

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JULIANE ANDRESSA CAMATTI

**PROPOSTA DE ARQUITETURA OEE DIGITAL COM INTEGRAÇÃO
DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE MÁQUINAS NA INDÚSTRIA DE
MANUFATURA**

TESE

CURITIBA

2023

JULIANE ANDRESSA CAMATTI

**PROPOSTA DE ARQUITETURA OEE DIGITAL COM INTEGRAÇÃO
DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE MÁQUINAS NA INDÚSTRIA DE
MANUFATURA**

**Proposal for a digital OEE architecture with integration of parameters for
analysis of machinery in the manufacturing industry**

Tese apresentada como requisito para
obtenção do título de Doutora em
Engenharia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Milton Borsato

Curitiba

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba



JULIANE ANDRESSA CAMATTI

PROPOSTA DE ARQUITETURA OEE DIGITAL COM INTEGRAÇÃO DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE MÁQUINAS NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Engenharia De Manufatura.

Data de aprovação: 09 de Fevereiro de 2023

Dr. Milton Borsato, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Deschamps, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Dr. Luiz Fernando Rodrigues Campos, Doutorado - Faculdade de Tecnologia Inspirar (Inspirar)

Dr. Milton Luiz Polli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Paulo Andre De Camargo Beltrao, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 09/02/2023.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, pela minha saúde e por todas as bênçãos recebidas até o momento.

Aos meus pais, pela dedicação, pela presença constante e pela educação condizente com os meus desejos.

Ao meu irmão e minha cunhada, meus maiores apoiadores.

A minha grande família, grata pela preocupação e cuidados para comigo.

Ao meu orientador Milton Borsato, minha admiração e respeito ao grande profissional, que ao compartilhar comigo seus conhecimentos durante a trajetória no doutorado, dispensou a mim atenção e tempo que foram indispensáveis à minha pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório, peças importantes para o meu desenvolvimento acadêmico e, ao mesmo tempo, grandes amigos e companheiros de trabalho. Em especial, Jaqueline Sebastiany, Kaio Vasconcelos, Suellyn Kruger, Ederson Fernandes.

Aos meus amigos de longa data, pacientes com as minhas ausências, presentes quando as coisas não andavam como o planejado, acreditando em mim e no meu trabalho.

À empresa parceira CNH Industrial, por acreditar no potencial deste trabalho, bem como financiar o desenvolvimento desta pesquisa. Aos colaboradores Luiz Romanel, Elcio de Jesus, Maycon Lisboa e Monique, que não mediram esforços para colaborar com o desenvolvimento da pesquisa dentro da indústria.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por proporcionar estrutura e apoio necessários para minha formação acadêmica e profissional.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) na modalidade do programa DAI – Doutorado Acadêmico de Inovação (Nº 157265/2019-6) por encorajar e fomentar esta pesquisa.

RESUMO

CAMATTI, Juliane Andressa. **Proposta de arquitetura OEE digital com integração de parâmetros de análise de máquinas na indústria de manufatura**. 2023. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2023.

A indústria de manufatura vem enfrentando desafios cada vez maiores relacionados à concorrência ampliada ao nível mundial e mercados altamente sensíveis à demanda. Os processos de produção na sua grande maioria são macro, e são compostos por várias categorias de equipamentos e subprocessos em diferentes escalas, tornando desafiante seu gerenciamento e controle. Os dados coletados no processo de produção, associados à inovação através da combinação de múltiplas tecnologias apresentada pela Indústria 4.0, trazem oportunidade no aumento de produtividade entre as operações, como ações voltadas à melhoria contínua, aumento de desempenho, eficiência, segurança e, por consequência, melhor retorno de investimento. Na busca por maiores níveis de disponibilidade de máquina e desempenho dos processos, a presente tese desenvolveu uma arquitetura digital no contexto de máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) legadas com análise de parâmetros importantes para determinação de indicadores de Eficiência Global da Máquina (OEE). A arquitetura digital foi desenvolvida com base no conceito de ETL (*Extract, Transform, Load*) emulando cenário real, nas condições que seja passível de implantação futura em empresa parceira, direcionado pela abordagem metodológica *Design Science Research* (DSR), a qual tem por objetivo expandir conhecimento pelo meio de resposta de problemas no mundo real, e tem como etapas de elaboração; (i) Identificação do problema e motivação; (ii) Objetivos da solução; (iii) Projeto e desenvolvimento; (iv) Demonstração; (v) Avaliação e comunicação da conclusão total do processo. A solução proposta nessa tese foi avaliada no contexto de uma empresa de máquinas agrícolas parceira, no processo de usinagem do eixo de transmissão de tratores, e possibilitou o conhecimento do indicador OEE em menor tempo, para auxiliar na tomada de decisão.

Palavras-chave: Indústria 4.0. ETL. OEE. Máquina CNC.

ABSTRACT

CAMATTI, Juliane Andressa. **Proposal for a digital OEE architecture with integration of parameters for analysis of machinery in the manufacturing industry**. 2023. 106 f. Thesis (PhD in Engineering Mechanical) Graduate Program in Mechanical and Materials Engineering. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2023.

The manufacturing industry is facing increasing challenges related to increased worldwide competition and highly demand-sensitive markets. Most production processes are macro and are composed of various categories of equipment and sub-processes at different scales, making their management and control challenging. The data collected in the production process, associated with innovation through the combination of multiple technologies presented by Industry 4.0, bring opportunities to increase productivity between operations, such as actions aimed at continuous improvement, increased performance, efficiency, safety and, consequently, better return on investment. In the search for the highest levels of machine availability and process performance, this thesis developed a digital architecture in the context of legacy CNC (Computer Numerical Control) machines with analysis of important parameters for the qualification of Global Machine Efficiency (OEE) indicators. The digital architecture was developed based on the concept of ETL (Extract, Transform, Load data) emulating a real scenario, under conditions that are likely to be implemented in the future by a partner company. Directed by the Design Science Research (DSR) methodological approach, which aims to expand knowledge by means of responding to problems in the real world and has as elaboration stages; (i) Problem identification and motivation; (ii) Objectives of the solution; (iii) Design and development; (iv) Demonstration; (v) Evaluation and communication of the total completion of the process. The solution proposed in this thesis was evaluated in the context of a partner agricultural processing company, in the process of machining the transmission shaft of tractors and allowed the knowledge of the OEE indicator in less time than to help in decision making.

Keywords: Industry 4.0. ETL. OEE. CNC machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tecnologias-chaves da Indústria 4.0	24
Figura 2: Processos do ETL	30
Figura 3: Ilustração de um sistema de gerenciamento de banco de dados	33
Figura 4: As principais etapas do desenvolvimento do DSR	40
Figura 5: Relação entre os objetivos específicos e o DSR	41
Figura 6: Fluxograma de atividades para construção da arquitetura digital	43
Figura 7: Relação dos pilares do OEE e informações de máquina conforme literatura	44
Figura 8: Arquitetura da integração do fluxo de dados digital	47
Figura 9: Fluxo de programação visual padrão para o modelo	49
Figura 10: Ilustração do exemplo de programação do nó Function	50
Figura 11: Imagem referente ao modelo de criar pergunta no Metabase	52
Figura 12: Imagem da instalação da empresa na cidade de Curitiba - PR	53
Figura 13: Imagem ilustrativa de um centro de usinagem CNC	54
Figura 14: Imagem ilustrativa de exemplo de peças sendo usinadas em máquina CNC	55
Figura 15: Componentes básicos do trator	56
Figura 16: imagem ilustrativa da montagem de trator	56
Figura 17: Arquitetura digital desenvolvida com base no conceito ETL	59
Figura 18: Detalhamento do fluxo de dados para arquitetura do OEE digital ...	60
Figura 19: Recorte da Arquitetura de integração parte 1	62
Figura 20: Amostra de dados originados em máquina CNC legada	63
Figura 21: Amostra de dados originados em PCP	64
Figura 22: Amostra de dados originados em Sistema de Controle de Qualidade	64
Figura 23: Recorte da Arquitetura de integração parte 2	65
Figura 24: Correlação dos dados para cálculo de cada um dos pilares	66
Figura 25: Recorte da Arquitetura de integração parte 3	67
Figura 26: Ilustração do sistema Docker Desktop com pilha de containers	68
Figura 27: Fluxo de nós modo automático máquina AA2	70
Figura 28: Fluxo de nós do planejamento de produção do sistema produtivo ..	71
Figura 29: Fluxo de nós do apontamento de qualidade do sistema produtivo ..	72
Figura 30: Recorte da Arquitetura de integração parte 4	73
Figura 31: Estrutura de dados criada no Node-RED e armazenados no MySQL	74
Figura 32: Recorte da Arquitetura de integração parte 5	75
Figura 33: Etapa de registro das correlações disponibilidade	77
Figura 34: Dashboard com ilustração da disponibilidade e desempenho das máquinas	78
Figura 35: Etapa de registro da correlação entre tempo estimado pelo realizado	79
Figura 36: Etapa de registro das correlações desempenho	80
Figura 37: Etapa de registro das correlações da qualidade	81
Figura 38: Dashboard com relatório de qualidade geral	82
Figura 39: Etapa de correlação do OEE para máquina AA2	83
Figura 40: Dashboard com o resultado do OEE	84

Figura 41: Dashboard final baseado da arquitetura OEE digital86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Expectativas sobre empresas conectadas	28
Quadro 2: Tipos de modelo de dados e suas classificações	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	<i>Computer Numeric Control</i>	Controle Numérico por Computador
DSR	<i>Design Science Research</i>	Projeto de Pesquisa Científica
ETL	<i>Extract Transform Load</i>	Extração Transformação Carregamento
IA	<i>Artificial Intelligence</i>	Inteligência Artificial
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>	Internet Industrial das Coisas
IoT	<i>Internet of Things</i>	Internet das Coisas
I4.0	<i>Industry 4.0</i>	Indústria 4.0
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>	Ambiente de desenvolvimento integrado
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>	Transporte de telemetria de enfileiramento de mensagens
OEE	<i>Overall equipment effectiveness</i>	Eficiência Geral do Equipamento
SGBD		Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Escopo do trabalho	19
1.4	Estrutura do trabalho	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Indústria 4.0	21
2.2	Internet of Things (IOT)	25
2.3	ETL	30
2.4	Banco de dados	31
2.5	Overall equipment effectiveness (OEE)	34
2.6	Estado-da-arte	36
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	39
3.1	Caracterização da pesquisa	39
3.2	Abordagem metodológica	39
3.2.1	Identificação do problema e motivação	41
3.2.2	Definição dos objetivos da solução	42
3.2.3	Desenvolvimento da solução.....	42
3.2.3.1	<u>Etapa 1 – estrutura de dados</u>	43
3.2.3.2	<u>Etapa 2 – fluxo de dados digital</u>	46
3.2.3.3	<u>Etapa 3 – correlação dos dados</u>	51
3.2.4	Demonstração da solução	52
3.2.5	Avaliação dos resultados	57
3.2.6	Comunicação dos resultados	58
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	58
4.1	Demonstração da arquitetura	59
4.1.1	Coleta de dados.....	61

4.1.2	Preparação	62
4.1.3	Processamento de dados.....	66
4.1.4	Armazenamento de dados	73
4.1.5	Visualização de dados.....	74
4.2	Avaliação e comunicação	87
5	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A – ILUSTRAÇÃO DE PROGRAMA FLUXO DE INGESTÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS	96
	APÊNDICE B – ILUSTRAÇÃO DE PROGRAMA FLUXO DE DADOS DO PLANEJAMENTO.....	103
	APÊNDICE C – ILUSTRAÇÃO DE PROGRAMA FLUXO DE DADOS DO RELATÓRIO DE CONTROLE QUALIDADE.....	105

1 INTRODUÇÃO

A concorrência ampliada em nível global, associada a mercados altamente sensíveis a preço, tem forçado as organizações a promover mudanças e buscar maneiras de melhorar a produtividade, aumentar qualidade e reduzir custos (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Essas mudanças fizeram com que as empresas se adaptassem aos novos mercados, havendo a necessidade de se tornarem mais dinâmicas. Esse movimento está impulsionando o progresso de atividades tradicionais da cadeia produtiva, em direção a um novo cenário produtivo inteligente, digitalizado, e mais eficiente (COVACI; ZARATÉ, 2019).

Diante disso, um dos pontos mais desafiadores para o sistema de manufatura é defrontar com um universo de mercado progressivamente competitivo mundialmente, que procura por uma produção mais rápida e personalizada, exigindo adaptação rápida (ROSAS *et al.*, 2017). Os processos industriais, em muitos casos, são macro e compõem vários tipos de equipamentos e subprocessos em diferentes proporções, apresentando, assim, um grande desafio para monitorá-los e gerenciá-los em busca de um ótimo desempenho e retorno financeiro na planta (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Uma parcela das organizações de manufatura obtém sistema legado integrado no seu plano fabril. Os sistemas legados são caracterizados por atuarem em rotinas operacionais, apresentando pouca ou nenhuma atividade analítica, utilizadas para auxiliar no planejamento e tomada de decisões do processo (CHOPRA; MEINDL, 2003). Estes participam massivamente dos processos de criação de valor e atuam em posição fundamental dentro das empresas, no entanto, em algumas questões são difíceis de se manter, não possuem flexibilidade e não são integrados a outros sistemas (ROSAS *et al.*, 2017).

No contexto industrial, os sistemas legados, essenciais no processo de produção, são na sua grande maioria atestados para operar em ambiente industrial em condições complexas e difíceis. Esses dispositivos permanecem operando ao longo dos anos pela sua qualidade em produção, confiabilidade e disponibilidade para atender o produto desejado pelo cliente, porém eles possuem informações isoladas de cada objeto (PEI BREIVOLD, 2020).

Com tecnologia baseada em grandes computadores, o sistema legado tem sua capacidade de atuação restrita e focada no acúmulo de informações, e obtém

pouca ou nenhuma ação voltada à análise dos dados gerados pela máquina, dados esses que auxiliam na tomada de decisão (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Quando a coleta e análise de dados é feita de forma manual, apresenta muitas incertezas, ou seja, sobre a medição de velocidade de produção, das paradas registradas de máquina, e ainda outros fatores, com o humano em erro no cálculo de averiguação de produção pela limitação do instrumento de medição ou até falha na coleta de dados do processo (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A forma de trabalhar com os dados do ambiente fabril foi remodelado, se desenvolve a partir de novas tecnologias empregadas pela Indústria 4.0 (I4.0), e integrou-se o uso de tecnologias como *Big Data*, *Internet of Things*, *Cloud Computing*, *Machine Learning*, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2018). A evolução da tecnologia de informação cresceu desenfreadamente, e transformou a tecnologia da informação em questão fundamental para gerenciar as atividades de uma empresa (TANNADY *et al.*, 2020).

