

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LARA CORRÊA RODRIGUES

Implementação de um sistema para apontamento do índice OEE em tempo real
na linha de produção

São Carlos

2023

LARA CORRÊA RODRIGUES

Implementação de um sistema para apontamento do índice OEE em tempo real
na linha de produção

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Müller Guerrini

São Carlos

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

R696i Rodrigues, Lara Corrêa
 Implementação de um sistema para apontamento do
 índice OEE em tempo real na linha de produção / Lara
 Corrêa Rodrigues; orientador Fábio Müller Guerrini. São
 Carlos, 2023.

 Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais
 e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
 Universidade de São Paulo, 2023.

 1. : Acompanhamento em tempo real. 2. Indicador de
 OEE. 3. Automatização. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato / Student: Lara Corrêa Rodrigues
Título do TCC / Title: Implementação de um sistema para apontamento do índice OEE em tempo real na linha de produção
Data de defesa / Date: 06/07/2023

Comissão Julgadora / Examining committee	Resultado / Result
Professor Fábio Müller Guerrini (orientador)	APROVADO
Instituição / Affiliation: EESC - SEP	
Doutor Edson Walmir Cazarini	APROVADO
Instituição / Affiliation: EESC - SEP	
Doutor Marcel Andreotti Musetti	APROVADO
Instituição / Affiliation: EESC - SEP	

Presidente da Banca / Chair of the Examining Committee



Professor Fábio Müller Guerrini

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Newton e Márcia por serem suporte nos momentos difíceis e sempre me incentivarem na busca constante pelo conhecimento.

À minha irmã Amanda pelo companheirismo nos momentos da minha vida.

Às minhas avós Glória e Maria Aparecida por me ensinarem a viver com simplicidade, amor e alegria.

Ao meu namorado por me ajudar e incentivar a ser melhor a cada dia.

Aos meus amigos que tornaram meu dia a dia mais leve.

Agradeço também a todos os professores com os quais tive a oportunidade de conviver e que tanto me ensinaram ao longo da minha trajetória. Em especial agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Müller Guerrini que sempre se mostrou disposto a me ajudar e auxiliar durante a execução deste presente trabalho.

“O que pode ser medido, pode ser
melhorado.”

Peter Drucker

RESUMO

RODRIGUES, L. C. **Implementação de um sistema para apontamento do índice OEE em tempo real na linha de produção.** 2023. 52 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Com a chegada da Indústria 4.0 é possível observar grandes mudanças e uma constante busca pelo aprimoramento de estratégias já conhecidas, como a filosofia do TPM (*Total Productive Maintenance*) que é amplamente utilizada. A implementação de máquinas autônomas e de tecnologias inseridas no ramo industrial estão sendo cada vez mais procuradas em prol da otimização da produtividade e maior interação entre os sistemas já utilizados. Com isso, a capacidade de visualização e acompanhamento da linha de produção em tempo real se tornou essencial para a rápida e efetiva tomada de decisões e isto se dá graças à implementação das novas tecnologias desenvolvidas ao longo da última revolução industrial. O objetivo geral deste trabalho é apresentar o estudo do desenvolvimento e implementação de um sistema integrado entre as ferramentas VBA (*Visual Basic for Applications*) e Power BI para acompanhamento em tempo real da eficiência (OEE) de uma célula fabril ao longo de sua linha de produção. Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se o método de pesquisa-ação com abordagem qualitativa a qual permitiu sua aplicação em um ambiente real: uma empresa do setor automotivo. Posteriormente ao estudo, foi possível compreender as vantagens e os benefícios da utilização do acompanhamento da linha de produção em tempo real, além das ações necessárias para promover a melhoria contínua da área na manufatura.

Palavras-chave: Acompanhamento em tempo real. Indicador de OEE. Automatização.

ABSTRACT

RODRIGUES, L. C. **Implementation of a system for real-time OEE factor in the production line.** 2023. 52 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Along with the arrival of Industry 4.0 it is possible to observe great changes and a constant search for the improvement of the strategies such as TPM (Total Productive Maintenance) which is very used. The implementation of autonomous machines and technologies inserted in the industrial branch are being increasingly sought in favor of optimizing productivity and greater interaction between the systems already used. Thereby, the ability to visualize and monitor the production line in real time has become essential for fast and effective decision making. This could be done thanks to the implementation of new technologies developed throughout the industrial revolutions. The general objective of this work is to present the study of the development and implementation of an integrated system between VBA (Visual Basic for Applications) and Power BI tools for monitoring, in real time the efficiency (OEE) of a factory cell along its production line. For the development of the study the method of action research with a qualitative approach was used, in which its application was allowed in a real environment: a company in the automotive sector. After the study, it was possible to understand the advantages and benefits of using real-time monitoring of the production line, as well as the actions necessary to promote the continuous improvement of the area in manufacturing.

Keywords: Real-time tracking. OEE indicator. Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oito pilares do TPM.....	27
Figura 2 – Relação das 6 grandes perdas com o índice OEE	28
Figura 3 – Sistema de monitoramento em tempo real da produção	30
Figura 4 – Exemplo de código de macro em linguagem VBA para enviar e-mail.....	31
Figura 5 – Arquitetura do Power BI	32
Figura 6 – Exemplo de dashboard dentro do Power BI.....	33
Figura 7 – Fórmula DAX	33
Figura 8 – Diagrama das etapas presentes na célula de usinagem	37
Figura 9 – Quadro hora a hora.....	38
Figura 10 – Diagrama das etapas para atualização do indicador de OEE	38
Figura 11 – Diagrama dos 5 porquês	39
Figura 12 – Diagrama de Ishikawa.....	40
Figura 13 – Formulário online de Acompanhamento da Produção.....	41
Figura 14 – Seção de perdas do formulário online de Acompanhamento de Produção.....	42
Figura 15 – Quadro hora a hora online.....	43
Figura 16 – Dashboard para acompanhamento do OEE (dados ilustrativos)	44
Figura 17 – Exemplo de alerta de preenchimento incorreto no formulário online.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo de funcionalidades do VBA e Power BI.....	34
Quadro 2 – Protocolo de pesquisa-ação	36
Quadro 3 – Medidas DAX.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre cenário anterior e posterior à implementação do projeto	46
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BI	–	Business Intelligence
CPS	–	Cyber-Physical Systems
DAX	–	Data Analysis Expressions
IoT	–	Internet of Things
M2M	–	Machine to Machine
OEE	–	Overall Equipment Effectiveness
OPEX	–	Operational Expenditure
TPM	–	Total Productive Maintenance
VBA	–	Visual Basic for Applications

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Objetivo	24
1.2 Justificativa.....	24
1.3 Estrutura da Monografia.....	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 TPM (<i>Total Productive Maintenance</i>)	26
2.2 OEE (<i>Overall Equipment Effectiveness</i>)	27
2.2.1 Monitoramento de OEE em tempo real.....	29
2.3 Visual Basics for Applications (VBA)	31
2.4 Microsoft Power BI	32
3. METODOLOGIA.....	35
3.1 Caracterização da empresa	35
3.2 Método de pesquisa	35
3.3 Caracterização do Cenário.....	37
3.3.1 Oportunidade de melhoria	39
4. RESULTADOS	41
4.1 VBA.....	41
4.2 Integração com o Power BI	43
4.3 Discussão dos resultados	45
5. CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A	52

1. INTRODUÇÃO

O termo “Indústria 4.0” foi apresentado pela primeira vez no ano de 2011, sendo associado a uma alternativa de fortalecimento do setor industrial alemão. Utilizando-se da internet, a nova revolução industrial engloba uma série de dispositivos capazes de se comunicarem entre si, gerando uma grande rede de interação (BAHRIN et al., 2016). Dentre os principais sistemas base que constituem a Indústria 4.0 pode-se citar: internet das coisas (IoT) e os sistemas ciber físicos (CPS) (SACOMANO et al., 2018).

