korba, P. & Solc, M. (2015). Tecnomatix for successful application in the area of simulation manufacturing and ergonomics. In *Proceedings of the Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Volume I (SGEM 2015)*, Albena, Bulgaria, 18–24; pp. 347–352.
- Janeková, J.; Fabianová, J. & Kádárová, J. (2023). Optimization of the Automated Production Process Using Software Simulation Tools. *Processes*, 11, 509. <https://doi.org/10.3390/pr11020509>
- Juhás, M. & Juhásová, B. (2020). Synchronization of Heterogeneous Multi-Robotic Cell with Emphasis on Low Computing Power. *Appl. Sci.*, 10, 5165. <https://doi.org/10.3390/app10155165>
- Lopes W. A. C. & Blos M. F. (2017). Análise da eficiência de uma Célula Robotizada para Estamparias partir da comparação entre Dados simulados em ambiente real e virtual - Um Estudo de caso aplicado a uma empresa automobilística brasileira. *Unisantia Science and Technology*, 2017, 6, Vol.6 No1 <http://periodicos.unisantia.br/index.php/sat>
- Lopes, W. A. C. (2018). Integração de célula flexível de manufatura aplicada a processo de fabricação automotiva envolvendo estampagem e soldagem. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós SP. Universidade Santa Cecília, Santos SP, Brasil
- Mourtzis D., Doukas M. & Bernidaki D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges, *Procedia CIRP*, Volume 25, Pages 213-229, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>.

- Neradilova, H. & Laskovsky, V. (2016). The usage of Tecnomatix plant simulation for simulation of mining rail transport. In Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM2016, Albena, Bulgaria, 30 June–6 July 2016; Volume 2, pp. 929–934.
- Pereira J.A.P., Campilho R.D.S.G., Silva F. J. G. & Sánchez-Arce I. J. (2022). Robotized cell design for part assembly in the automotive industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 236(16):8807-8822. doi:[10.1177/09544062221082860](https://doi.org/10.1177/09544062221082860)
- Prabowo, H. A., Suprpto, Y. B., & Farida, F. (2018). The Evaluation of Eight Pillars Total Productive Maintenance (TPM) Implementation and Their Impact on Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Waste. Sinergi, vol. 22, no. 1, pp. 13–18.
- Siderska, J. (2016). Application of tecnomatix plant simulation for modeling production and logistics processes. Business, Management and Education, [s.l.], v. 14, n. 1, p.64-73. Vilnius Gediminas Technical University. <http://dx.doi.org/10.3846/bme.2016.316>.
- Siemens (2013). Plant Simulation. Disponível em: <[https://www.plm.automation.siemens.com/pt\\_br/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml](https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml)>. Acesso em: 27 jan. 2023.
- Siemens (2022). Press Line Simulation (PLS). Disponível em: <<https://new.siemens.com/global/en/markets/machinebuilding/metal-forming/solutions/press-line-simulation.html>>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- Silva, D. M., & Oliveira, H. M. (2020). Application of the OEE tool as a proposed increase in productivity in grain drying systems. Gestão & Produção, 27(4), e4964. <https://doi.org/10.1590/0104530X4964-20>
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. 1998. 14 f. Course of Industrial Engineering, College Station, Texas.
- Scholz-Reiter, B & Freitag, M. (2007). Autonomous Processes in Assembly Systems. In: CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering, 2007. 56p, Bremen.
- Tobe, A. Y., Widhiyanuriyawan, D. & Yuliati, L. (2017). The Integration of Overall Equipment Effectiveness (OEE) Method and Lean Manufacturing Concept To Improve Production Performance (Case Study: Fertilizer Producer). Journal of Engineering and Management in Industrial System, vol. 5, no. 2, pp. 102–108.

Submetido em: 24.02.2023

Aceito em: 27.03.2023