As tecnologias emergentes baseadas em Indústria 4.0 têm capacidade de promover mudanças para cadeia de valor de forma bastante significativa, nos variados segmentos dos sistemas de manufatura. Esse potencial é direcionado não só para a produção, mas também, na distribuição de bens e serviços (SANTOS; MARTINHO, 2019).

A tecnologia de Internet das coisas (IoT), um dos pilares da I4.0, se apresenta no mercado nos últimos anos como uma das soluções para melhoria de sistemas legados, a fim de conectar máquinas para possibilitar mais controle da mesma, objetivando maior produtividade e reduzir falhas e quebras de máquinas (TEDESCHI *et al.*, 2018).

A tecnologia IoT se concretiza pela extração de dados das máquinas, que se dá a partir de sensores, dispositivos e pessoas participantes do processo industrial. Na sequência, é incorporada à análise de dados para diagnosticar padrões e relações do conteúdo, que são combustíveis para movimentos de otimizações, como prevenção de falha de máquinas, melhoria de desempenho de processo em tempo real, entre outros (BREIVOLD, 2017).

A utilização de tecnologia IoT em sistemas legados possibilita novas oportunidades de atuação, onde a tecnologia atua para resolver a falta de comunicação da máquina com o ambiente externo, extrair dados, analisá-los, gerar

informação, conectar processos e sistemas, permitindo monitoramento e manutenção (TEDESCHI *et al.*, 2018).

A IoT associada à computação em nuvem está ganhando espaço rapidamente nos últimos anos (BREIVOLD, 2017). A computação em nuvem é uma tecnologia que oferece uma infraestrutura em rede de *Internet*, oferecendo diversas aplicações como armazenamento e análise de dados que são geridas e organizadas em um mesmo local (RANGASWAMY; GURUSAMY, 2018).

O alto poder de armazenamento e processamento de dados e aplicativos da tecnologia de computação em nuvem têm atraído muitos usuários e empresas em busca dessa terceirização de dados (BOUCENNA; NOUALI; KECHID, 2016). Os autores ainda complementam que tanto os dados terceirizados quanto o servidor de nuvem necessitam ser protegidos de ataques externos.

A manufatura inteligente tem como benefício a capacidade de gerar enorme quantidade de dados simultaneamente, que após serem analisados, podem ser transformados em informações benéficas para elaboração de aperfeiçoamento de produtividade (BOSMAN; HARTMAN; SUTHERLAND, 2020). As fábricas inteligentes têm como característica a integridade dos dados, transparência em compartilhamento de informações, interoperabilidade, assistência técnica e tomada de decisão descentralizada aos processos de automação industrial (VIJAYAKUMARAN; MUTHUSENTHIL; MANICKAVASAGAM, 2020).

A partir da coleta de dados do processo, é possível calcular e determinar o desempenho das máquinas operantes. O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) é um indicador utilizado em nível mundial correlacionado ao desempenho de máquinas. O OEE depende estritamente da coleta de dados. Assim, é de suma importância que os dados utilizados sejam precisos e estejam acessíveis a qualquer momento (HENG *et al.*, 2019).

Devido à abrangência de utilização do indicador OEE para determinar o desempenho de máquinas, diversos autores o aplicam também em máquinas CNC (*Computer Numeric Control*), traduzida ao português comando numérico computadorizado. Surbaktl e Marizka (2019) utilizaram o OEE para determinar a eficiência global de uma máquina Fresadora CNC com um montante de dados de um ano de operação. Os autores identificaram um OEE de 74%, e pontuaram que o mesmo deve aumentar em média 11% para estar entre os padrões mundiais de

operação, que atualmente é estimado pelo *Japanese Plant Maintenance Institute* (JIPM) como ideal, se for igual a 85%.

Dewi, Alhilman e Atmaji (2020) utilizaram o indicador OEE, e identificaram um valor de apenas 68,63% de eficiência global de máquina CNC em um somatório mensal de um ano de atividade. Os autores foram mais além, e somaram o uso de outras ferramentas a ponto de identificar que falhas seriam responsáveis por um resultado abaixo do padrão (JIPM).

Com a utilização da tecnologia IoT no processo de usinagem em máquinas CNC, Vijayakumar, Archana e Kamalakant (2018) constataram, a partir de um estudo de viabilidade, que houve uma melhora de quase 20% no OEE de máquinas CNC nas quais a disponibilização de dados em tempo real, associada à manutenção preditiva, possibilitaram melhores condições de controle. Contudo, ressaltaram que só é possível a utilização desta tecnologia em máquinas que têm acesso à rede de internet.

Os conceitos de Fábricas Inteligentes, I4.0 e IoT são alguns dos temas mais abordados no desenvolvimento de manufatura digital. Porém, poucos *frameworks* foram desenvolvidos para o domínio da manufatura habilitada por tecnologia IoT em processos de usinagem até o momento (VIJAYAKUMAR; ARCHANA.; KAMALAKANT, 2018).

Em relação aos trabalhos encontrados na literatura sobre o cenário de máquinas CNC, é possível identificar que máquinas operatrizes CNC que possuem sistema legado acabam utilizando indicadores OEE apenas para avaliação posterior de processo, sendo esta avaliação com periodicidade mensal e anual. Contudo, tal periodicidade acaba dificultando sua utilização como aliada a estratégias para melhoria de processo e tomada de decisão. Contata-se, ainda, que a literatura carece de investigação de padrões e análise do perfil de atividade das máquinas operatrizes CNC legadas em cada peça fabricada, bem como identificação de desperdícios apontados pelo histórico de atividades de tais máquinas, os quais, por consequência, impactam diretamente na determinação da eficiência global das máquinas.

Neste contexto, se coloca a seguinte pergunta de pesquisa: seria possível o desenvolvimento de uma arquitetura digital para máquinas CNC legadas, para determinação do indicador OEE através da utilização das tecnologias habilitadoras preconizadas no paradigma da Indústria 4.0?

Este trabalho faz parte da frente de atividades em Manufatura Inteligente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Esta frente abrange um grupo de projetos de pesquisa direcionados ao desenvolvimento de possíveis soluções no contexto de produtos inteligentes, sistemas de operação baseados em soluções computacionais e outras demandas, em regime de parceria com empresas brasileiras e com aplicação direta em seus respectivos contextos, com a finalidade última de melhorar suas condições de competitividade no mercado. A presente demanda em questão busca caracterizar as atividades operacionais da máquina, analisar dados para auxiliar na automatização de tomada de decisões.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver uma arquitetura digital para estruturar as informações de dados gerados pela usinagem de peças em máquinas de controle numérico do tipo CNC legadas, visando a contabilização da Eficiência Global das Máquinas (OEE).

1.1.2 Objetivos específicos

A seguir estão listados os objetivos específicos para atendimento do objetivo geral.

- Identificar e compreender os princípios da I4.0 e tecnologias habilitadoras quando aplicadas a máquinas CNC legadas;
- Identificar dados, métricas e fatores relacionados à produtividade e eficiência do processo de usinagem em máquinas CNC legadas;
- Propor uma arquitetura OEE digital com a finalidade de analisar padrões e evolução de dados, com foco em melhoria de eficiência operacional de máquinas de manufatura;
- Construir um protótipo da solução global final em ambiente de testes, emulando cenário real, que seja passível de implantação futura em empresa parceira;
- Demonstrar solução global proposta por meio de provas de conceito;

- Avaliar a solução global proposta quanto a sua generalidade, desempenho e operacionalidade.

1.2 Justificativa

Produzir produtos de alta qualidade e evitar o número de defeitos na produção é uma tarefa árdua para as organizações, ainda mais para aquelas que utilizam sistemas de controle de produção mais antigos que, normalmente, mantêm máquinas isoladas de comunicação. Isso significa que as empresas que utilizam esses sistemas mantêm os dados presos às máquinas, dificultando seu monitoramento e, por consequência, não é possível ter conhecimento do real desempenho do equipamento (TEDESCHI *et al.*, 2018).

A indústria de transformação, de modo geral, presume que a utilização de softwares de colaboração com o processo de manufatura permitirá imensa vantagem na área de inteligência, que com a obtenção de dados mais detalhados do processo, podendo resultar tanto na melhora do ciclo de vida do produto, como na área de relacionamento com o cliente, através do desenvolvimento de produtos que satisfaçam as necessidades específicas dos mesmos, consolidando assim, a cadeia produtiva com foco no que o mercado deseja (DE ALMEIDA, 2019).

Em virtude do aumento dos dados disponíveis para as organizações, tem-se, por consequência, uma maior integração dos meios de Tecnologia da Informação e Comunicação (TICs) no corpo social (DE SORDI, 2019).

A utilização de tecnologias de dados avançadas vem tornando possível a coleta e análise. Essas tecnologias agregam valor a dados que antes eram esquecidos pela indústria de transformação. A partir da capacidade desses dados de informar histórico de produção, é possível identificar padrões e relações detalhadas entre as atividades que exercem influência nos processos, possibilitando, assim, a otimização dos mesmos (DE ALMEIDA, 2019).

Para que haja fábricas mais inteligentes, é de suma importância a alta capacidade de coletar, analisar e distribuir uma grande quantidade de dados, os quais são transformados em informação para auxiliar nas atividades de controle, monitoramento e manutenção fabril (TEDESCHI *et. al.*, 2018).

A interconexão de objetos promovida pela tecnologia IoT traz como ganho a introdução de serviços inteligentes para análise e otimização de processo,

possibilitando a manutenção preditiva, a investigação de falhas e aperfeiçoamento de desempenho, a partir da coleta de dados de diversas fontes em dispositivos espalhados pelo campo de atuação habilitados pela tecnologia (PEI BREIVOLD, 2020).

Integrar a tecnologia IoT na manufatura para coleta de dados proporciona transparência, rastreabilidade e transformação na gestão de processos produtivos (VIJAYAKUMAR; ARCHANA.; KAMALAKANT, 2018). Os dados coletados, além de serem úteis para o cálculo da OEE de máquinas e processos produtivos, tornam possível a visualização em tempo real das condições das máquinas, as quais são de extremamente importância para o correto planejamento de manutenção de equipamentos (COELHO, 2016).

A indústria tem aderido cada vez mais a métricas tais como o OEE pelo fato de permitirem o monitoramento do desempenho de máquinas de acordo com as capacidades técnicas e num contexto industrial ideal (ANVARI; EDWARDS, 2011). Ao utilizar-se o indicador OEE tem-se como objetivo verificar e eliminar as perdas, propagar a melhoria de desempenho e confiabilidade entre instalações (HENG *et al.*, 2019).

O registro ou coleta automática de dados permite melhores condições de operação e eficiência do processo, eliminando erros de leitura e reduzindo erros de cálculo e de representação. A automatização do processo ainda permite leitura direta do sistema devido a sua agilidade, bem como a visualização dos desvios de acordo com produto ou processo solicitado (COELHO, 2016).

O novo direcionamento na fabricação inteligente, que tem a habilidade de melhorar a conectividade virtual e física, permite que indústrias conectadas conheçam as oportunidades por traz da união de tecnologia da informação, ciência da computação, comunicação, manufatura, promovido pela quarta Revolução Industrial (SEETHARAMAN *et al.*, 2019).

1.3 Escopo do trabalho

Este projeto não pretende desenvolver qualquer tipo de hardware ou sensores, bem como aplicação de software, restringindo-se à criação de arquitetura digital para cálculo de OEE, exclusivamente para dados oriundos de máquinas

operatrizes tipo CNC legadas, capazes de analisar os dados para cálculo do índice de eficiência operacional de um grupo de máquinas.

O interesse desta pesquisa não é detalhar todas as subatividades da máquina CNC, mas sim identificar quais parâmetros que contemplam seu registro de atuação principal.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho de pesquisa está estruturado em cinco capítulos.

O Capítulo 1 relata os assuntos que serão abordados ao longo da pesquisa, apresentando o contexto em que estão inseridos e o panorama de atuação. No mesmo capítulo, ainda são expostos o objetivo geral e os objetivos específicos para o avanço da pesquisa, além da apresentação do motivo que norteou a realização do estudo apresentado na justificativa.

No Capítulo 2, a Fundamentação Teórica é retratada, trazendo os principais assuntos e conceitos empregados na pesquisa, embasados por conteúdos de outros autores para entendimento e evolução desta tese. Aborda um breve relato sobre o estudo dos trabalhos atuais sobre o tema de pesquisa que está sendo objeto de estudo.

Os aspectos metodológicos compõem o Capítulo 3, onde acontece a caracterização da pesquisa e detalhamento dos procedimentos metodológicos empregados para desenvolvimento deste estudo. O *Design Science Research* (DSR) é o framework metodológico adotado nesse projeto de pesquisa.

O Capítulo 4 descreve com exatidão o desenvolvimento do trabalho, as etapas de demonstração da arquitetura, sua respectiva avaliação e comunicação dos resultados. E, finalmente, o Capítulo 5 apresenta a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o intuito de aprimorar o conhecimento dos assuntos apresentados nessa pesquisa, esse capítulo aborda uma fundamentação teórica com conceitos relacionados ao desenvolvimento de solução computacional em nuvem no contexto da Indústria 4.0 para sistema legado com base em indicadores OEE. Ainda neste capítulo, são apresentados os conceitos de Indústria 4.0, banco de dados, protocolo de comunicação, ETL, análise de dados com foco em OEE onde atuam em conjunto para promover melhorias e maior assertividade na tomada de decisão, estado da arte sobre arquitetura OEE.

2.1 Indústria 4.0

No final do século XVIII, a Primeira Revolução Industrial foi registrada pela produção mecânica à base de vapor e água (BAHRIN *et al.*, 2016). A máquina a vapor foi inventada por Thomas Newcomen na Grã-Bretanha ainda no século XVIII, que revolucionou o trabalho manual tornando-o mecânico, assim impulsionando fortemente a indústria do carvão, ferro e indústria têxtil (JAIN; AJMERA, 2021).

A Segunda Revolução Industrial ganhou espaço na história com a produção em massa, a partir de correias transportadoras que elegeram grandes nomes ligados e essa revolução como Henry Ford e Frederick Taylor (BAHRIN *et al.*, 2016). Essa revolução industrial tem marco pela ampla utilização da energia elétrica, petróleo e aço no conjunto de desenvolvimento da produção em massa (JAIN; AJMERA, 2021).