CPS vem do inglês *cyber-physical systems* que consiste na capacidade de acompanhar, monitorar e enviar dados através de um espaço virtual e refletí-los no mundo real, ou seja, é possível visualizar toda cadeia produtiva em tempo real (SACOMANO et al., 2018). Toda a integração entre sistemas, real e virtual, pôde ser facilitada pela aplicação da IoT, uma vez que esta permite a conexão e transmissão de informações de forma síncrona por meio de uma rede de internet (SANTOS et al. 2018). Define-se IoT como objetos que se conectam e permitem serem controlados por meio de uma conexão de rede (CAVALLI, 2016). Com isso, pode-se dizer que tanto o emissor quanto o receptor dos sistemas são operados por objetos utilizando da internet para tal, sem ter a necessidade da presença de uma pessoa para efetuar o monitoramento (SACOMANO et al., 2018).

Essa grande interconectividade permitiu o surgimento das fábricas inteligentes. Capazes de se autogerenciar, tomar decisões e prevenir erros ao longo da linha de produção por meio do *Machine to Machine* (M2M), o acompanhamento em tempo real de forma remota se tornou uma grande ferramenta de otimização da cadeia produtiva de valor (SACOMANO et al., 2018). Contudo, a automação gera um grande fluxo de informações e dados que precisam ser manipulados para se obter, de forma clara, a visualização dos cenários do chão de fábrica. Uma ferramenta para tal é o Power BI, dado que disponibiliza uma série de visuais capazes de auxiliar na construção de estratégias e tomadas de decisões para gerenciamento das organizações (SALVADORINHO et al., 2020).

Em um cenário atualmente competitivo, onde a indústria 4.0 exige mercados cada vez mais flexíveis e utilizando menos recursos, a aplicação da metodologia do TPM é uma estratégia importante para otimizar a produção. Por meio dela é possível aumentar a eficiência dos equipamentos e eliminar falhas, impactando diretamente na produtividade (CHINTADA; VENKATA, 2020). Ao utilizar recursos que englobam a nova revolução industrial, o processo

de tomada de decisão passa a ser mais assertivo e existe maior adaptabilidade do controle da linha de produção (KHAN; TUROWSKI, 2016).

Entretanto, existem desafios que precisam ser vencidos para que as empresas sobrevivam a esse novo cenário. A falta de acesso às informações em tempo real da linha de produção promove um atraso na reação às mudanças do mercado e a tomada de decisões, tornando os processos mais rígidos e menos eficientes (SANTOS et al., 2018).

Em vista disso, o trabalho traz como questão de pesquisa: quais fatores devem ser analisados na implementação do sistema integrado entre Excel e Microsoft Power BI para promover o acompanhamento *online* da linha de produção? O objetivo, a justificativa e o método utilizado para essa pesquisa são detalhados a seguir.

1.1 Objetivo

Implementar uma solução utilizando as ferramentas VBA (*Visual Basic for Applications*) e Microsoft Power BI para o acompanhamento, em tempo real, da eficiência de uma célula fabril.

1.2 Justificativa

Tendo em vista a alta competitividade para se manter no mercado, as empresas estão buscando novas tecnologias de modo a aprimorar seus processos produtivos e agregar maior valor ao produto. O acompanhamento da linha de produção em tempo real se tornou essencial para tomada de decisões mais assertivas e maior adaptabilidade da fábrica conforme a sua necessidade.

Buscando tais melhorias, apresenta-se o estudo da implementação de sistemas integrados que promovam uma análise estratégica do cenário produtivo simultaneamente.

1.3 Estrutura da Monografia

As próximas seções deste trabalho foram divididas em quatro capítulos. O segundo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados no estudo, com objetivo de promover melhor entendimento acerca dos conceitos.

No terceiro capítulo são apresentados o método de pesquisa utilizado e a coleta de dados, caracterizando o cenário de estudo.

No capítulo quatro foram relatados os resultados obtidos no decorrer do estudo, apontando o desenvolvimento da implementação do sistema na linha de produção.

Por fim foram feitas as considerações finais acerca dos objetivos, benefícios e próximos passos para aprimoramento do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

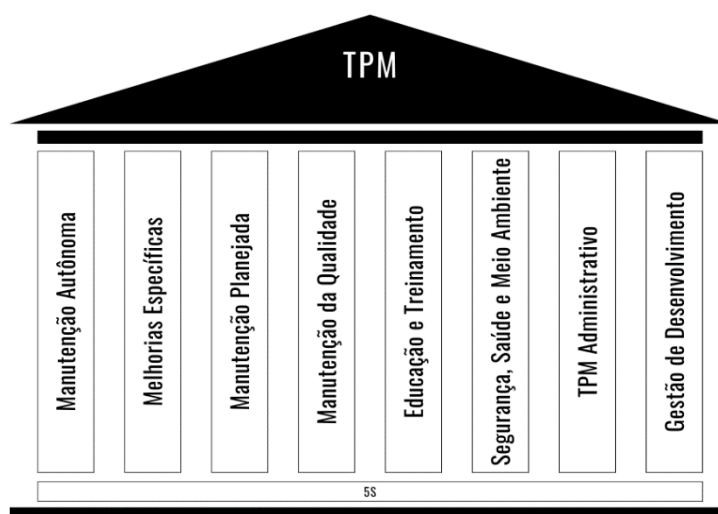
Com objetivo de promover a melhoria contínua, muitas empresas empregam a filosofia do TPM na linha de produção. Entretanto, com a alta competitividade decorrente do avanço tecnológico, a aplicação dessas práticas não são suficientes para garantir a assertividade e eficiência necessárias. Logo, este capítulo abordará como recursos da indústria 4.0 podem englobar tais demandas. Apresenta-se na sequência uma revisão acerca do TPM, OEE, destacando o monitoramento do OEE em tempo real, e ferramentas como VBA e Power BI.

2.1 TPM (*Total Productive Maintenance*)

Usualmente definido como Manutenção Produtiva Total, TPM se trata de uma filosofia japonesa com o objetivo de otimizar a eficiência dos processos com a redução de perdas e eliminação de defeitos, promovendo a manutenção preventiva do equipamento durante sua vida útil (NAKAJIMA, 1988). Com princípios de promover a melhoria contínua e envolver os trabalhadores de diferentes áreas e níveis, foram definidas oito práticas básicas da implementação do TPM que concretizam seu conceito, sendo elas (JAIN et al., 2014):

1. Manutenção Autônoma
2. Melhorias Específicas
3. Manutenção Planejada
4. Manutenção da Qualidade
5. Educação e Treinamento
6. Segurança, Saúde e Meio Ambiente
7. TPM Administrativo
8. Gestão de Desenvolvimento

Figura 1: Oito pilares do TPM



Fonte: Adaptado de Zlatić, 2019

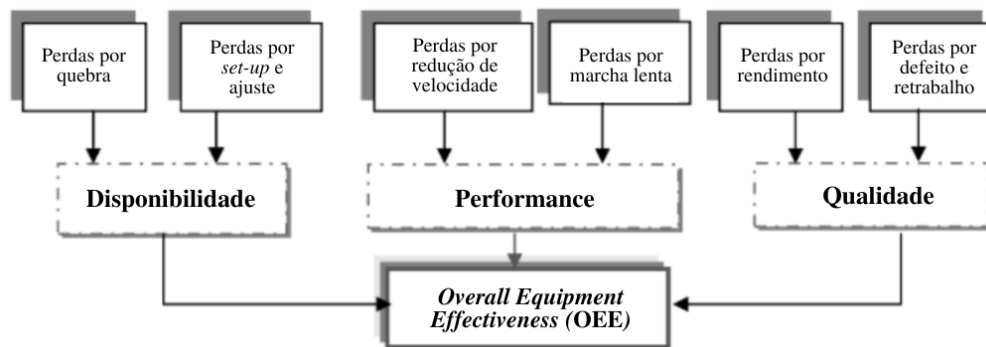
De forma a analisar e resolver os problemas, as ferramentas mais utilizadas na aplicação do TPM são o diagrama de Pareto, diagrama de causa e efeito, sistemas Poka Yoke e ferramentas de simulação (JAIN et al., 2014). Com isso, a aplicação do conceito do TPM traz como benefícios o aumento da produtividade, a otimização de recursos, redução no tempo de inatividade dos equipamentos e maior qualidade do produto final (SHARMA et al., 2006).

Entretanto, a análise da efetividade da aplicação do método se dá pelo indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), o qual está relacionado com o desperdício de tempo e demais perdas que afetam o rendimento da produção. (LJUNGBERG, 1998).

2.2 OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

O objetivo principal do indicador OEE é mensurar a eficiência de um sistema ou um único equipamento, levando-se em consideração a disponibilidade, performance do processo e a qualidade do produto (SHARMA et al., 2006).

Figura 2: Relação das 6 grandes perdas com o índice OEE



Fonte: Adaptado de SHARMA et al., 2006

Há seis perdas que afetam diretamente a performance dos equipamentos (JAYASWAL; RAJPUT, 2012):

- I. Falhas do equipamento e avarias: perdas por tempo e produtos com defeitos
- II. *Setup* e ajuste: perdas relacionadas ao tempo de parada entre a última peça produzida e o início da produção da próxima peça diferente
- III. Paradas curtas: perda pela interrupção da produção por um pequeno período de tempo devido mau funcionamento temporário ou quando a máquina está operando em marcha lenta
- IV. Redução de velocidade: perda devido à diferença de velocidade entre a expectativa e a operação real da máquina
- V. Perdas no início das atividades: relacionado à perda de tempo até que a máquina estabilize o rendimento na produção
- VI. Defeitos e retrabalho: perda de qualidade

As seis grandes perdas podem ser agrupadas em três diferentes parâmetros: Disponibilidade, Performance e Qualidade. São esses fatores na qual o cálculo do OEE é baseado, conforme apresentado na equação (1) (SINGH et al., 2018).

$$\text{OEE} = (\text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade}) \% \quad (1)$$

A disponibilidade leva em consideração perdas em que a produção é interrompida por um tempo mais longo. É o caso de falhas nos equipamentos, *setup* e falta de material. Pode ser calculada utilizando a equação 2.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo Planejado de Produção}} \quad (2)$$

O tempo de operação consiste no tempo de máquina em funcionamento (produzindo), enquanto o tempo planejado de produção considera todo o tempo programado para produzir, incluindo as perdas (SINGH et al., 2018).

A performance considera fatores que prejudicam o desempenho máximo do processo, como perda de velocidade ou desgaste da máquina e ineficiência do operador. É possível se calcular por:

$$\text{Performance} = \frac{\text{Tempo de Ciclo ideal}}{\text{Tempo de Operação/Total de Peças}} \quad (3)$$

Na equação 3, o tempo de ciclo ideal refere-se ao tempo mínimo que se é esperado do processo analisando seu máximo desempenho (SINGH et al., 2018).

Já a qualidade entende como perdas aquelas que afetam os padrões de qualidade do produto, é o exemplo de retrabalho e defeitos. O fator é dado por (SINGH et al., 2018):

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Peças boas}}{\text{Total de Peças}} \quad (4)$$

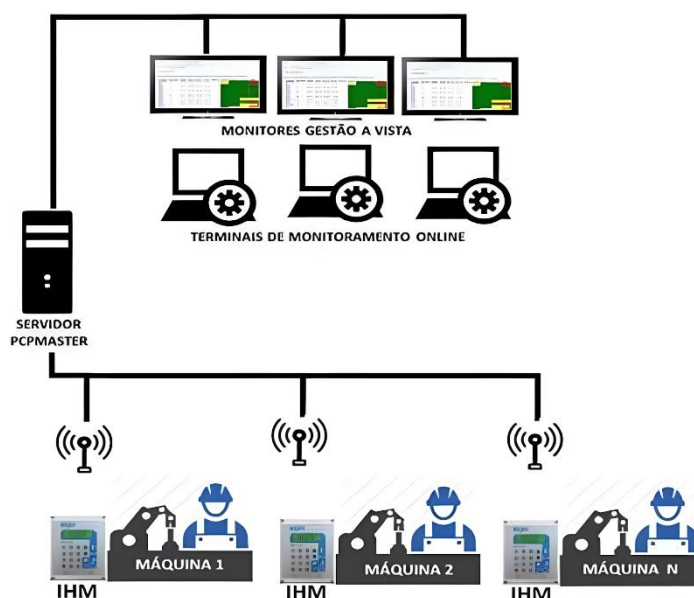
Conclui-se que a aplicação do OEE auxilia no entendimento e acompanhamento do processo de forma mais facilitada, sendo a melhor ferramenta para aprimorar a efetividade e busca contínua pela eliminação de desperdícios (SINGH et al., 2018). Dentre os principais benefícios de um bom índice de OEE, e consequentemente boa aplicação da metodologia do TPM, tem-se o aumento da produtividade, otimização de recursos, redução no tempo de inatividade e maior qualidade do produto final (SHARMA et al., 2006).

2.2.1 Monitoramento de OEE em tempo real

A implementação do monitoramento da linha de produção por meio da tecnologia IoT propicia avanços relacionados ao gerenciamento e acompanhamento do cenário produtivo. A automatização permite que setores administrativos obtenham dados em tempo real e possam acessá-los de forma remota, gerando relatórios automáticos e minimizando erros manuais. Já na manufatura, operários e engenheiros podem utilizar de indicadores como o OEE para melhorar os processos e viabilizar a redução de custos e aumento da produtividade (PARARACH; MUTTAMARA; KAEWPRAPHA, 2021). Para tal integra-se na linha de produção um sistema responsável pela comunicação entre máquina e operador que,

posteriormente, é utilizado para disponibilizar as informações e dados no formato de relatórios ou gráficos (MAZUR et al., 2018).

Figura 3: Sistema de monitoramento em tempo real da produção



Fonte: MAZUR et al., 2018

Três fases são essenciais para a implementação do monitoramento na linha de produção: a física, de transporte e de aplicação. A etapa física consiste em ter foco delimitado na coleta e preparação dos dados, incluindo tecnologias como sensores, controladores e equipamentos aquisitores de dados. A fase de transporte, compreende a transferência e o início do processamento de dados. Para isso bancos de dados e dispositivos de transporte de rede são necessários. Na etapa de aplicação há o tratamento das informações e a disponibilização dos mesmos em formatos para análise estratégica, *Big Data* e inteligência artificial são exemplos utilizados nesta fase (LI; YANG; JIANG, 2023).

Dessa forma, todos os departamentos são capazes de acompanhar a atual situação da linha e realizar o suporte de forma imediata. A disponibilização das informações não somente para o setor gerencial promove maior autonomia dos operários na resolução de problemas, diminuindo desperdício de tempo e trazendo maior importância às atividades realizadas (MAZUR et al., 2018). Ademais, o monitoramento viabiliza um histórico de dados para que o melhoramento seja realizado de modo contínuo (PARARACH; MUTTAMARA; KAEWPAPHA, 2021).

2.3 Visual Basics for Applications (VBA)

Comumente utilizadas para entrada e armazenamento de dados, as planilhas viabilizam a análise e visualização das informações. Ainda assim, para gerar relatórios de maior precisão e eficiência, habilita-se o VBA (KALWAR, 2020).

Definido como uma linguagem de programação presente dentro dos *softwares* da Microsoft Office, o VBA é utilizado principalmente, em prol da automatização de diferentes tarefas ou passos considerados repetitivos. Para isso, dentro da interface do Excel, faz-se o uso de um conjunto de instruções dadas na linguagem VBA, denominada “macros” (LAUTARO, 2020). Por meio das macros é possível criar uma interação entre sistemas e usuário, como na Figura 4 em que tem-se a exemplificação da interface entre Outlook e o usuário, ou seja, uma macro para tornar automático o envio de e-mails (KIM et al., 2018).