A Terceira Revolução Industrial, registrada ainda durante o século XX, apresenta por meio do sistema eletrônico e da tecnologia de informação (TI) a chamada automação digital da produção, em que aparece como uma grande modernização da indústria (BAHRIN *et al.*, 2016). Além da utilização de computadores nos processos de fabricação que gerou aumento da eficácia do trabalho, a Terceira revolução também ficou marcada pela conversão das fontes renováveis de energia (JAIN; AJMERA, 2021).

A história das revoluções industriais carrega, ao longo do seu percurso, novos produtos, novas fontes de energia, métodos de produção, conceitos, gestão, tecnologias e muito mais, que são responsáveis por grandes mudanças disruptivas, e

modificações na competição industrial, na cultura da sociedade e no crescimento urbano (SANTOS; MARTINHO, 2019).

Com uma mudança ainda maior, a Quarta Revolução Industrial está transformando o cenário de produção, a partir de implantação de sistemas Cyber-físicos, *IoT*, Robôs autônomos, entre outras tecnologias, que são aliados para o desenvolvimento de fábricas inteligentes (BAHRIN *et al.*, 2016). Os autores ainda complementam que a partir da evolução da tecnologia de comunicação, as informações associadas à linha de produção e cadeia de suprimento ganham um novo patamar de digitalização e automação (BAHRIN *et al.*, 2016).

A Quarta Revolução Industrial, também denominada Indústria 4.0 (I4.0) de acordo com Coelho (2016), está focada em melhoria contínua, no aumento da produtividade em operações, de eficiência, segurança e, por consequência, melhor retorno de investimento. O autor ainda salienta que esse foco da I4.0 acontece a partir da inovação com utilização de uma combinação de múltiplas tecnologias.

A I4.0 teve seu primeiro apontamento ainda em 2011, promovido pelo governo alemão, introduzida no mercado com o propósito de melhorar a eficiência de processamento nas indústrias, a partir da coleta e troca de informações durante todo o período do ciclo de vida de qualquer produto (KHAN *et al.*, 2020). O governo alemão também elegeu neste mesmo ano que a Indústria 4.0 seria uma iniciativa estratégica no desenvolvimento da sua alta tecnologia (BAHRIN *et al.*, 2016).

As revoluções por si só têm caráter evolutivo (FREDERICO *et al.*, 2020). O objetivo principal da indústria 4.0 é potencializar uma organização, tornando a uma fábrica inteligente onde o produto tem capacidade de encontrar seu percurso de processamento ao longo da produção e designar ações em caso de problemas, como base tecnológica atendendo a sistemas físicos e *IoT* (BAHRIN *et al.*, 2016).

O grande desafio na I4.0 é a captura de todos os dados importantes para utilização, processá-los e transformá-los em informação útil para tomada de decisão, gerenciamento e planejamento de processo (COELHO, 2016).

A I4.0, propõe-se a construir uma plataforma de produção inteligente e aberta para aplicativos de informação em nível de rede industrial, com a ideia de digitalizar e ligar todas as unidades produtivas em uma organização e/ou economia (BAHRIN *et al.*, 2016).

O conceito de I4.0 é marcado por três grandes mudanças que provocam no ambiente industrial: o progresso exponencial no desempenho dos computadores, a

gigantesca quantidade de informação disponível de forma digital, e com isso a renovação nas estratégias de inovação para pessoas, pesquisas e tecnologia (DE ALMEIDA, 2019).

A I4.0 de modo geral provoca alto impacto e grandes mudanças nos processos de fabricação, possibilita que a produção em massa seja personalizada, gere aumento de velocidade, flexibilidade e, conseqüentemente, aumento de produtividade de produção, com alto nível de qualidade. O mesmo autor ainda ressalta que a flexibilização promove um crescimento na inovação, visto que há facilidade de produzir produtos de forma rápida (BAHRIN *et al.*, 2016).

A otimização atrelada ao conceito I4.0 está focado em aperfeiçoar processos e sistemas, extrair dados em tempo real e promover integração com toda a cadeia de valor do produto (CUNHA *et al.*, 2020).

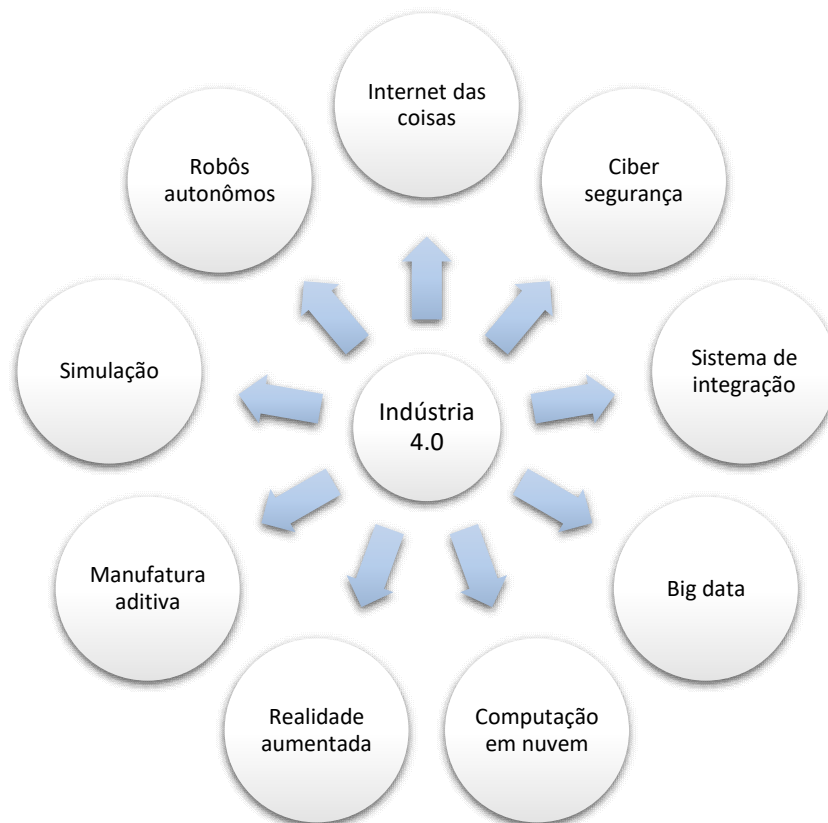
No âmbito industrial, cada divisão de atividades obtém suas particularidades relacionadas a processos de fabricação, ao qual exigem atenção e análise para identificar a melhor forma de controlá-los, automatizá-los e trazer retornos para a empresa, buscando minimizar os impactos ambientais e, sobretudo, promover contentamento para o consumidor final (DE ALMEIDA, 2019). Existem várias áreas da tecnologia que juntas sustentam a indústria 4.0, conforme lista a Figura 1.

A combinação das tecnologias-chave da I4.0, associadas a novos modelos de negócios e transformações entre os países, geram oportunidade para as organizações se desenvolverem e aumentarem consideravelmente sua produção industrial (SANTOS; MARTINHO, 2019).

De modo geral, a I4.0 tem como perspectiva transformar procedimentos convencionais de fabricação em sistema de manufatura totalmente flexível e digital com interação de dados, objetos e seres humanos de forma a gerar informações em tempo real (JAIN; AJMERA, 2021).

Dentre os pilares que compõem a I4.0, a IoT aborda a relação entre objetos físicos e virtuais associados à *Internet*. Essa tecnologia vem ganhando grande expansão referente ao uso de sensores com dispositivos móveis, utilizam comunicação *Wireless* e tecnologia em nuvem (COELHO, 2016).

Figura 1: Tecnologias-chaves da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Bahrin et al. (2016)

A tecnologia de Ciber-segurança integra processos, tecnologias e controles que atuam de forma a proteger redes, sistemas e dados de ataques de terceiros. O mesmo autor ainda complementa que uma segurança cibernética eficiente diminui o risco de ataques, e pode possibilitar maior proteção às organizações e/ou indivíduos do aproveitamento de informação não autorizada (HAAPAMAKI; SIHVONEM, 2019).

O *Big Data*, conhecido pelo tratamento de grandes volumes de dados, utiliza um portfólio de ferramentas capazes de processar esse grande volume de dados, de forma a possibilitar que toda e qualquer informação possa ser vista e analisada em tempo real. O mesmo autor ainda salienta que, para a efetivação da atividade, é necessário gerenciar, armazenar e organizar esses dados, que são classificados em dados estruturados (possuem formato definido), semiestruturados (são parcialmente estruturados) e não estruturados (qualquer tipo de arquivo) (MORAIS et al., 2018).

A computação em nuvem é utilizada no contexto da I4.0 para armazenamento de dados devido a sua capacidade em conseguir gerenciar um grande fluxo de dados e informações, a alta velocidade de compartilhamento, índice de segurança e

flexibilização na disponibilização dos mesmos que, na maioria das vezes, acontece em tempo real (JAIN; AJMERA, 2021).

A realidade aumentada é conceituada como a tecnologia que aumenta o mundo físico, a partir de camadas de dados produzidos por computador sobre o objeto, ou seja, adiciona realidade física à experiência sobre o objeto (BOGUE, 2020).

A tecnologia de impressão 3D ou manufatura aditiva, consiste na construção de objetos a partir de dados de um modelo 3D, a impressão dessa tecnologia geralmente acontece camada por camada, e tem como benefícios melhor precisão e flexibilidade na produção de peças, menor desperdício de material, menor consumo de energia, entre outros (DUDA; RAGHAVAN; VENKAT, 2016).

A Simulação, também conhecida por simulação 3D ou “*Digital twin*”, utilizada na indústria com o objetivo de simular em tempo real o desempenho de um processo produtivo de forma que visualize as reais configurações das máquinas, antes de realizar a troca física, o que possibilita maior qualidade, segurança sobre o produto e melhora os resultados num todo (JAIN; AJMERA, 2021).

Os robôs autônomos estão inseridos na fabricação moderna da indústria, para que seja possível realizar tarefas complexas, com atenção à segurança, versatilidade, flexibilidade e cooperatividade. São controlados remotamente e possibilitam aplicações mais ousadas pelas organizações, principalmente em atividades de risco e condições precárias (BAHRIN *et al.*, 2016).

O conceito de I4.0 visa promover a agregação máxima entre a integração de sistema de tecnologia da informação das organizações, mediante fornecedores, consumidores, processos produtivos e gerenciamento em uma integração horizontal e vertical dos sistemas, objetivando mais conexão entre os departamentos e suas funcionalidades (JAIN; AJMERA, 2021).

A inserção do IoT em ambientes de fabricação está promovendo o aquecimento da I4.0 a partir das redes de comunicação com máquinas, sistemas de armazenamento e artifícios de produção (SANTOS; MARTINHO, 2019).

2.2 Internet of Things (Iot)

A IoT é um sistema de rede de dispositivos e sensores inteligentes ligados à tecnologia com a competência para partilhar dados, recursos e estruturá-los

automaticamente, além de conseguir responder e operar de acordo com as alterações do ambiente (GOYAL; SAHOO; SHARMA, 2021).

O conceito de IoT é fundado na agregação do mundo físico com o digital, de forma a estabelecer interação e comunicação constante entre objetos e pessoas. O mesmo autor ainda complementa que a IoT possibilita a conexão autônoma protegida na troca de dados e, por meio da Internet, a comunicação permite além da troca de informações, a tomada de decisão e solicitação de atividades. A IoT, ainda, tem como função a localização, rastreamento, reconhecimento inteligente e coordenação de dispositivos (MORAIS *et al.*, 2018).

A tecnologia IoT não é apenas um dos pilares, mas se caracteriza como uma base de estrutura de todo o desenvolvimento da I4.0, devido sua participação nos demais pilares. Uma das funcionalidades da IoT é promover condições para concretizar a conexão entre objetos e humanos, de modo a alcançar todo entorno como um ambiente totalmente conectado (KAMIENSKI *et al.*, 2017).

O primeiro protótipo da IoT foi apresentado por Kevin Ashton, em 1998, com a finalidade de conectar objetos a Internet (KHAN *et al.*, 2020). O termo da IoT é aplicado com o intuito de integrar a Internet em todas as coisas, ou seja, todo e qualquer equipamento pode ser conectado à Internet de modo a tornar a jornada mais eficaz (MORAIS *et al.*, 2018). Os aplicativos disponíveis pela tecnologia IoT são utilizados para monitorar e controlar máquinas e processos (TEDESCHI *et al.*, 2018).

Máquinas conectadas geram um volume de dados que aumentam constantemente, classificando o processo de desenvolvimento de aplicativos IoT uma tarefa bastante complexa (KAMIENSKI *et al.*, 2017). Os mesmos autores argumentam que para idealizar sistemas de IoT, se faz necessário uma diversidade de ferramentas integradas ou não é uma plataforma para estruturação dos dados.

Na rede de sistema da tecnologia IoT, os dados podem ser coletados a qualquer momento em qualquer lugar, tanto em tempo real, como em lotes de dados, sendo que o tratamento de dados é contínuo, e deve reproduzir o ambiente real na geração de informações (KAMIENSKI *et al.*, 2017).

A IoT e o armazenamento em nuvem são tecnologias de computação que possibilitam às organizações obter novas oportunidades de rendimento, como o aumento de desempenho e trabalho autônomo baseado nos dados extraídos dentro do chão de fábrica da própria empresa (BREIVOLD, 2017).

A IoT contém quatro camadas distintas, são elas: a camada da aplicação, que aborda em que contexto será aplicado, o transporte inteligente, indústria inteligente. Entre outros, a classe da percepção que se refere aos dispositivos utilizados como sensores que se comunicam entre os objetos presentes, a camada de rede, que pertence à comunicação da rede e o objeto da rede. E, por fim, a camada física, que abrange a estrutura física, a parte de equipamento físico, contemplando os aparelhos e demais dispositivos (GAMIL *et al.*, 2020).

A tecnologia IoT se desenvolve em uma estrutura de rede orientada à aplicação específica, ou seja, na concepção do processo. As aplicações IoT relacionam-se com outros sistemas, sendo que cada sistema possui sua arquitetura própria para atuar de acordo com cada particularidade, com isso, a criação de uma arquitetura universal de IoT ainda é um desafio (MORAIS *et al.*, 2018).

A I4.0 e a IoT registram, através de literatura pesquisada, aplicação em várias áreas, como na medicina, em hospitais, na agricultura, no gerenciamento administrativo, educação, comunicação, tecnologia, construção civil, mineração, desenvolvimento urbano, proteção ao meio ambiente, em automóveis, em veículos de grande porte, na energia, entre outros.