Figura 4: Exemplo de código de macro em linguagem VBA para enviar e-mail

```

1 Sub SendEmail()
2   Dim OutlookApp As Object
3   Dim MItem As Object
4
5   'Create Outlook object using CreateObject()
6   Set OutlookApp = CreateObject("Outlook.Application")
7
8   For Each cell in
9     Columns("a").Cells.SpecialCells(xlCellTypeConstants)
10    email_ = cell.Value
11    subject_ = cell.Offset(0, 1).Value
12    body_ = cell.Offset(0, 2).Value
13
14    'Create Mail Item and send it via Outlook object
15    Set MItem = OutlookApp.CreateItem(0)
16    With MItem
17      .To = email_
18      .Subject = subject_
19      .Body = body_
20      .Display
21    End With
22  Next
23 End Sub

```

Fonte: KIM et al., 2018

Dentro das macros existem funções com especificidades, que podem ser chamadas na programação para automatização das ações. Funções condicionais e de *looping* são alguns desses exemplos, fazendo-se uso da nomenclatura “IF” e “For-Next” respectivamente (KALWAR, 2020).

Analisando-se a aplicação na linha de produção, onde a precisão e eficiência são essenciais para a garantia da competitividade de mercado, o VBA mostrou-se uma ferramenta importante para tal otimização. A interação entre sistemas consegue proporcionar vantagens

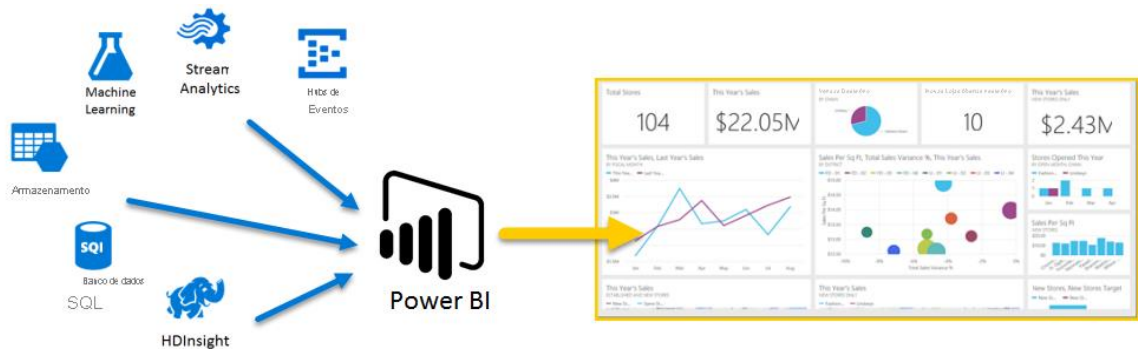
como: reduzir o tempo de execução de tarefas rotineiras, minimizar erros e aumentar o valor agregado nas outras atividades manuais que requerem maior importância (KALWAR, 2020).

2.4 Microsoft Power BI

A implementação das tecnologias desenvolvidas na Indústria 4.0 no chão de fábrica promovem, constantemente, uma grande movimentação de dados. Dessa forma, a utilização de ferramentas de análise visual e de *storytelling* são essenciais por possibilitar a interpretação das informações de forma estratégica, já que a situação real do cenário produtivo é transmitida por meio delas de forma clara e objetiva (SALVADORINHO; TEIXEIRA; SANTOS, 2020).

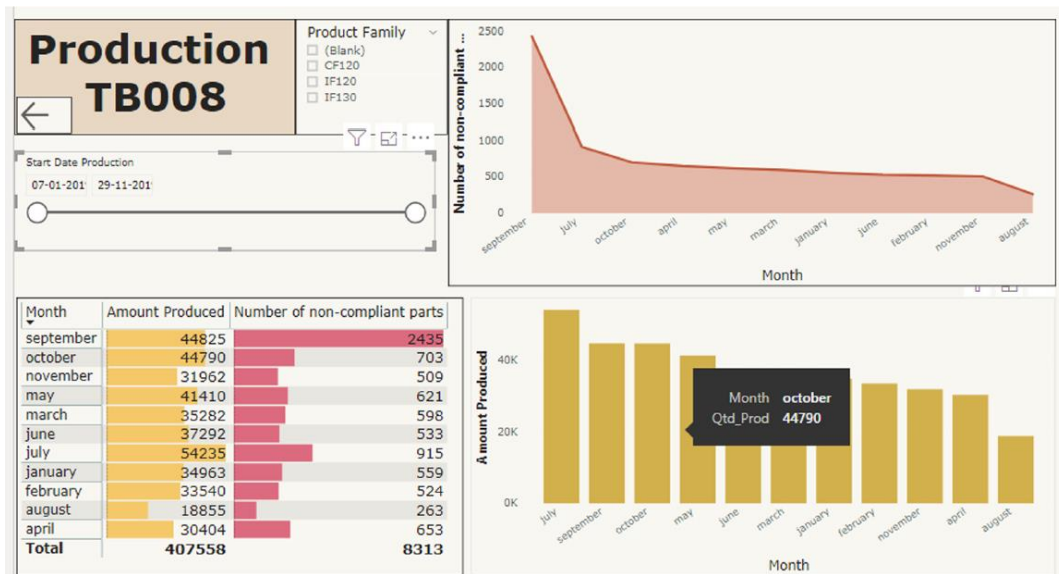
Business Intelligence (BI) pode ser definido como sendo um conjunto de sistemas de processamento de dados que auxiliam na tomada de decisões, promovendo melhor visualização e análise das informações. Um exemplo dessa aplicação é o Microsoft Power BI, capaz de compartilhar dados de maneira personalizada e inteligente (SALVADORINHO; TEIXEIRA; SANTOS, 2020).

Figura 5: Arquitetura do Power BI



Fonte: MICROSOFT LEARN, 2023

A visibilidade das informações no Microsoft Power BI é feita através de *reports* e *dashboards*, os quais permitem a interação e construção de visuais mais dinâmicos para auxiliar no estudo de dados. Ferramentas como gráficos, filtros e tabelas podem ser utilizados pelo usuário para compor essa análise (FERRARI; RUSSO, 2016). Na Figura 6 há um exemplo de aplicação do *software* para gerenciamento dos dados diretamente de uma célula do chão de fábrica, facilitada a partir do mecanismo da IoT.

Figura 6: Exemplo de *dashboard* dentro do Power BI

Fonte: SALVADORINHO; TEIXEIRA; SANTOS, 2020

Contudo, anterior à construção dos visuais apresentados, a base de dados é manipulada pelo Editor do Power Query presente dentro do Power BI. Nesta etapa, entende-se quais informações são realmente necessárias para construção dos *reports*, ou seja, os dados sofrem transformações, podendo ser excluídos ou inseridos nas tabelas, ter suas colunas renomeadas ou qualquer outra formatação necessária pelo usuário (COLLIE; SINGH, 2015).

Após a transformação dos dados utilizando o Power Query, uma das ferramentas usadas para controle dos dados nos visuais são as nomeadas “medidas” que fazem uso da linguagem DAX. Por meio delas é possível realizar cálculos e soluções de análises que permitem a interação entre usuário e relatório, valendo-se de operadores e funções (FERRARI; RUSSO, 2016). Na Figura 7, tem-se o exemplo de uma medida criada para calcular a subtração do somatório das colunas: *SalesAmount*, *DiscountAmount* e *ReturnAmount*.

Figura 7: Fórmula DAX

Net Sales = SUM(Sales[SalesAmount]) - SUM(Sales[DiscountAmount]) - SUM(Sales[ReturnAmount])

Fonte: MICROSOFT LEARN, 2023

Um dos importantes recursos que o Power BI possui é a capacidade de acompanhamento *online* e automatização da atualização de dados. Quando utiliza-se esse artifício de atualização programada, é possível definir horários e a frequência para que a última versão do relatório do Power BI seja disponibilizado. Dessa forma, os visuais sempre irão refletir o momento atual

das informações, permitindo o monitoramento em tempo real do cenário em questão (FERRARI; RUSSO, 2016).

Em resumo, no quadro 1, é apresentado as principais funcionalidades das ferramentas mencionadas anteriormente, VBA e Power BI.

Quadro 1: Resumo de funcionalidades do VBA e Power BI

	Funções
VBA (<i>Visual Basics for Applications</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Automatização de tarefas repetitivas (LAUTARO, 2020) • Criação de macros específicas (KALWAR, 2020) • Entrada e armazenamento de dados (KALWAR, 2020) • Permite interação entre diferentes sistemas (KIM et al., 2018)
Power BI	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta visuais em formatos estratégicos e de <i>storytelling</i> (SALVADORINHO; TEIXEIRA; SANTOS, 2020) • Automatização da atualização de dados e acompanhamento <i>online</i> das informações (FERRARI; RUSSO, 2016) • Cálculos interativos por meio da linguagem DAX (FERRARI; RUSSO, 2016) • Criação de <i>reports</i> e <i>dashboards</i> personalizados (FERRARI; RUSSO, 2016) • Manipulação e tratamento de dados por meio do Power Query (COLLIE; SINGH, 2015)

Fonte: Autoria própria

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em uma célula fabril de usinagem situada em uma indústria do setor automotivo, na qual tem-se a busca constante pela otimização da linha de produção. Sendo assim, com base em tecnologias da Indústria 4.0, o estudo visa apresentar e implementar um sistema que permite o acompanhamento em tempo real da eficiência da célula fabril.

3.1 Caracterização da empresa

Definida como uma empresa de grande porte, a multinacional abordada no estudo contém uma ampla gama de produtos vinculados ao gerenciamento de energia, seja ela elétrica, hidráulica ou mecânica. Fundada há mais de 100 anos, a empresa é composta por mais de 96 mil funcionários ao redor do mundo e atua em mais de 175 países.

Já no Brasil a empresa opera em quatro fábricas distintas que são responsáveis por atender uma alta demanda do mercado interno e também internacional, possuindo constante expansão.

3.2 Método de pesquisa

A princípio foi realizada uma revisão bibliográfica acerca de ferramentas presentes na Indústria 4.0 e técnicas relacionadas a melhoria contínua. Em sequência, estudou-se a aplicação desses conceitos em uma célula fabril.

Thiollent (2022) define pesquisa-ação como sendo

[...] um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. (THIOLLENT, 2022).

Desse modo, o estudo utilizará do método de pesquisa-ação uma vez que permitiu-se a interação entre pesquisador e ambiente fabril para desenvolvimento e aplicação do projeto. Com relação à abordagem empregada, esta será do tipo qualitativa em razão da utilização do caráter

interpretativo para análise dos resultados obtidos em um ambiente real. No quadro 2 é apresentado o protocolo de pesquisa, visando aumentar a confiabilidade da mesma.

Durante o presente estudo alguns profissionais foram consultados de modo a auxiliar a análise e validação de dados, sendo eles:

- Coordenadora de OpEx: responsável por promover ações de melhoria contínua na fábrica, conduz a aplicação de metodologias *lean* e outras relacionadas;
- Operador da célula de usinagem: responsável por manusear as máquinas da célula e apontar os dados dos indicadores da linha de produção;
- Gerente da área: responsável por gerenciar a área da fábrica como um todo, tendo uma visão acerca do processo completo;

Quadro 2: Protocolo de pesquisa-ação

Visão geral do projeto de pesquisa-ação	Tipo de pesquisa	Exploratória
	Problema prático a ser solucionado	Necessidade de atualização e acompanhamento dos dados da linha de produção em tempo real, principalmente do índice de OEE
	Questão de pesquisa	Quais fatores devem ser analisados na implementação do sistema integrado entre Excel e Microsoft Power BI para promover o acompanhamento <i>online</i> da linha de produção?
	Objetivo	Implementar uma solução utilizando as ferramentas VBA (<i>Visual Basic for Applications</i>) e Microsoft Power BI para o acompanhamento, em tempo real, da eficiência de uma célula fabril
	Validade do constructo	Analisar, em conjunto com os responsáveis pela melhoria contínua da fábrica, se a solução proposta é eficaz e traz melhor visualização acerca do processo
	Validade externa	Validar a solução apresentada com base na literatura apresentada no referencial teórico
	Confiabilidade	Verificação da funcionalidade do sistema proposto
Procedimento de campo	Unidade de análise	Empresa do setor automotivo
	Definição de grupos de análise	Responsáveis pela implementação de metodologias envolvendo melhoria contínua, operadores da célula e gerentes

	Agenda de coleta de dados	Abril de 2021 a novembro 2021
	Local	SP
	Ciclos de pesquisa-ação	Análise da situação atual, busca por solução e implementação do sistema proposto
	Fontes gerais de informação	Literatura, reuniões, levantamento de dados, comparação entre modelos

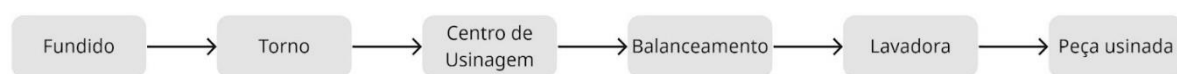
Fonte: Autoria própria

Elaborou-se um roteiro para servir de guia no decorrer da pesquisa, pontuando questões a serem respondidas com a solução proposta pelo estudo e direcionar melhor o projeto. Tal roteiro encontra-se no apêndice A.

3.3 Caracterização do Cenário

A célula referente ao estudo possui, dentre suas funções principais, quatro etapas, além daquelas referente ao manuseio da peça, sendo elas: torneamento, usinagem, balanceamento e lavagem da peça. A Figura 8 representa tal sequência de processos.

Figura 8: Diagrama das etapas presentes na célula de usinagem



Fonte: Autoria própria

Cada operação destacada no diagrama possui um tempo mínimo necessário para ser concluída e, com base nesse tempo, calcula-se a meta de peças a serem usinadas, por hora, na célula de estudo. Por meio da equação 5 tem-se o cálculo da meta, na qual o Tempo Mínimo de Produção da Peça é dado em minutos e representa a soma dos tempos mínimos de produção de cada etapa para uma única peça.

$$\text{Meta} = \frac{60}{\text{Tempo mínimo de produção da peça}} \quad \text{peças/hora} \quad (5)$$

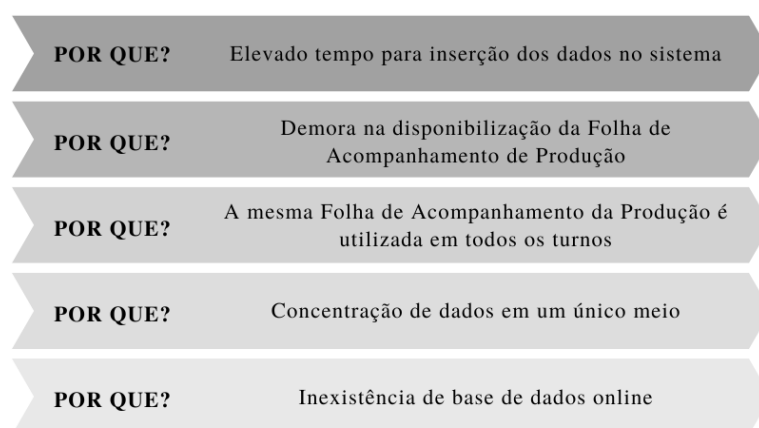
Subsequentemente é feita a inserção de dados no sistema na qual também é efetuada manualmente, onde digitam-se os dados correspondentes da folha e, assim que presentes no sistema, uma base de dados é atualizada. Ou seja, desde a coleta de dados referente à produção até a visualização das informações no sistema, levava-se cerca de um dia para se obter o cenário da produção e fazer as análises correspondentes. Tais interpretações acerca do índice OEE obtido refletiam na busca por melhorias na linha de produção da fábrica, de modo a eliminar desperdícios e perdas nos processos.

3.3.1 Oportunidade de melhoria

A fim de identificar as oportunidades de mudanças no apontamento do OEE, foram utilizadas duas ferramentas de melhoria contínua: técnica dos 5 porquês e diagrama de Ishikawa. Aplicando-se a técnica dos 5 porquês foi possível verificar que a causa raiz do problema de atraso na visualização do OEE está vinculada à não disponibilização e atualização dos dados simultaneamente, ou seja, ao não acompanhamento em tempo real da linha de produção.