Contudo, uma grande parcela está se desenvolvendo dentro das indústrias, onde tem apresentado grandes oportunidades de atuação, e criação de novos modelos de negócios para atendimento do mercado dinâmico. Com isso, a IoT gerou uma necessidade de maior trabalho, maior foco e ganhou um subconjunto *Industrial Internet of Things* (IIoT) ainda mais assertivo para atender as necessidades dos processos de manufatura.

A tecnologia IIoT é um subconjunto IoT e, assim, possibilita também a coleta e análise de muitos dados capazes de auxiliar na tomada de decisão e melhorar o funcionamento geral dos sistemas industriais, concedendo vários tipos de atividades, a redução de custos e despesas operacionais (KHAN *et al.*, 2020).

A IIoT é definida como um sistema de redes de objetos inteligentes, composto de tecnologia de informação associada a tecnologias e plataformas computacionais em nuvem que oportunizam o ingresso, a coleta em tempo real ou não de dados, análise inteligente e comunicação de processos, produtos e serviços, dentro do ambiente industrial de forma a otimizar o valor global de produção (BOYES *et al.*, 2018).

O sistema IIoT tem como objetivo principal buscar a elevação da eficiência operacional, crescimento da produtividade e excelente administração de processos industriais, através de dispositivos de monitoramento inteligente para sistemas de produção, máquinas e manutenção de equipamentos industriais (KHAN *et al.*, 2020). O foco do IIoT está na coordenação eficiente das operações industriais em conjunto com a manutenção preditiva (KHAN *et al.*, 2020).

Com o intuito de trazer compreensão para a transformação digital, Seetharaman *et al.* (2019) lista algumas perspectivas sobre as expectativas presentes numa empresa conectada, apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Expectativas sobre empresas conectadas

Digitalização de dados	Consiste na conversão de dados analógicos em dados computadorizados.
Conectividade perpétua	Acontece quando as instituições seguem regularmente conectadas a pessoas, objetos, clientes, procedimentos e máquinas.
Análise automática avançada	Faz parte da tomada de decisões de processos, é correlata à atividade de banco de dados, sistema de monitoramento e utilizada para minimizar perdas, atrasos ou erros humanos e gerar novos insights.
Redução do tempo de inatividade não planejada	O tempo de inatividade está relacionado com as paradas não planejadas, ou seja, interrupções do processo sem qualquer previsão, o que impactam diretamente na redução de eficiência do processo.
Melhoria da planta em gestão de ativos	Melhoria contínua a partir da imensa quantidade de dados analisados por ferramentas analíticas, tornando possível identificar os pontos de ineficiência e minimizá-los.
Melhoria nas decisões de negócios	As análises em tempo real permitem ao tomador de decisão mudar condições estratégicas de acordo com a necessidade, tendo em vista a agilidade de informação, mapeamento real sobre a necessidade do mercado, investigando o desejo do cliente. Essa melhor visibilidade do cenário permite maior flexibilidade e decisões embasadas em dados reais.
Segurança e interoperabilidade	A segurança acontece em camadas, da mesma forma como são estruturadas as soluções de TI. Com isso, possibilita mais robustez, visto que cada camada é tratada de acordo com sua característica.

Fonte: Adaptado de Seetharaman *et al.* (2019).

De Almeida (2019) argumenta que a IoT se trata de uma ligação fundamentada de todos os dispositivos com o ambiente fabril ao qual estão inseridos. Isso acontece a partir de sensores, dispositivos de gerenciamento, transmissores, planejamento de produto, células de produção, gestão estratégica da empresa, normas, clima entre outros pontos, que têm associação remota via Internet, promovendo a troca de conteúdo entre o gerenciamento de dados e o sistema de produção.

A IIoT exige níveis mais elevados de segurança do que o IoT, em decorrência da necessidade de proteção e comunicação estritamente confiável sem pausa, das atividades em ambientes industriais (KHAN *et al.*, 2020).

A IIoT tem por finalidade, engrandecer os dispositivos de computação a partir da sua incorporação e conexão de tecnologia padrão, de forma a permitir que os objetos se comuniquem e interajam entre si, para um controle mais efetivo e centralizado (BAHRIN *et al.*, 2016).

Para Khan *et al.* (2020), a IIoT é definida como uma rede de objetos industriais inteligentes e altamente conectados, empreendidos para alcançar alta taxa de produção com custos operacionais minimizados a partir do monitoramento em tempo real, ou seja, administração eficiente no controle de processos industriais, ativos e tempo operacional.

Para o sistema IoT, os aparelhos se agrupam como usuários a um servidor único, o *Broker*, que é quem faz o gerenciamento dos tópicos e diálogo entre as entidades. Diante disso, as mensagens oriundas dos aparelhos podem ser publicadas em tópicos, que podem ser percebidos pelos outros dispositivos (MORAES; HAYASHI, 2021). O MQTT é um protocolo de comunicação associado em um modelo de cliente/serviço para TCP/IP, adequado para dispositivos menores em nível de processamento e de comunicação, recomendado para aplicações IoT (MORAES; HAYASHI, 2021).

A fabricação de produtos em sistema legado e seus protocolos de comunicação, ainda são o grande desafio do serviço de informação pautado na IIoT, em virtude da fabricação ainda estar na sua fase inicial, porém novas colaborações estão surgindo no âmbito de padrões abertos de dados e, com isso, com os padrões abertos, pequenas e médias empresas terão a possibilidade de adquirir devido à minimização do custo e terão a oportunidade de ingressar nessa evolução (SEETHARAMAN *et al.*, 2019).

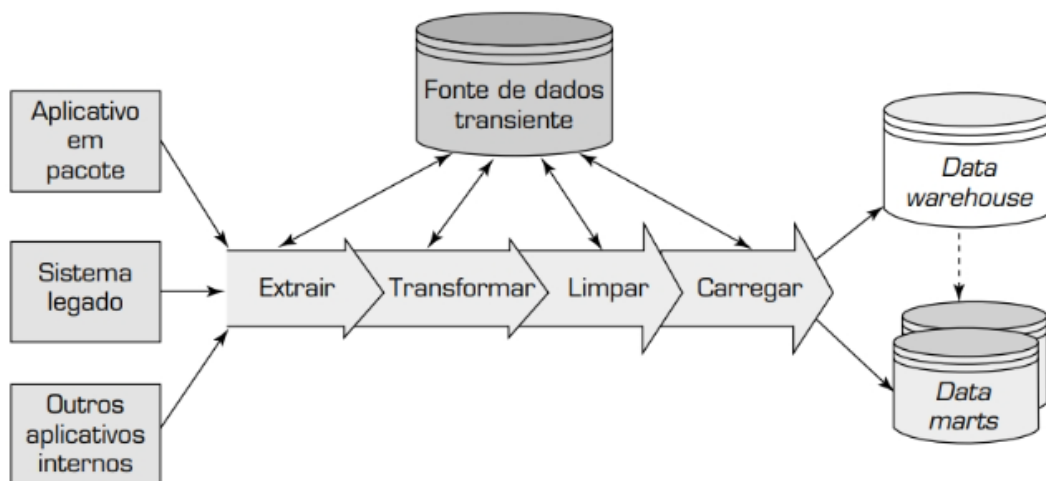
2.3 ETL

O processo de ETL (*Extract Transform Load*) tem a função de extração, transformação e carga de dados, e está associado a qualquer projeto em torno de dados. A extração aborda a obtenção de dados de uma ou mais bases de dados, que podem ser originados de qualquer fonte. A transformação é a modificação da forma como os dados foram extraídos para a forma adequada para serem inseridos em outro banco de dados. Esta transformação acontece a partir de regras ou tabelas de modelo com demais dados, e a carga que é a disposição dos mesmos dentro do banco de dados (SHARDA; DELEN.; TURBAN, 2019).

A idealização do ETL iniciou-se em 1970 como um método de integração e alimentação de dados para computadores de alto desempenho para análise (VIDA *et al.*, 2021).

O propósito do ETL é alimentar o armazém de dados com dados limpos e integrados (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). O ETL é um procedimento para ser realizado com frequência, seja lá todo dia ou com alguma periodicidade, levando em conta a necessidade da atualização almejada (VIDA *et al.*, 2021).

Figura 2: Processos do ETL



Fonte: Sharda, Delen e Turban (2019)

A extração está relacionada à coleta de dados de várias fontes e copiá-los para uma área intermediária para realizar a transformação desses dados, com isso, coleta-se dados estruturados e não estruturados para o mesmo repositório, essa

etapa pode ser feita de forma manual ou com a ajuda de ferramentas ETL (VIDA *et al.*, 2021).

O processo de transformação consiste em utilizar os dados brutos e transformá-los de forma a serem utilizados para análises e/ou se adequarem ao modelo de armazém de dados desejado (VIDA *et al.*, 2021). Ainda complementam Vida *et al.* (2021) que essas alterações devem ser realizadas nesta fase intermediária, pois minimiza os impactos relacionados ao corrompimento de dados e impactar negativamente o comportamento do sistema de origem.

Para Vida *et al.* (2021), a etapa mais importante do processo de ETL, a transformação é onde se aplicam regras para garantir a qualidade e disponibilidade dos dados, além de atividades como: limpeza, filtragem, corte de duplicidade e aprovação dos dados. No processo de transformação, também ocorre a formatação de dados na modalidade de tabelas para atender a estrutura do armazém desejado. *Dataset* é a nomenclatura utilizada para uma tabela e/ou conjunto de dados (SILVA *et al.*, 2016).

Carregar é transferir os dados da área de transformação para o banco de dados almejado, este carregamento pode ser feito todo ao mesmo tempo, mesmo que cause algum problema relacionado à manutenção desses dados, ou pode ser carregado em intervalos programados facilitando, assim, o processo de gerenciamento dos dados (VIDA *et al.*, 2021).

2.4 Banco de dados

Inicialmente, se faz necessário esclarecer a diferença de *dado* e *informação*. Todo acontecimento da realidade que pode ou não ser arquivado chamamos de *informação*, enquanto *dado* é a exibição da informação que pode capturada em papel, quadro de avisos ou servidor do computador. Diante disso, pode-se deduzir que um computador processa e armazena dados, não informação (ALVES, 2014).

Um banco de dados relaciona-se a um conjunto lógico de dados organizados que possuem algum interesse ou significância, ao invés de uma coleção de dados aleatórios projetada para manipular (ALVES, 2014). Dessa forma, o banco de dados é construído com dados que têm um objetivo em comum, com aplicações desenvolvidas para manipulá-los.

Um banco de dados é uma coleção de dados que obtém informações sobre determinada atividade ou empresa. O sistema de gerenciamento de um banco de dados (SGBD) se qualifica como uma coleção de dados correlacionados e agregados a um grupo de programas que se comunicam, e têm por objetivo principal facilitar a configuração para armazenar e recuperar as informações do banco de dados de forma eficiente (SILBERSCHATZ; SUNDARSHAN; KORTH, 2020).

Para Date (2004), o banco de dados é um armário de arquivamento eletrônico, ou seja, ele é um repositório, um grupo de arquivos computadorizados. O autor ainda complementa que o sistema de banco de dados é um sistema eletrônico de manutenção de registros, que tem por finalidade armazenar informações e possibilitar que outros usuários busquem ou atualizem as informações quando solicitado.

O tamanho do banco de dados oscila de acordo com os detalhes e com o uso que se faz dele. Para construir um banco de dados é importante três itens: fonte de informação, interação com o mundo real e um grupo de pessoas que demonstrem interesse nos dados contidos do banco (ALVES, 2014).

Um sistema de banco de dados tem sua principal aplicação em armazenamento e tem a capacidade de administrar grande modelos de informações, e por si só tem o propósito de oferecer a segurança das informações mediante as tentativas de fraudes e falhas do sistema (SILBERSCHATZ; SUNDARSHAN; KORTH, 2020).

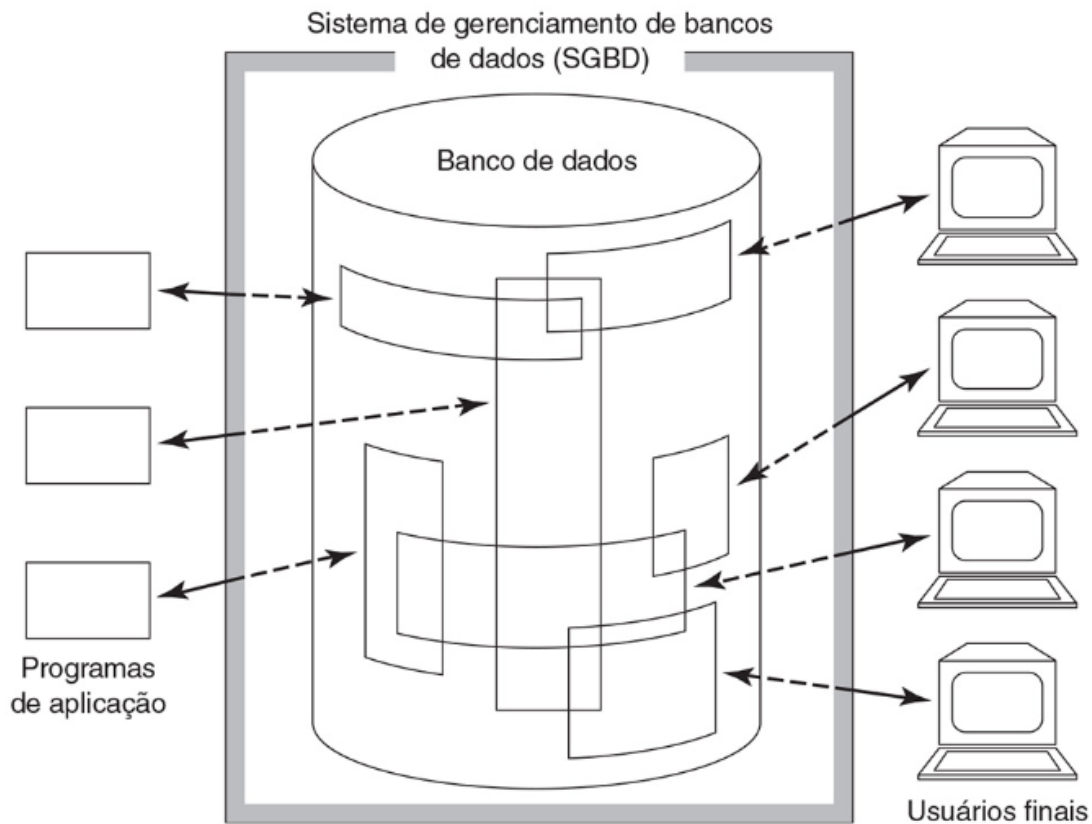
Os sistemas de banco de dados encontram-se acessíveis em máquinas de tamanhos diferentes, desde pequenos computadores até os clusters de computadores enormes (DATE, 2004). Um sistema de banco de dados é classificado como um sistema de software robusto e complexo, que tem como responsabilidade gerenciar uma coleção ampla e complexa de dados (SILBERSCHATZ; SUNDARSHAN; KORTH, 2020).