Figura 11: Diagrama dos 5 porquês

ATRASO NA VISUALIZAÇÃO DO OEE

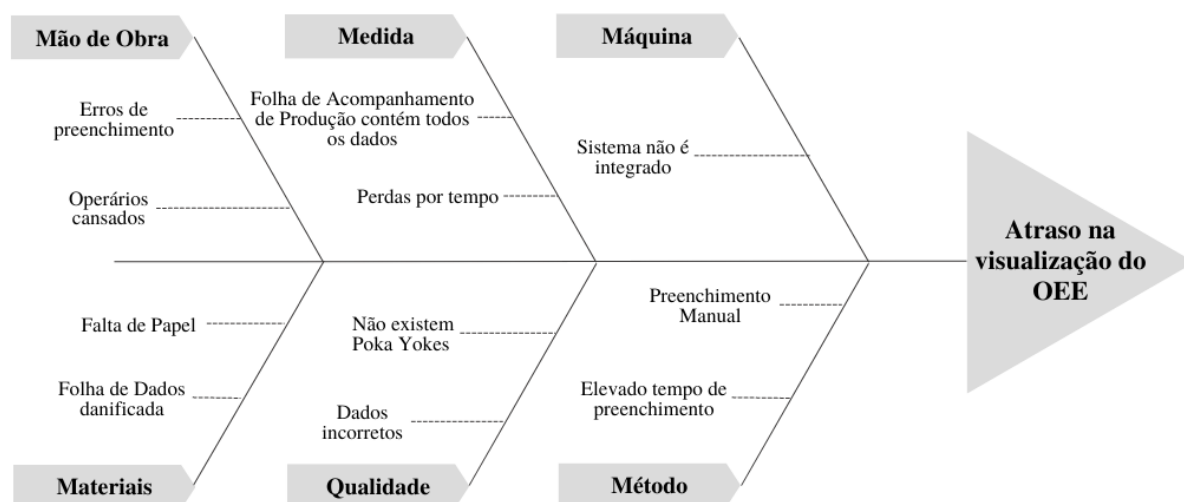


Fonte: Autoria própria

Notou-se também que a dependência da folha de acompanhamento da produção para atualização de dados impacta negativamente na tomada de decisões no chão de fábrica, uma vez que a possibilidade de erros de preenchimento ou a perda de informações não é excluída, podendo não traduzir com veracidade o cenário produtivo.

Para compreender melhor o problema e identificar melhorias no processo, demais causas do atraso da atualização de dados do OEE foram apontadas no Diagrama de Ishikawa.

Figura 12: Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria própria

Ao analisar a Figura 12 nota-se que o modelo utilizado ressalta perdas relacionadas, principalmente, ao tempo e qualidade. Devido ao método das atividades ser realizado de forma totalmente manual e não possuir integração entre os sistemas, quando relaciona-se as causas de mão de obra, atividades repetitivas podem ocasionar o cansaço dos operários e possíveis erros de preenchimento dos dados podem ocorrer, os quais não podem ser evitados devido à inexistência de Poka Yokes.

Além disso, a concentração de dados em um único meio limita o acesso aos indicadores e influencia diretamente no modo como o material pode afetar o problema, como sua falta ou a danificação da folha de dados comprometem todo o processo.

Percebendo-se a necessidade de atualização e acompanhamento dos dados da linha de produção em tempo real, foi desenvolvido um sistema integrado entre as ferramentas VBA e Power BI para suprir tal demanda.

4. RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento e a implementação do plano piloto do sistema para acompanhamento em tempo real do indicador de OEE utilizando a linguagem de programação VBA e integração com os visuais do Power BI. No fim realizou-se uma discussão acerca dos resultados obtidos.

4.1 VBA

Empregando a linguagem VBA, ferramenta presente no Excel, desenvolveu-se um formulário *online* para substituir a folha de acompanhamento da produção. Dessa forma, o preenchimento dos dados passa a ser feito com o auxílio de um computador.

Figura 13: Formulário *online* de Acompanhamento da Produção

APONTAMENTO OEE

DD/MM/AAAA ← Inserir a data

E-Number Célula Turno N° Operadores

Planta Área Centro de Custo

Horário Início Operação Horário Término Operação

N° da Peça Meta Peças Produzidas SCRAP

Tipo de Perda Tempo de Perda

Comentários

Fonte: Autoria própria

Com o objetivo de reduzir o tempo no momento de inserção de dados, alguns campos são preenchidos automaticamente (lacunas destacadas em amarelo) e para isso as informações devem ser inseridas nos espaços de forma sequencial. Neste caso, tem-se o cálculo da meta a partir da equação 5 e outras informações a respeito da fábrica, como: célula, planta, área e centro de custo que são preenchidas de forma automática.

Outro exemplo se dá na adição de perdas referente a hora produzida, já que o cálculo do tempo total de perdas é realizado de forma automática através da equação 6. Desse modo, no

formulário *online*, é necessário somente descrever o tipo de perda e informar seu respectivo tempo gasto (em minutos), poupando o tempo de cálculos.

$$\text{Tempo Total de Perda} = \left(\frac{\text{Peças produzidas}}{\text{Meta}} \times 60 \right) \text{ minutos} \quad (6)$$

Ao clicar em “Adicionar Perda” a perda é inserida na lista e o respectivo tempo é subtraído do tempo total, possibilitando a inserção de outras perdas até que o tempo total seja zerado. Na Figura 14 tem-se os exemplos de perdas por *setup* e manutenção adicionados com 10 e 4 minutos de parada, respectivamente.

Figura 14: Seção de perdas do formulário *online* de Acompanhamento de Produção

The screenshot displays the 'Seção de perdas' (Losses Section) of an online production tracking form. It includes input fields for 'Horário Início Operação' (07:00), 'Horário Término Operação' (08:00), 'Nº da Peça' (170), 'Meta' (17), 'Peças Produzidas' (13), and 'SCRAP' (0). Below these are fields for 'Tipo de Perda', 'Tempo de Perda' (0), and 'Comentários'. There are buttons for 'ADICIONAR PERDA' and 'REMOVER PERDAS'. A 'SALVAR' button is located to the left of a table showing recorded losses. Below the 'SALVAR' button is a button labeled 'QUADRO HORA A HORA'. The table lists 'Setup' with a time of 10 and 'Manutenção' with a time of 4.

Setup	10
Manutenção	4

Fonte: Autoria própria

Ao final da inclusão de dados no formulário e salvar, todos os dados inseridos serão utilizados para o preenchimento automático do quadro hora a hora *online*, apresentado na Figura 15. Em vista disso, fazendo uso de macros, a planilha também apontará o acompanhamento da produção e consequentemente, pode-se eliminar o quadro hora a hora preenchido de forma manual que estava localizado na célula de estudo.

Figura 15: Quadro hora a hora *online*

Acompanhamento OEE (Eficiência Global do Equipamento)							FORMULÁRIO		Cálculo meta pps Objetivo Prod X Tempo 60min						
Célula:		Utilização do Chape 365 mm		Data:		DD/MM/AAAA									
Produção							Perdas Planejadas e Não Planejadas (apontar em minutos ao grupo de perdas pertencente)								
HORA INICIAL	HORA FINAL	Número da Peça	Meta peças	Qtd Realizada	Qtd pps Não Conforme	Process Check	Ajuste	Engenharia	Espera	Ferramenta	Manutenção	Qualidade	Perda Programada	Setup	Tempo Padrão
06:17	07:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
07:00	08:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
08:00	09:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
09:00	10:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
10:00	11:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
11:00	12:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
12:00	13:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
13:00	14:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
14:00	14:40	N/A	N/A	N/A	N/A										
1ºTurno (Qtd Total)	-	-	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:40	15:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
15:00	16:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
16:00	17:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
17:00	18:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
18:00	19:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
19:00	20:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
20:00	21:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
21:00	22:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
22:00	23:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
23:00	23:34	N/A	N/A	N/A	N/A										
2ºTurno (Qtd Total)	-	-	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:34	23:59	N/A	N/A	N/A	N/A										
00:00	01:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
01:00	02:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
02:00	03:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
03:00	04:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
04:00	05:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
05:00	06:00	N/A	N/A	N/A	N/A										
06:00	06:17	N/A	N/A	N/A	N/A										
3ºTurno (Qtd Total)	-	-	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria

O quadro hora a hora *online* é utilizado somente para visualização, isto é, para acompanhar a produtividade da linha e suas respectivas perdas, agrupadas nos segmentos de: ajuste, engenharia, espera, ferramenta, manutenção, qualidade, perda programada, *setup* e tempo padrão.