A principal vantagem em utilizar um sistema de gerenciamento de banco de dados é a posição coerente dos dados que estão organizados nesse banco, possibilitando a sua confiabilidade (ALVES, 2014).

O modelo de banco de dados é determinado como o detalhamento dos tipos de informações que devem ser arquivadas no banco de dados que se deseja construir, e esse detalhamento pode ser realizado por uma descrição textual. O mesmo autor ainda argumenta que os métodos permitem o desenvolvimento de um modelo de dados estruturado e resistente (ALVES, 2014).

A Figura 3 demonstra um sistema de banco de dados:

Figura 3: Ilustração de um sistema de gerenciamento de banco de dados



Fonte: Adaptado de Date (2004).

A finalidade do sistema de banco de dados é oferecer ao usuário uma visão clara sobre os dados, sem apresentar de forma geral os detalhes de como os dados são alimentados e armazenados (SILBERSCHATZ; SUNDARSHAN; KORTH, 2020).

O objetivo primordial do modelo de dados é possibilitar que um usuário leigo compreenda de forma rápida a disposição da estrutura do banco de dados (ALVES, 2014).

Para Carvalho *et al.* (2018), a temática de fábricas inteligentes e I4.0 são as teorias que mais ressaltam a importância de produzir de forma inteligente e eficiente, contudo, a coleta, processamento e análise de dados são fatores importantes para uma tomada de decisão assertiva com alto índice de informação

Na estrutura do banco de dados, obtém-se o modelo de dados, que são classificados em quatro categorias diferentes, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Tipos de modelo de dados e suas classificações

Modelo relacional	Utiliza coleção de tabelas para apresentar os dados e a relação entre eles; Modelo baseado em registro; O banco de dados é estruturado em registros de formato fixo de vários tipos; Cada tabela contém registro de um tipo específico, cada tipo de registro define o número fixo de campos ou atributos, as colunas da tabela correspondem aos atributos do tipo de registro. O modelo mais utilizado;
Modelo de entidade/relacionamento (E-R)	Utiliza coleção de objetos básicos chamada de 'entidades', uma entidade é uma "coisa" ou "objeto" no mundo real. Utilizado no projeto de banco de dados;
Modelo de dados semiestruturados	Esse modelo possibilita a especificação dos dados e em que itens de dados individuais do mesmo tipo possam ter diferentes conjunto de atributos; JSON e XML são utilizados para representar dados semiestruturados;
Modelo de dados baseados em objeto	Utiliza programação orientada a objetos (JAVA, C++ ou C#); É uma extensão do modelo ER com agregação de encapsulamento, métodos e identidade do objeto.

Fonte: Adaptado de Silberschatz; Sundarsham e Korth (2020).

O processo de tomada de decisões está sempre atrelado a dados, que são um conjunto de informações sobre a questão (problema) a ser analisada, em que o profissional ou uma equipe obtém mais de uma alternativa de solução, ou direção, e cabe ao responsável estudá-las para definir qual dessas alternativas tem maior potencial de atingir a solução viável de acordo com os objetivos estratégicos de atuação da empresa (MOREIRA, 2014). Um dos indicadores utilizados para auxiliar na tomada de decisão de um processo é o OEE, onde ele mede o desempenho de máquinas no processo de produto.

2.5 Overall equipment effectiveness (OEE)

A ferramenta OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) retrata a eficiência global do equipamento, é uma ferramenta quantitativa a qual é altamente utilizada para a medição de produtividade de equipamento nas indústrias de transformação. O autor ainda salienta, que o objetivo de sua utilização diz respeito ao interesse de

verificar e eliminar as perdas e propagar a melhoria de desempenho e confiabilidade entre as instalações (HENG *et al.*, 2019).

O OEE é uma ferramenta que mede o tempo produtivo de fabricação, considerando todas as perdas da atividade (VIJAYAKUMAR; ARCHANA.; KAMALAKANT, 2018). A partir do OEE é possível realizar a avaliação do desempenho da máquina, e identificar a eficácia da mesma (DEW; ALHILMAN; ATMAJI, 2020).

Segundo Heng *et al.* (2019) o OEE é apontado como uma ferramenta de análise fundada na multiplicação de três elementos de medida, sendo eles: disponibilidade, desempenho e qualidade, conforme mostra Eq. 1.

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad \text{Equação (1)}$$

Disponibilidade = tempo operacional total / tempo operacional disponível

Desempenho = tempo operacional líquido / tempo operacional total

Qualidade = tempo operacional útil / tempo operacional líquido

Para Slack, Brandon-jones e Johnston (2018) a dedução da fórmula acontece por:

- O tempo operacional total está relacionado com as perdas de disponibilidade, onde incluem o tempo não trabalhado de paradas não planejadas, atrasos planejados, falhas de equipamentos.
- O tempo operacional líquido refere-se às perdas de velocidade, que abordam perdas referentes à mão de obra não especializada, rendimento menor do que esperado, e atrasos em relação à tecnologia disponível.
- O tempo operacional útil abrange as perdas de qualidade, que incluem retrabalho, as variadas atividades de controle, inspeção e tratamento de reclamações.

A disponibilidade abrange o tempo geral que um sistema e/ou máquina não se mantém em atividade devido a alguma configuração de ajustes, falha e outras paradas, o desempenho está construído pela relação entre velocidade operacional e real do sistema e a qualidade traduz a quantidade de produção e defeito (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Independente do ramo de atuação, há uma escala mundial referente ao padrão médio ideal apresentada pelo Instituto Japonês de Manutenção de Plantas (JIPM), padrão esse que elege um OEE de 85%, e os critérios devem permanecer com disponibilidade em 90%, desempenho em 95% e qualidade compatível a 99,9% (SURBAKTI; MARIZKA, 2019).

Há seis grandes perdas no processo que afetam o OEE, sendo elas: *as perdas de disponibilidade* que estão atreladas à configuração e ajuste e quebra; *as perdas de eficiência de desempenho* falando de marcha lenta, pequenas paralisações ou velocidade reduzida; e, as perdas de qualidade que abordam defeito, retrabalho e rendimento minimizado (CHEAH; PRAKASH; ONG, 2020).

A indústria tem aderido cada vez mais ao conceito do OEE pelo fato de monitorar o desempenho de uma máquina de acordo com as capacidades técnicas e num contexto industrial ideal (ANVARI; EDWARDS, 2011).

2.6 Estado-da-arte

Diante dessas tecnologias que a manufatura inteligente integra e suas utilidades, fez-se a necessária realização de um estudo para explorar as publicações científicas relevantes à pesquisa, a fim de verificar as pesquisas já realizadas sobre tecnologias inteligentes aplicadas à produtividade e desempenho de máquinas operatriz CNC.

Com o intuito de se aprimorar e desenvolver ferramentas de manufatura inteligente no processo de produção, os autores Zhang *et al.* (2016) desenvolveram uma arquitetura em sistema cyber-físico para máquina CNC a fim de inserir controle inteligente, onde utilizou sensores da máquina e integrou um método análise *Big Data* para identificar dados desconhecidos. A abordagem proposta pode ser verificada em uma linha de laboratório no sistema de fabricação, que pode apresentar respostas aos usuários por meio de terminais computacionais e móveis.

O sistema SCADA utilizado por Li, Inoue e Sinha (2022) tem o propósito de projetar e integrar o OEE em *Dashboard* em tempo real, e ainda incluíram as análises de produção no sistema a fim de rastrear o processo e aumentar a visibilidade da execução. A estrutura da arquitetura OEE foi construída com a adaptação de sensores para desenvolver as métricas importantes para o cálculo do OEE que são: disponibilidade, desempenho e qualidade.

O trabalho de Del Castilho *et. al* (2021) buscou investigar as consequências de se utilizar conexão com sistemas legados a novas tecnologias e se isso traria benefícios no quesito produtividade e sustentabilidade. Concluíram que para o sucesso de aplicações indústria 4.0 é necessária uma estrutura de conexão entre os sistemas de forma eficiente para que seja possível a construção de análises de Big Data e ferramentas de IA. O MQTT é um protocolo de comunicação assertiva para utilização, devido a sua simplicidade e ser aberto. No entanto, desenvolveram uma infraestrutura digital para uma planta da indústria 4.0 formando estrutura para ferramentas inteligentes e análises de dados a partir dele.

Outros trabalhos buscam além de produtividade, outro fator relevante, que é o desempenho de máquinas CNC que contribuem para o aumento significativo na produtividade.

Herwan *et al.* (2019) se moveram para ações embasadas pela Indústria 4.0, utilizaram sensores para avaliar a precisão de identificação de desgastes de ferramenta em máquina CNC e, com apenas um sensor, foi possível monitorar todas as ferramentas da operação e atingir a precisão mais eficiente.

A partir de um estudo exploratório sobre a aplicação de IoT em CNC, Vijayakumar, Archana e Kamalakant (2018) realizaram uma análise para verificar se há diferença no OEE em CNC tradicional e CNC habilitado para IoT. Contudo, constataram que o OEE para a CNC aumentou de 59,9% para 78,59%. A utilização de sensores IoT para monitorar a máquina, permite coleta de dados em tempo real, e consegue enviar notificação caso a máquina desvie dos parâmetros pré-estabelecidos. Os autores utilizaram a plataforma IoT *Datonis Industrial* baseada em nuvem para a conexão de máquinas, realizar análises e IA na máquina. A utilização do IoT traz como um dos benefícios, aumentar a produtividade de cada máquina.

Carvalho *et al.* (2018) desenvolveram e validaram uma metodologia de análise de dados referentes ao consumo de energia de máquinas CNC no processo de fabricação, usando aprendizagem de máquina e tecnologias da I 4.0. Essa metodologia possui a capacidade de identificar os dados de energia gasta com precisão e permitiu uma melhor compreensão de máquinas e processos, possibilitando a implementação de estratégias de agendamento inteligente e monitoramento por OEE.

Para Yuan *et al.* (2021) ressaltam as vantagens que a utilização dos dados de máquina de forma inteligente impacta no desempenho de processos produtivos.

Então, foi desenvolvido um estudo em um sistema de melhoria de OEE a partir de técnicas de aprendizado de máquina sobre a análise de dados oriundos de máquina CNC. Nesse estudo, utilizaram sensores conectados à máquina CNC para coletar dados mais específicos do processo em relação ao comportamento das ferramentas de trabalho, atuaram nessa pesquisa com o propósito de prever questões relacionadas à qualidade do produto e investigar o desempenho da máquina.

Para Dewi, Alhilman e Atmaji (2020), a importância da máquina CNC no processo, elucidando que máquina parada ou com baixa eficiência é perda para todo o processo. Analisaram os dados de máquinas a partir da análise de OEE e identificaram seis perdas principais: falha de equipamento, configuração e ajustes, marcha lenta e pequenas paradas, perdas de velocidade, perdas por defeito, atendimento reduzido. Utilizaram gráfico de Pareto para avaliar as perdas detectadas.

Além destas, identificou-se que várias pesquisas utilizam o valor do OEE para justificar melhorias no processo e avaliar melhorias realizadas por outros segmentos. Porém, ainda é notória a ausência de trabalhos que desenvolvem arquitetura digital para contabilizar OEE para máquinas CNC a fim de coletar, processar e armazenar informações do processo.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo trata dos aspectos metodológicos para concretização da pesquisa. É discutida a abordagem metodológica a ser utilizada, bem como o detalhamento de como cada etapa foi realizada.

3.1 Caracterização da pesquisa

As pesquisas são classificadas de acordo com o objetivo, sendo assim, podem ser de caráter prescritivo ou descritivo. As pesquisas descritivas têm como objetivo estudar e descrever uma determinada relação entre variáveis, descrição de características, grupos ou população, um diagnóstico sobre a circunstância (GIL, 2002). As pesquisas prescritivas se desenvolvem com o propósito de buscar soluções e melhorias para um problema, a partir de investigação de valores concretos para a formação de conceitos e hipóteses (HEVNER; CHATTERJEE, 2010).

De acordo com o objetivo geral, essa pesquisa é classificada como pesquisa prescritiva, uma vez que ela busca desenvolver um método de aplicação de tecnologia IoT para captura de dados que permitam a determinação do indicador OEE visando a tomada de decisão.

O *framework* metodológico proposto para o desenvolvimento deste trabalho é o *Design Science Research* (DSR) que tem como objetivo projetar e designar como construir artefatos que possibilitem respostas satisfatórias aos problemas pragmáticos (LACERDA *et al.*, 2013).

O DSR tem como objetivo expandir soluções fundamentadas em tecnologia para resoluções de problemas de negócios relevantes, onde suas pesquisas são resultado de aplicações de métodos precisos tanto na avaliação quanto na construção do artefato (HEVNER *et al.*, 2008).

3.2 Abordagem metodológica

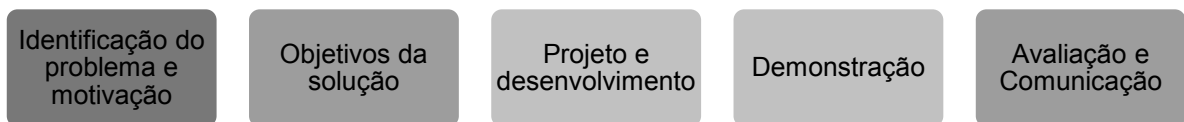
O objetivo do DSR é elaborar artefatos que possibilitem responder adequadamente a impasses empíricos, na forma de métodos, modelos e instanciações (LACERDA *et al.*, 2013). O DSR é uma abordagem de pesquisa que

responde questões pertinentes para situações humanas através do desenvolvimento de artefatos inovadores (HEVNER; CHATTERJEE, 2010).

O DSR atua como uma sistematização do desenvolvimento de artefatos a qual é intensamente utilizada em projetos de engenharia (HEVNER *et al.*, 2008). Lacerda *et al.* (2013) apontam os passos do processo de execução, sendo eles: a identificação do problema, a definição dos objetivos da solução, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação.

Estão listados conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: As principais etapas do desenvolvimento do DSR



Fonte: Adaptado de Peffers *et al.* (2007).