Os dados do formulário, juntamente aos disponibilizados no quadro hora a hora *online*, ficam armazenados em um arquivo de extensão .xlsm, formato habilitado para macros e linguagem VBA, dentro de planilhas do Excel.

4.2 Integração com o Power BI

Para melhor visualização e acompanhamento em tempo real da eficiência das células da fábrica, foram desenvolvidos *dashboards* no Power BI. A base de dados utilizada foi a do arquivo de extensão .xlsm proveniente das informações do formulário e quadro hora a hora *online*.

Anterior à construção dos painéis houve um tratamento de dados no Power Query e aplicação de medidas DAX para criar funções que permitissem a visualização estratégica do relatório. No quadro 3 encontram-se os tipos de dados e cálculos utilizados para cada medida.

Quadro 3: Medidas DAX

Medidas DAX	Tipo de dados	Cálculo
Desempenho	Número inteiro	$\text{Desempenho} = \frac{\text{Peças produzidas}}{\text{Meta}}$
Disponibilidade	Número inteiro	$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo trabalhado} - \text{Tempo de perdas}}{\text{Tempo trabalhado} - \text{Tempo de perdas programadas}}$
Índice de Qualidade	Número inteiro	$\text{Índice de Qualidade} = \frac{\text{Peças produzidas} - \text{Scraps}}{\text{Peças produzidas}}$ Sendo scraps equivalente às peças ruins produzidas
OEE	Porcentagem	$\text{OEE} = \text{Desempenho} \times \text{Disponibilidade} \times \text{Índice de Qualidade}$

Fonte: Autoria própria

Após a incorporação das medidas contendo os cálculos necessários e utilizando-se dos filtros como datas, turnos, áreas da fábrica e tipos de perdas, o painel permite a navegação e visibilidade dos principais indicadores relacionados ao OEE e à linha de produção. Além disso, é possível verificar também o tempo padrão, informação referente ao tempo necessário para executar determinada operação, e mapear as perdas da célula em estudo. A Figura 16 ilustra o *dashboard* desenvolvido durante o estudo.

Figura 16: *Dashboard* para acompanhamento do OEE (dados ilustrativos)

Fonte: Autoria própria

Por fim, para possibilitar fácil acesso às telas e acompanhamento em tempo real dos dados, o arquivo foi publicado no *sharepoint*, uma plataforma colaborativa para compartilhamento de arquivos e comunicação interna. Com relação à atualização dos dados, esta é feita em tempo real, ou seja, a cada inserção de dados realizada no formulário *online*, os gráficos e indicadores presentes no *dashboard* são automaticamente alterados.

4.3 Discussão dos resultados

Comparando-se a solução proposta com a literatura, tem-se a reafirmação da eficácia do uso das planilhas do Excel habilitadas com VBA e dos *dashboards* do Power BI. Assim como abordado por Li, Yang e Jiang (2023), para a implementação do monitoramento em tempo real foram seguidas as respectivas 3 fases: física, de transporte e de aplicação. Representando a primeira fase utilizou-se o formulário online e o quadro hora a hora, nos quais tem-se a entrada e armazenamento de dados, respectivamente. Nesta etapa algumas atividades repetitivas, como a inserção de dados no sistema, foram automatizadas fazendo uso de macros. Para a fase de transporte e aplicação das informações criou-se um sistema integrado entre Excel e Power BI, para que todo o cenário produtivo pudesse ser refletido através de telas do Power BI em formato interativo e estratégico, concluindo as três etapas mencionadas.

A criação do painel de indicadores e a atualização de dados em tempo real expandiu o processo de acompanhamento da linha de produção, principalmente em relação ao OEE, uma vez que permitiu-se uma análise mais abrangente do cenário produtivo e possibilitou que todo o gerenciamento pudesse ser feito também de forma remota. A Tabela 1 apresenta a análise comparativa entre os cenários anterior e posterior à implementação do projeto, de forma a compreender melhor seus respectivos ganhos.

Tabela 1: Comparação entre cenário anterior e posterior à implementação do projeto

ANTES	DEPOIS
Quadro hora a hora manual	Quadro hora a hora automatizado
Disponibilização dos dados em 1 dia	Dados disponíveis em tempo real
Cálculos feitos manualmente	Cálculos automáticos
Possibilidade de erros	Poka Yokes
Concentração de dados na Folha de Acompanhamento	Base de dados disponibilizada <i>online</i>
-	Análise estratégica (Power BI)
-	Acompanhamento remoto disponível

Fonte: Autoria própria

Além da melhor visualização da produção, com a implementação do sistema de integração entre VBA e Power BI, houve ganhos com relação a otimização do tempo, uma vez que anteriormente à implementação do sistema de acompanhamento em tempo real, o preenchimento dos dados de produtividade era feito de forma manual e maiores perdas eram geradas. O projeto proporcionou adiantamento em um dia na visualização de dados, resultando que a tomada de decisão em relação à linha de produção, passasse a ser mais assertiva e rápida, possibilitando maior adaptabilidade do trabalho conforme a necessidade do cenário produtivo.

Outro problema apontado no cenário anterior à implementação do estudo, dava-se em relação às eventuais divergências de dados escritos, como por exemplo na descrição do tempo das perdas que algumas vezes era maior ou menor do que o tempo que deveria ser realmente justificado. Com o objetivo de evitar erros de preenchimento, insere-se na programação VBA condições que funcionam como Poka Yokes. São elas:

- Faz-se obrigatório justificar todas as perdas ocorridas na célula produtiva, não permitindo salvar os dados enquanto o tempo total de perda não for zerado no formulário;
- Emissão de avisos caso algum campo não seja preenchido ou contenha dados incorretos;

A Figura 17 apresenta um exemplo do funcionamento de um Poka Yoke desenvolvido durante o estudo.

Figura 17: Exemplo de alerta de preenchimento incorreto no formulário *online*

The image shows a web-based data entry form. At the top, there are input fields for 'Horário Início Operação' (11:00), 'Horário Término Operação' (12:00), 'Nº da Peça' (170C733), 'Meta' (15), 'Peças Produzidas', and 'SCRAP'. Below these are fields for 'Tipo de Perda', 'Tempo de Perda' (60), and 'Comentários'. There are buttons for 'ADICIONAR PERDA' and 'REMOVER PERDAS'. On the left, there are buttons for 'SALVAR' and 'QUADRO HORA A HORA'. A modal dialog box titled 'Microsoft Excel' is overlaid on the form, displaying the message 'FAVOR, INFORMAR A QUANTIDADE DE PEÇAS PRODUZIDAS' and an 'OK' button.

Fonte: Autoria própria

Com a criação da base de dados *online*, tornou-se possível obter um histórico de dados da linha de produção e um acompanhamento próximo da visão geral da fábrica, garantindo a melhoria contínua do processo. Com isso o quadro hora a hora físico poderia ser eliminado, propiciando melhor aproveitamento do *layout* da célula e gerenciamento dos dados de forma remota. Além disso, a descentralização de dados em um único meio (folha de acompanhamento da produção) promoveu maior autonomia no gerenciamento das informações, garantindo ações imediatas no decorrer do processo.

O Power BI mostrou-se uma concreta ferramenta para manipulação e tradução do grande volume de dados gerados, tornando-se possível refletir o cenário produtivo em tempo real em um formato de *storytelling* interativo e personalizado, assim como exposto na revisão bibliográfica. Constatou-se o apoio decisivo que este recurso oferece no momento de tomada de decisões e a facilidade em obter a interpretação dos resultados, uma vez que traz maior dinamicidade nos relatórios.

5. CONCLUSÃO

Assim como abordado na revisão bibliográfica, foi compreendido que o monitoramento do indicador de OEE é a principal ferramenta utilizada para fazer a análise do rendimento da produção, pois é a partir deste que se obtém o detalhamento de perdas da linha. De modo a facilitar esse acompanhamento, confirmou-se também a efetividade da integração entre sistemas para análises em tempo real.

Um dos maiores ganhos obtidos com a implementação do projeto foi a eliminação de atividades repetitivas, como o preenchimento do quadro hora a hora e a inserção de dados no sistema, visto que estas tarefas foram automatizadas com o uso da linguagem VBA. Dessa forma, otimizou-se também o tempo e obteve-se vantagem de um dia na visualização dos dados. Isto foi possível devido ao desenvolvimento dos relatórios que refletem o cenário de forma síncrona através do Power BI.

Logo, o objetivo do estudo foi atingido, visto que foi desenvolvido e aplicado o sistema que propunha o acompanhamento em tempo real utilizando as ferramentas: VBA e o Power BI. É possível afirmar que o gerenciamento da linha de produção de forma simultânea garante amplos benefícios, como a tomada de decisões mais assertivas e com maior rapidez, possibilidade do acompanhamento estratégico da produção de forma também remota e a eliminação de erros manuais com aplicação de sistemas automatizados e de Poka Yokes.

À vista disso, ao expor os ganhos obtidos com o estudo, responde-se à questão de pesquisa apresentada no trabalho, pois estes são os principais fatores a serem considerados no momento de implementação do projeto. Pode-se dizer também que foram analisados o tempo gasto, a usabilidade das ferramentas e a facilidade de aplicação do sistema.

Ademais, de modo a proporcionar ainda mais autonomia durante o processo, ao final do estudo foram adicionados televisores na célula analisada para que o acompanhamento dos indicadores fosse realizado de forma mais próxima e houvesse maior comprometimento do operador com a efetividade do processo, ponto importante abordado na filosofia do TPM. Sendo assim, ações corretivas serão tomadas de forma imediata e haverá descentralização do controle do processo, envolvendo todo o time como suporte.

De forma a garantir a melhoria contínua do projeto, indica-se realizar um acompanhamento dos índices de OEE diariamente para promover uma comparação com o cenário anterior à implementação do sistema de apontamento e acompanhamento em tempo

real. À vista disso será possível obter melhor entendimento dos resultados e verificar o ganho gerado, de forma quantitativa, ao indicador de eficiência da célula.

Em conclusão, a execução do trabalho de curso, dentro de um ambiente real de uma empresa, contribuiu para melhor entendimento do funcionamento da área pois vivenciou-se o dia a dia de uma linha de produção. Dessa maneira, a aplicação de conhecimentos colaborou para minha formação acadêmica e profissional, na qual foi possível integrar a teoria abordada na literatura com a prática.

REFERÊNCIAS

- ANUSHA, C. H.; UMASANKAR, Venkata. Performance prediction through OEE-model. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 11, p. 93-104, 2020.
- AZURE e Power BI. **Microsoft Learn**, 2023. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/connect-data/service-azure-and-power-bi>>. Acesso em: 30 de mar. de 2023.
- BAHRIN,M.; OTHMAN,F.;AZLI, N.; TALIB,M. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Journal Teknologi**, [s.l.], v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016
- BILLIS, Lautaro Gaston. **Analysis of automation of tasks through computer programming in VBA: What are the benefits of it?**. 2020. Tese de Doutorado - Politecnico di Torino.
- CAVALLI, Olga; MEINERS, F. Internet das coisas e inovação na América Latina. **SI: sn**, 2016.
- COLLIE, Rob; SINGH, Avichal. **Power Pivot and Power BI: The Excel User's Guide to DAX, Power Query, Power BI & Power Pivot in Excel 2010-2016**. Tickling Keys, Inc., 2015.
- FERRARI, Alberto; RUSSO, Marco. **Introducing Microsoft Power BI**. Microsoft Press, 2016.
- JAIN, Abhishek; BHATTI, Rajbir; SINGH, Harwinder. Total productive maintenance (TPM) implementation practice: A literature review and directions. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 3, p. 293-323, 2014.
- JAYASWAL, Pratesh; RAJPUT, Hemant Singh. Implementation of Kaizen and Jisu Hozen to enhance Overall equipment performance in a manufacturing industry. **International Journal of Research in IT & Management**, v. 2, n. 8, p. 51-64, 2012.
- KALWAR, Muhammad Ahmed; KHAN, Muhammad Ali. Optimization of Procurement & Purchase Order Process in Foot Wear Industry by Using VBA in Ms Excel. **International Journal of Business Education and Management Studies**, v. 5, n. 2, p. 80-100, 2020.
- KHAN, Ateeq; TUROWSKI, Klaus. A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems. **Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Big Data**. 2016. p. 441-448.
- KIM, Sangwoo; HONG, Seokmyung; OH, Jaesang; LEE, Heejo . Obfuscated VBA macro detection using machine learning. **2018 48th annual ieee/ifip international conference on dependable systems and networks (dsn)**. IEEE, 2018. p. 490-501.
- LI, Qingzong; YANG, Yuqian; JIANG, Pingyu. Remote Monitoring and Maintenance for Equipment and Production Lines on Industrial Internet: A Literature Review. **Machines**, v. 11, n. 1, p. 12, 2023.
- LJUNGBERG, Örjan. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

MAZUR, Isis; ROSA, Aline; SILVA, Adriano; TANAKA, Wilson; ZAMPINI, Eugênio. Monitoramento Em Tempo Real Do Índice OEE. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. Esp01, p. 223, 2018.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Estados Unidos, Productivity Press, 1988.

PARARACH, Sawat; MUTTAMARA, Apiwat; KAEWPRAPHA, Phisan. AN IMPROVEMENT OF PRODUCTIVITY BY REAL TIME MACHINE MONITORING SYSTEM: A case study of printing industry. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2021. p. 012002.

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo; da SILVA, Márcia; BONILLA, Silvia; SÁTYRO, Walter. **Indústria 4.0**. Editora Blucher, 2018.

SALVADORINHO, Juliana; TEIXEIRA, Leonor; SOUSA SANTOS, Beatriz. Storytelling with data in the context of industry 4.0: A power BI-based case study on the shop floor. **HCI International 2020–Late Breaking Papers: Interaction, Knowledge and Social Media**. Springer International Publishing, 2020. p. 641-651.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. Industry 4.0: challenges and opportunities. **Revista Produção e desenvolvimento**, 2018.

SHARMA, Rajiv Kumar; KUMAR, Dinesh; KUMAR, Pradeep. Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis. **Industrial Management & Data Systems**, 2006.

SINGH, Rohit Kumar; CLEMENTS, Elvin Joseph; SONWANEY, Vandana. Measurement of overall equipment effectiveness to improve operational efficiency. **International Journal of Process Management and Benchmarking**, v. 8, n. 2, p. 246-261, 2018.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. Cortez editora, 2022.

TUTORIAL: criar suas próprias medidas no Power BI Desktop. **Microsoft Learn**, 2023. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/transform-model/desktop-tutorial-create-measures>>. Acesso em: 31 de mar. de 2023.

ZLATIĆ, Marko. TPM-total productive maintenance. **Proceedings on Engineering Sciences**, v. 1, n. 2, p. 581-590, 2019.

Apêndice A – Roteiro de Pesquisa

- Como é feito o acompanhamento do índice de OEE na célula hoje? Quais as etapas envolvidas?
- Quais os principais problemas enfrentados para acompanhamento dos indicadores?
- Quais áreas devem ser envolvidas no projeto?
- O que mudaria no cenário se o apontamento da produção passasse a ser realizado de forma *online*? Algumas atividades seriam eliminadas?
- Quais os benefícios de se ter um acompanhamento em tempo real da linha de produção?
- Quais indicadores possuem necessidade de acompanhamento em tempo real?
- Quem teria acesso aos indicadores?
- Como os dados seriam disponibilizados e acessados?