Peffers *et al.* (2007) descreveram como:

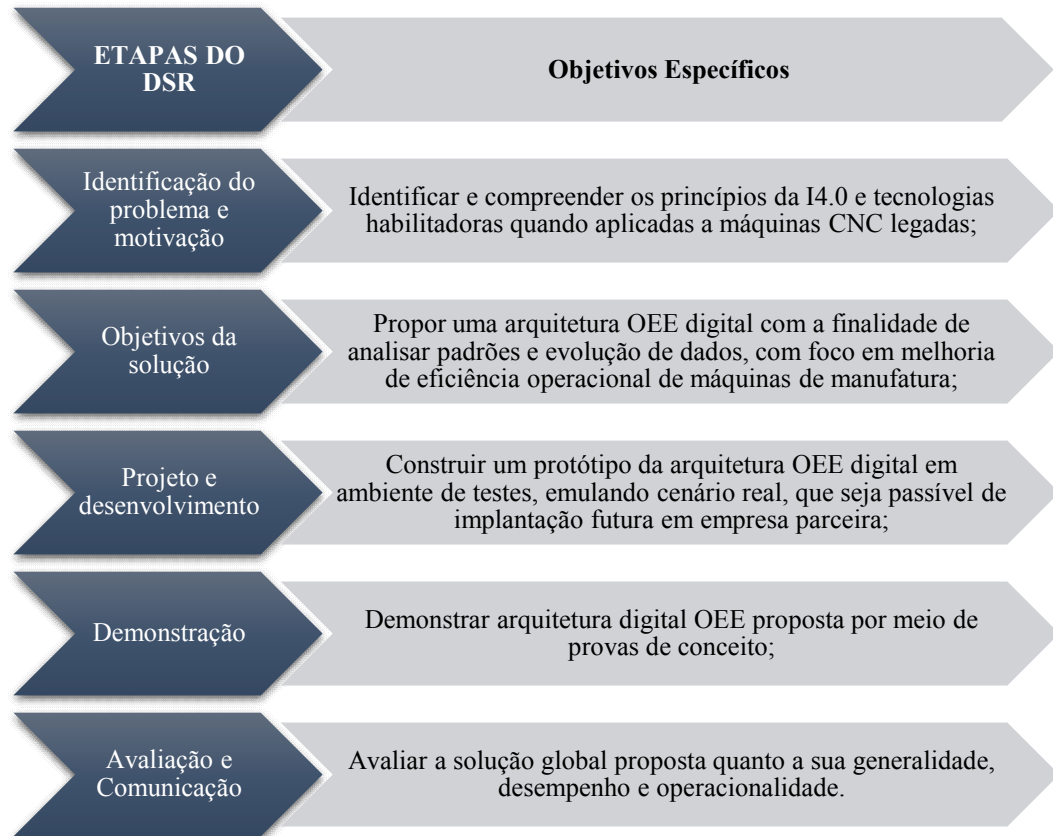
- A identificação do problema e a motivação abordam a definição do problema e os recursos a serem estudados e o conhecimento da importância da solução.
- A definição dos objetivos da solução condiz com os objetivos a serem atingidos de acordo com o problema proposto, sejam eles quantitativos ou qualitativos.
- O projeto e o desenvolvimento estão relacionados à construção dos modelos, métodos ou artefatos.
- A demonstração do projeto para resolver o problema proposto inicialmente, a partir de simulação, prova ou estudo de caso.
- A avaliação diz respeito à mensuração do quanto o modelo atende a solução do problema.
- Comunicação apresenta a utilidade e novidade do projeto mediante sua eficácia para profissionais relacionados ao tema e outros públicos.

Lacerda *et al.* (2013) complementam, ainda, que para avaliação dos resultados o DSR utiliza-se de simulações, experimentos e/ou aplicações e não apenas confronto de teoria. As atividades ressaltadas nesta seção estão descritas de

forma detalhada na Seção 3.3, com o intuito de ilustrar como se desenvolveu a construção do modelo.

A Figura 5 demonstra a relação de construção da metodologia DSR com o atendimento dos objetivos específicos.

Figura 5: Relação entre os objetivos específicos e o DSR



Fonte: O Autor

3.2.1 Identificação do problema e motivação

A identificação do problema de pesquisa, primeira etapa do processo do DSR, aborda o contexto de aplicação do modelo, bem como identificação das questões necessárias para serem trabalhadas na empresa parceira, realizada através da pesquisa pertinente com a literatura existente em base de dados validadas cientificamente.

Com isso, iniciou-se uma busca na literatura através de análise bibliométrica e sistêmica sobre o contexto de pesquisa, com o intuito de adquirir robustez conceitual sobre o assunto, averiguar pesquisas já realizadas e respectivos resultados

alcançados e, ainda, identificar tendências de pesquisas e lacunas sobre o contexto em estudo.

E primeira etapa do DSR se consolida no capítulo 1. Essa etapa também se concretizou a partir de reuniões realizadas com membros da equipe do projeto na empresa parceira, onde apontaram as dificuldades encontradas no processo, as métricas e expectativas para o desenvolvimento do trabalho, e a busca para promover a conectividade na linha de usinagem baseada em indústria 4.0.

3.2.2 Definição dos objetivos da solução

A segunda etapa do DSR aborda a definição dos objetivos para realização do projeto e os resultados esperados com sua aplicação para resolução da questão-problema. De tal forma, em concordância com o objetivo geral e específico, os resultados esperados para esta pesquisa são apresentados a seguir.

O resultado da etapa 2 do DSR é apresentada no capítulo 2 a partir da apresentação dos conceitos e principais características do tema da pesquisa e forma de desenvolvimento da arquitetura que atende a oportunidade de pesquisa.

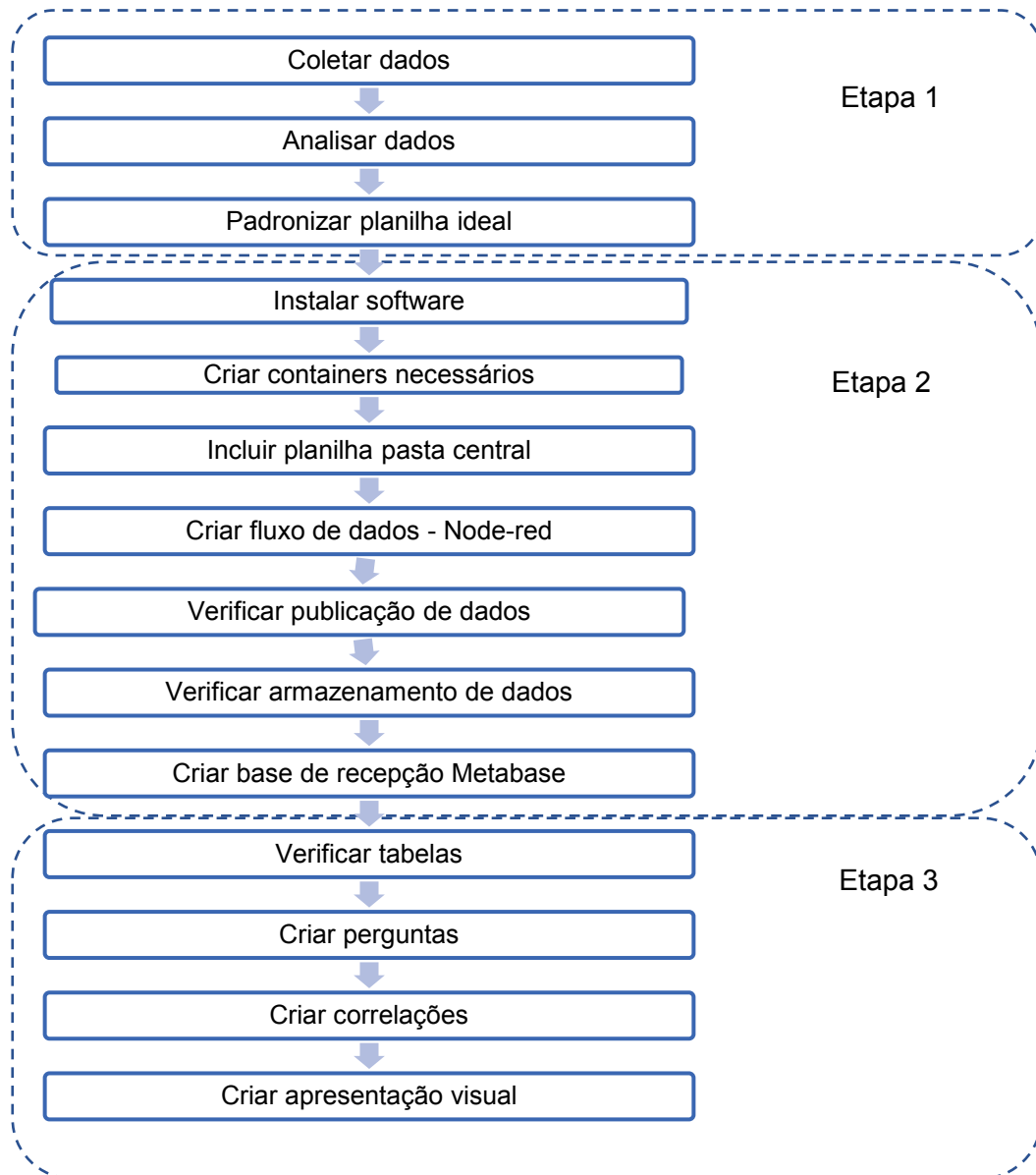
Na arquitetura proposta, os dados são oriundos de máquina CNC e são trabalhados dentro do contexto ETL para extrair, transformar e carregar os *Dataset* necessários para atender o propósito de identificar a eficiência operacional das máquinas e apresentá-la de forma dinâmica para auxílio na tomada de decisões.

3.2.3 Desenvolvimento da solução

Na terceira etapa, as atividades desenvolvidas estão diretamente alinhadas com a construção da arquitetura. Com o desenvolvimento da revisão de literatura, definiu-se que o artefato a ser construído nesse projeto compreende a uma arquitetura OEE digital com integração de parâmetros de análises para máquinas na indústria de manufatura.

As etapas para construção do artefato são observadas na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma de atividades para construção da arquitetura digital



Fonte: O Autor

3.2.3.1 Etapa 1 – estrutura de dados

Está relacionada ao trabalho a ser feito sobre os dados. A primeira ação a ser tomada para desenvolver a arquitetura é identificar em qual cenário de atuação, qual tipo de máquina, quais parâmetros estão ligados às atividades da máquina e como os dados serão apresentados após a coleta da máquina.

Os dados são armazenados no computador da máquina e recolhidos no final do turno, assim são processados em lote de um turno. Para coleta de dados em

máquinas, foi necessária uma adaptação comercial baseada em tecnologia IoT para capturar os dados do sistema legado, convertê-los em um sistema padrão de comunicação, posteriormente, disponibilizá-los no formato desejado em servidor local.

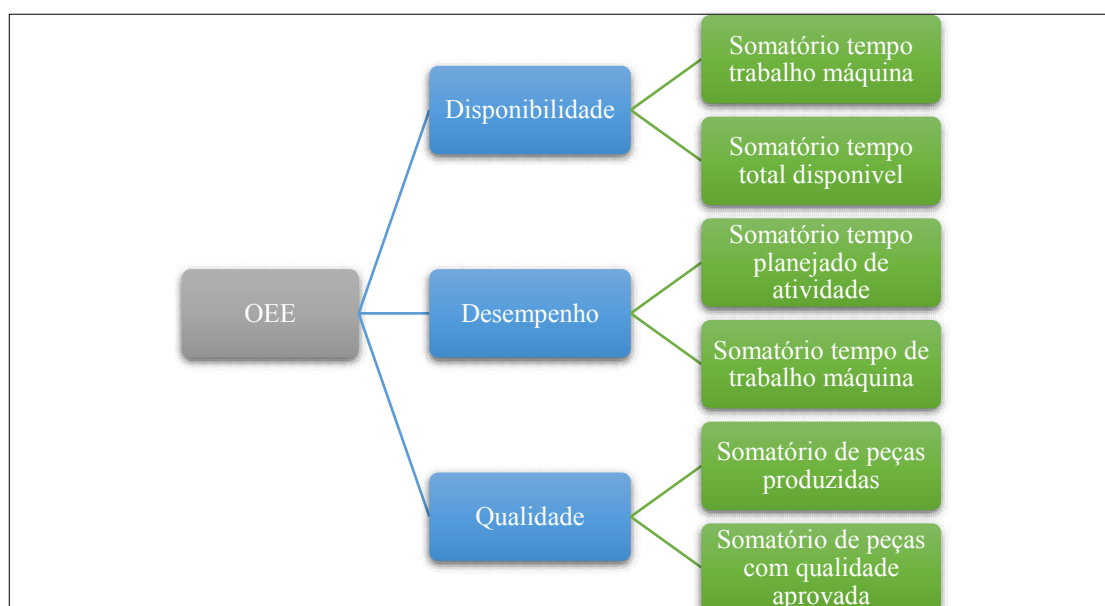
Um ponto importante a ser ressaltado sobre a coleta de dados e que impacta bastante no sucesso da arquitetura é a rastreabilidade dos dados para cada máquina. Isso garante que os dados utilizados no modelo sejam exatamente do momento, dia e máquina analisada.

Para atender esse critério, é extremamente necessário classificar todas as informações coletadas segundo a máquina de origem, obter registros precisos do tempo de coleta dos dados a cada atividade da máquina.

A próxima atividade está relacionada à análise desses dados, filtrar os parâmetros que são realmente necessários para a construção do artefato. Analisar a forma como os parâmetros se apresentam, o intervalo que são registrados e o que eles apontam sobre as atividades de usinagem da máquina.

Nesta etapa, é importante identificar quais são os pilares necessários para construção do OEE, e identificar quais dados serão necessários para alimentar cada um dos pilares, para então filtrar somente os dados necessários e não sobrecarregar o sistema nem as tabelas geradas para correlações. A Figura 7 faz a identificação dos pilares.

Figura 7: Relação dos pilares do OEE e informações de máquina conforme literatura



Fonte: O Autor

Para atender o pilar de disponibilidade, é necessário ter o somatório do tempo de atividade da máquina e dividi-lo pelo tempo em que a máquina estava disponível. A disponibilidade busca identificar o tempo que ela passou trabalhando e o tempo que a máquina passou ociosa.

Para o pilar de desempenho, é primordial identificar o tempo necessário para produzir a peça, fornecido pelo planejamento, dividido pelo tempo que levou para processar. São os parâmetros associados ao tempo que foi planejado para produzir e o tempo em que realmente ocorreu a produção.

Para o pilar de qualidade, é necessário saber o número de peças produzidas, dividido pelo número de peças produzidas neste mesmo dia, mas com qualidade aprovada.

Existe uma grande diversidade de parâmetros que são utilizados para calcular o OEE em máquinas no mesmo cenário industrial, porém modelos ou versões diferentes. Diferentes nomenclaturas de parâmetros podem ser utilizadas para calcular o OEE, mas é importante que atendam aos critérios dos pilares mencionados na Figura 7.

A atividade de padronizar planilhas está direcionada a uniformizar a exibição dos dados em planilhas para serem lidas no software que processará os dados na etapa 2. Esse padrão precisa ocorrer para que seja possível a correlação com demais planilhas.

A padronização de exibição dos dados deve ocorrer para que o Mosquitto possa ler os dados da mesma forma a cada novo upload de dados que ele receber, uma vez que as fórmulas serão programadas e serem executadas toda vez que um novo arquivo for identificado no servidor local, sem a necessidade de intervenção humana.

A padronização diz respeito ao intervalo de registro de cada um dos dados que representam atividade de máquina, nomenclatura de nome de máquina, nome de peça, nome cabeçalho de cada coluna, o registro de atividade quando for número binário ou tempo de execução.

A entrega desta etapa são as planilhas (*Datasets*) estruturadas, que são salvas no servidor local para serem utilizadas na etapa 2.

3.2.3.2 Etapa 2 – fluxo de dados digital

Nesta etapa, ocorreu o processamento e armazenamento dos dados. Esta é a etapa em que os dados foram direcionados ao software Docker Desktop para serem processados e padronizados. Instalou-se o software Docker Desktop (V4.11.1) que é o programa que trabalha com a ideia de containerização. Tem como vantagem processar de forma local no servidor.

O Docker Desktop é um ambiente que atua de base para programas serem instalados em formato de containerização para que esses programas trabalhem de forma simultaneamente dentro do mesmo ambiente previsto pela arquitetura

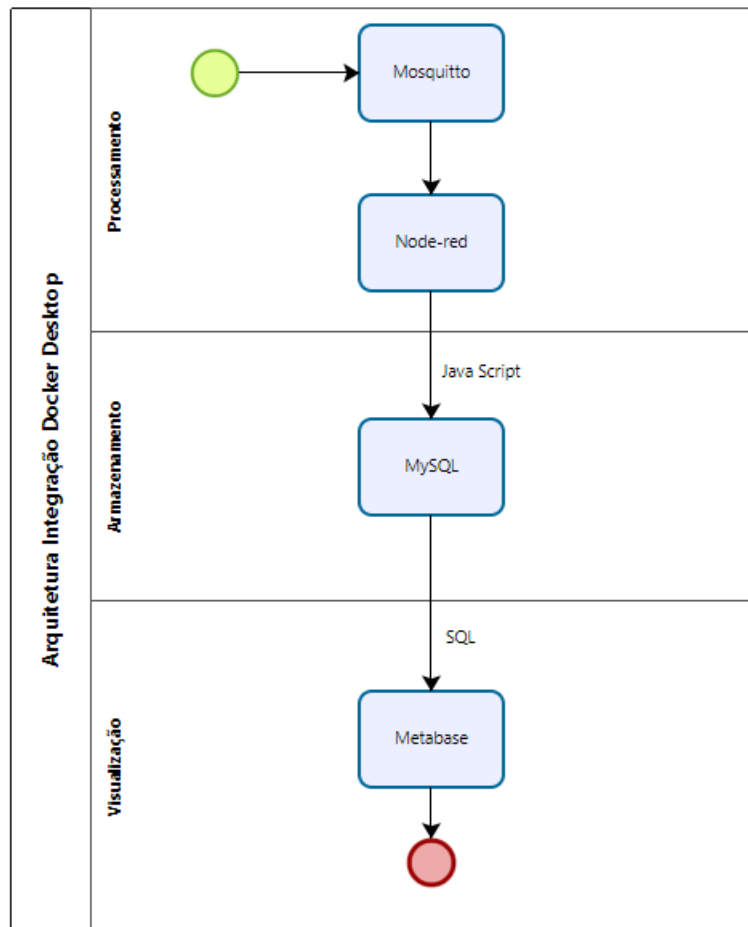
O Docker permite que os programas diferentes se instalem internamente, e sincronizem seus dados. Neste estudo, arquitetura é montada em cinco etapas: a fonte, estruturação, processamento, armazenamento e visualização dos dados. A arquitetura de integração desenvolvida no Docker traz a possibilidade de visibilidade no fluxo de informação entre Mosquitto, Node-RED, MySQL e Metabase para atingir o objetivo proposto.

A ferramenta de software Mosquitto cumpre o papel de broker MQTT. Fisicamente é executado num dos contêineres instanciados na plataforma Docker. Os registros das operações das máquinas (neste caso emulados pela leitura linha-a-linha de uma planilha de entrada em formato CSV) são publicados em um ou mais tópicos MQTT. Dados oriundos de outras fontes, como Sistema de Informação da Qualidade e PCP, são injetados da mesma forma.

Num fluxo criado na ferramenta de software Node-RED (segundo contêiner na plataforma Docker) os registros são capturados (e tratados, se necessário) para posteriormente serem transferidos ao banco de dados MySQL (terceiro contêiner na plataforma Docker) na forma de tabelas.

A estrutura do fluxo de dados digital acontece Docker Desktop conforme mostra a Figura 8.

Figura 8: Arquitetura da integração do fluxo de dados digital



Fonte: O Autor

O Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo de programação visual, então, a partir dele é possível verificar como está ocorrendo a ingestão desses dados, e organizar essas tabelas da forma mais coerente possível com as próximas etapas.

O Node-RED é um ambiente de desenvolvimento integrado que pode ou não ser operada com interface baseada em navegador. Neste caso a instância Linux (i.e., contêiner) onde o Node-RED está instalado tem um servidor web que permite a operação via navegador a partir de URL e porta específicas.

O Node-RED é formado por nós que leem os arquivos *Datasets*, esses nós resultam de uma biblioteca interna, que possibilita a criação de fluxos de forma ágil. Os nós representam cada atividade necessária para criar a estrutura de dados e desenvolver a tabela (Node-RED, 2022).

O Node-RED tem uma biblioteca própria que possibilita que os nós sejam utilizados para criar o fluxo de dados necessário. O fluxo é criado de forma a extrair os dados do servidor local, e processá-los dentro do Node-RED, que permite transformar esses dados em tabelas ideais para serem armazenadas e disponibilizadas no quadro de visualização. A ferramenta permite visualização dos dados publicados para verificar se estão de acordo com o programado.

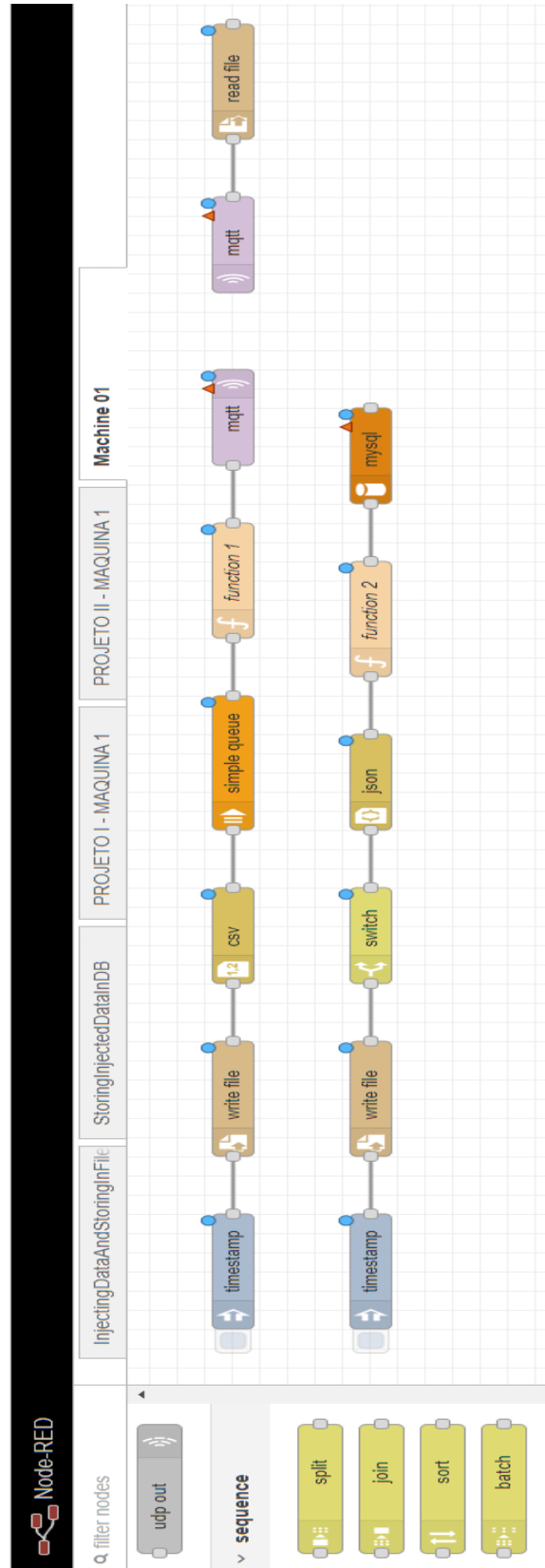
A ferramenta de software de BI Metabase (quarto contêiner na plataforma Docker) então se conecta ao banco, permitindo a execução de chamadas em linguagem SQL sobre as tabelas existentes com o propósito de computar os elementos necessários ao cálculo do OEE. Neste caso, todos os contêiners são instâncias Linux que operam

A Figura 9 representa o caminho de nós para estruturar as tabelas e encaminhar o armazenamento no banco de dados.

Os nós que integram a primeira linha do fluxo de programação são: *timestamp* (ou *inject*, que injeta os dados no fluxo manualmente), *write file* (grava *msg.payload* em um arquivo), *CSV* (converte entre uma string formatada em CSV e seu Objeto JavaScript), *simple queue* (usa este nó para armazenar mensagens recebidas na fila de memória), *function 1* (uma função JavaScript para executar nas mensagens recebidas pelo nó), *MQTT out* (conecta-se a um intermediário MQTT e publica mensagens), *MQTT in* (conecta-se a um intermediário MQTT e assina mensagens do tópico especificado) e *read file* (lê o conteúdo de um arquivo como string ou buffer binário).

Os nós que compõem a segunda linha são *timestamp*, *write file*, *switch* (mensagens de roteamento com base em seus valores de propriedade ou posição de sequência), *JSON* (converte entre uma string JSON e sua representação de objeto JavaScript), *function 2* e *MySQL* (permite acesso imediato a um banco de dados MySQL).

Figura 9: Fluxo de programação visual padrão para o modelo



Fonte: O Autor

Esse fluxo de dados é o mesmo para cada fonte de dados, entretanto precisam ser alterados somente os nós que estão relacionados à coleta de dados, a função onde é programada a tabela de armazenamento e a direção do armazenamento, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10: Ilustração do exemplo de programação do nó *Function*

```

1 var d = new Date();
2 var dformat = [d.getMonth() + 1,
3 d.getDate(),
4 d.getFullYear()].join('/') + ' ' +
5 [d.getHours(),
6 d.getMinutes(),
7 d.getSeconds()].join(':');
8 var t = d.getTime();
9 var payload = {
10   "Date": dformat,
11   "Timestamp": t,
12   "Turno": msg.payload.Turno,
13   "Equipamento": msg.payload.Equipamento,
14   "Ciclo": msg.payload.Ciclo,
15   "ID": msg.payload.ID,
16   "Automatico": msg.payload.Automatico
17 };
18 msg.payload = payload;
19 return msg;

```

Fonte: O Autor

A edição do nó *function* é responsável por executar as mensagens que passam por ele, ou seja, permite que o código Java Script seja cumprido nas mensagens que passam por ele.

Na sequência, os dados são conectados a um nó do tipo MQTT que publica a mensagem. Um outro nó do tipo MQTT recebe essas mensagens e, posteriormente, são encaminhadas ao banco de dados.

O fluxo de operações sobre dados no Node-RED, os dados são direcionados ao banco de dados MySQL. Cada nó traz um componente semi-padronado, com código customizável para realizar a tarefa que se pretende. Uma sequência

apropriada de nós no fluxo pode permitir a realização das operações necessárias para extração, transformação e carregamento de dados

Essa publicação de dados gera um arquivo que fica salvo no mesmo repositório central do Docker no servidor local e em nuvem, o que possibilita que os dados armazenados sejam utilizados por outras ferramentas, que é o caso do Metabase que se conecta ao banco e permite a realização de queries complexas em linguagem SQL.

O MySQL é uma ferramenta destinada a armazenar os dados após passarem pelo fluxo de programação do Node-RED, e disponibilizá-los para serem utilizados pela ferramenta de visualização de dados Metabase.

3.2.3.3 Etapa 3 – correlação dos dados

Na etapa 3, o primeiro passo realizado foi o Metabase se conectar ao banco e fazer as chamadas SQL para ter acesso as tabelas armazenadas no MySQL.

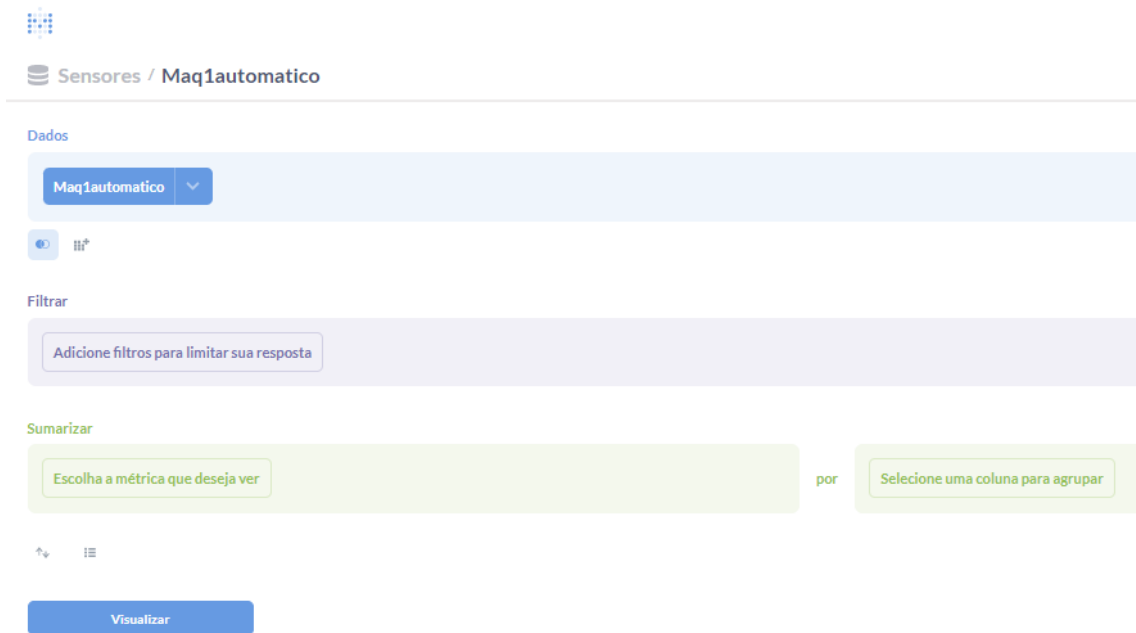
Feito isso, o passo seguinte é criar as perguntas para iniciar a correlação de dados no Metabase. O Metabase é uma ferramenta *open source* para visualização de dados que tem por finalidade construir *Dashboards*, relatórios e gráficos de forma dinâmica, desde aqueles mais simples até formas de apresentação mais complexas.

O Metabase é construído a partir de perguntas (ou queries) que são convertidas em chamadas SQL sobre o banco de dados, de tal forma que, através de uma sequência delas, é possível filtrar dados, totalizar valores e realizar cálculos.

Após criar várias perguntas para atender o cálculo do objetivo inicial e conseguir contabilizar o OEE, no Metabase é possível criar gráficos e tabelas que expressem informações sobre as perguntas realizadas e possibilitem o cálculo instantâneo de qualquer fórmula projetada, além de permitir interação de forma dinâmica.

A Figura 11 apresenta uma nova pergunta sendo criada no Metabase. Cada pergunta precisa de uma fonte de dados em que possa traçar os filtros e/ou as métricas que têm como objetivo a correlação desejada.

Figura 11: Imagem referente ao modelo de criar pergunta no Metabase



Fonte: O Autor

O Metabase é a fase em que as tabelas serão correlacionadas ao ponto de identificar as informações pertinentes para atingir o objetivo de contabilização do OEE dentro dos seus três pilares principais: disponibilidade, performance e qualidade.

Ocorre também no Metabase, a visualização dos dados já trabalhados num *Dashboard* montado de acordo com a expectativa do usuário. Esse *Dashboard* é dinâmico e se atualiza na medida que os dados forem alimentados.

3.2.4 Demonstração da solução

A demonstração da solução, a quarta etapa, busca assegurar que a solução computacional para o objetivo que foi proposto inicialmente funciona. Portanto, foi validada a solução em no contexto industrial de uma empresa parceira.

A concorrência ampliada a nível global associada a mercados altamente sensíveis a preço, tem forçado as organizações a buscar formas de melhoria na produtividade, para atender quesitos de qualidade e preço dentro das mudanças da demanda do mercado (OLIVEIRA *et al.*, 20019). Portanto, um sistema produtivo de usinagem composto por máquinas operatrizes CNCs legadas utilizadas como cenário para alcançar o objetivo proposto.

Para esta pesquisa, o caso de simulação foi desenvolvido em um dos sete locais de atuação da CNH Industrial na América Latina, o local da Cidade de Curitiba-PR. Em suas instalações numa área de 793.000m² está o Centro de Manufatura e Desenvolvimento de Produtos de Agricultura Case IH e New Holland, onde são fabricados Tratores e Colheitadeiras New Holland, Tratores Case IH e Componentes para as duas marcas.

A Figura 12 apresenta área de atuação da empresa.

Figura 12: Imagem da instalação da empresa na cidade de Curitiba - PR



Fonte: Planetacarsz (2020)

Para demonstração da solução computacional, foram utilizados dados simulados de três máquinas atuantes no processo em uma das quatro fábricas instaladas na planta de Curitiba, a fábrica de transmissões, mais especificamente, no processo de usinagem de carcaças de ferro fundido, com uma capacidade instalada para 100 transmissões de tratores por dia. Este processo obtém, atualmente, 22 centros de usinagem horizontal e 1(um) torno vertical. Exemplo de uma máquina CNC pode ser observado na Figura 13.

Figura 13: Imagem ilustrativa de um centro de usinagem CNC

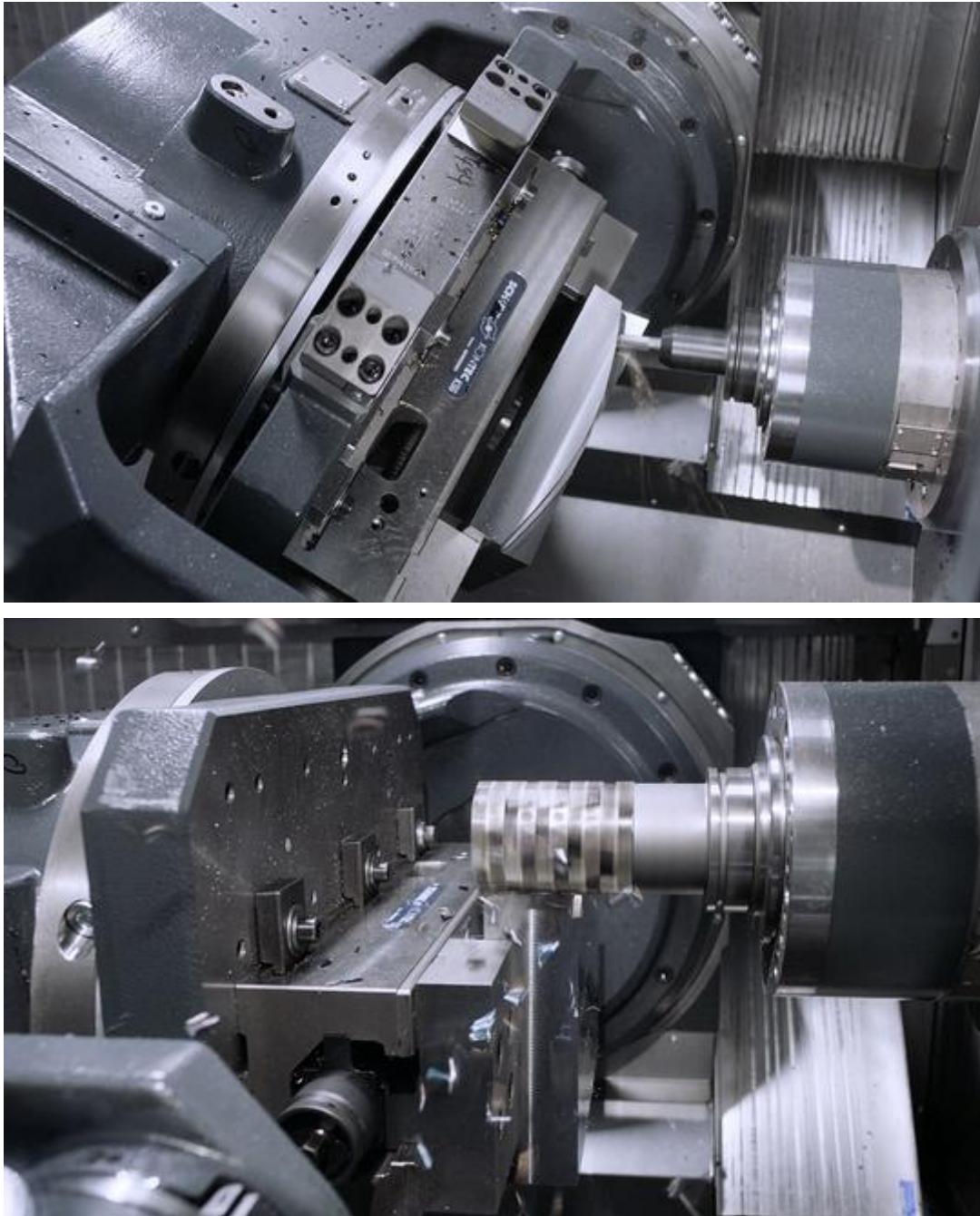


Fonte: Heller (2023)

As peças entram como blocos de ferro fundido na máquina da Figura 13, são usinadas de acordo com o programa pré-estabelecido e resultam em peças que fazem parte da construção do eixo de transmissão dos tratores.

A Figura 14 ilustra um exemplo do processo de usinagem

Figura 14: Imagem ilustrativa de exemplo de peças sendo usinadas em máquina CNC

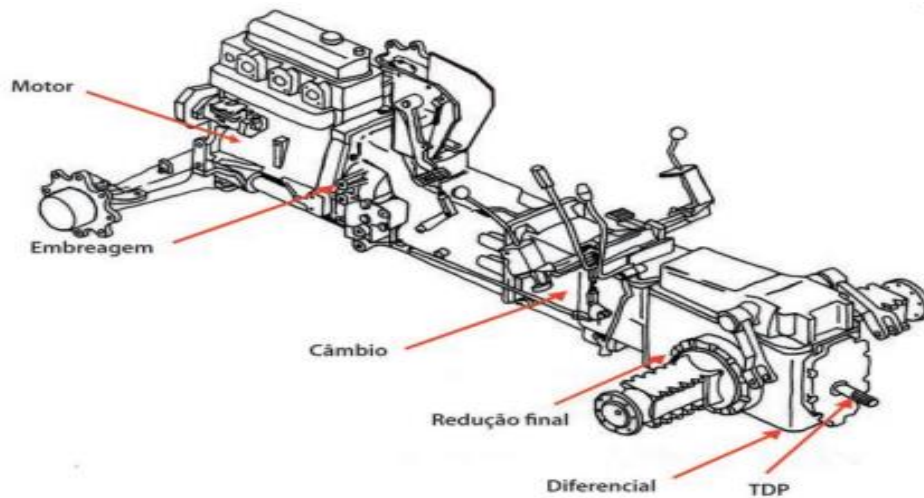


Fonte: Heller (2023)

As peças usinadas seguem o fluxo de produção e vão para a área de montagem do eixo de transmissão, onde ocorre a junção das peças de ferro fundido com os microcontroladores e demais componentes que integram o eixo de transmissão.

A Figura 15 ilustra o eixo de transmissão de um trator.

Figura 15: Componentes básicos do trator



Fonte: Senar (2011)

Após montado, o eixo de transmissão passa por uma bancada de testes, para verificar se todas as peças estão acopladas da forma correta, bem como se todos os transmissores inseridos estão funcionando de acordo com o planejado.

Aprovado, o eixo de transmissão é direcionado para a área de montagem da estrutura geral, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16: imagem ilustrativa da montagem de trator



Fonte: Ricmais (2020)

Entre a quantidade de informação disponibilizada pela máquina e o contexto ao qual está inserida, serão considerados, mais especificamente, os dados oferecidos

pelas atividades rotineiras realizadas pela máquina CNC e os dados de planejamento de processo e relatório de qualidade envolvidos no seu desenvolvimento.

Atualmente, uma parcela das avaliações de desempenho das máquinas depende do fator humano. Uma vez que os dados são coletados e analisados de forma manual, oportunizam erros e, sendo um processo manual, demanda grande quantidade de tempo para a realização, além de não apresentar segurança sobre a acurácia dos dados utilizados.

Para que haja segurança e eficiência na avaliação do desempenho de máquinas, e como consequência assertividade na tomada de decisões, a solução computacional necessitou de atenção aos dados disponibilizados pelas máquinas CNC que, após analisados e padronizados, foram relacionados com o desempenho e, assim, oportunizou ações de otimização nas máquinas, no processo e, conseqüentemente, disponibilizou o aumento de disponibilidade de equipamentos e melhoria no processo fabril.

Em resumo, para a apresentação do artefato, foram utilizados dados de uma máquina operatriz CNC presente na linha de usinagem. Para validação, foi criado um ambiente de testes, emulando o cenário real a partir de dados reais de atividade da máquina fornecidos pela empresa parceira.

3.2.5 Avaliação dos resultados

A avaliação da solução tem por objetivo responder à pergunta: A solução funciona bem? Dessa forma, essa etapa se refere ao atendimento do objetivo específico de avaliar o modelo, que compete avaliar a solução quanto a sua eficiência, generalidade e aplicabilidade.

Em relação a eficiência, abordar os critérios sobre qualidade do resultado, se as informações entregues são pertinentes ao objetivo proposto. A generalidade avaliar os critérios quanto a aplicação da arquitetura em outras máquinas e outras áreas de concentração, e como se desenvolver. E a aplicabilidade em relação aos dados demonstrativos do processo.

Para o número de pessoas avaliando o artefato não se fez o uso de questionários estruturados, e sim a discussão dos pontos centrais de avaliação da solução apontados acima.

3.2.6 Comunicação dos resultados

A etapa que finaliza o DSR, equivale à comunicação dos resultados encontrados na pesquisa. Esse relato acontece, inicialmente, pelo desenvolvimento da tese de doutorado e publicação de artigos com foco em periódicos de aceite internacional, de forma a relatar as respostas encontradas para atender a questão-problema.

Para a organização, a comunicação dos resultados ocorreu através de workshops, apresentação da tese ao grupo de profissionais que trabalharam em parceria para o desenvolvimento da pesquisa.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Neste capítulo, ocorre a apresentação do artefato no contexto de demonstração escolhido.

A abordagem do DSR, a etapa de identificação de oportunidade do problema e motivação, é construída no capítulo 1 (Introdução), onde ocorre a contextualização dos sistemas de manufatura, digitalização de dados, protocolo de comunicação, OEE e estado da arte.

Com isso, o presente estudo identificou como oportunidade de pesquisa desenvolver uma arquitetura em plataforma web gratuita a qual processa os dados oriundos da máquina e consegue contabilizar e apresentar os dados do OEE em *Dashboard*. Para isso, identificou-se um grupo de software gratuitos interligados que atende a necessidade de processamento de dados, apresenta a arquitetura digital nos contextos de demonstração escolhido e sua avaliação.

Na classificação das oportunidades de pesquisa, o tema principal é a demonstração da estruturação dos dados necessários para gerar informação de acordo com o OEE da máquina. Outro fator motivador desta pesquisa é demonstrar a aplicabilidade da arquitetura OEE digital que possa atuar como um *Dashboard* e, ao mesmo tempo, seja ferramenta de estudos para melhorias no processo de produto, bem como desenvolvimento de novos produtos.

A etapa de definição dos objetivos, segunda etapa do método DSR, é atendida com o capítulo 2, a Fundamentação Teórica, onde é ilustrado o conceito de estrutura

necessária para a construção do OEE e os principais temas usados no desenvolvimento da arquitetura de acordo com estudos.

As demais etapas do desenvolvimento do trabalho, de acordo com as etapas do DSR, desenvolvimento da solução, demonstração da solução e avaliação da solução são ilustradas a seguir.

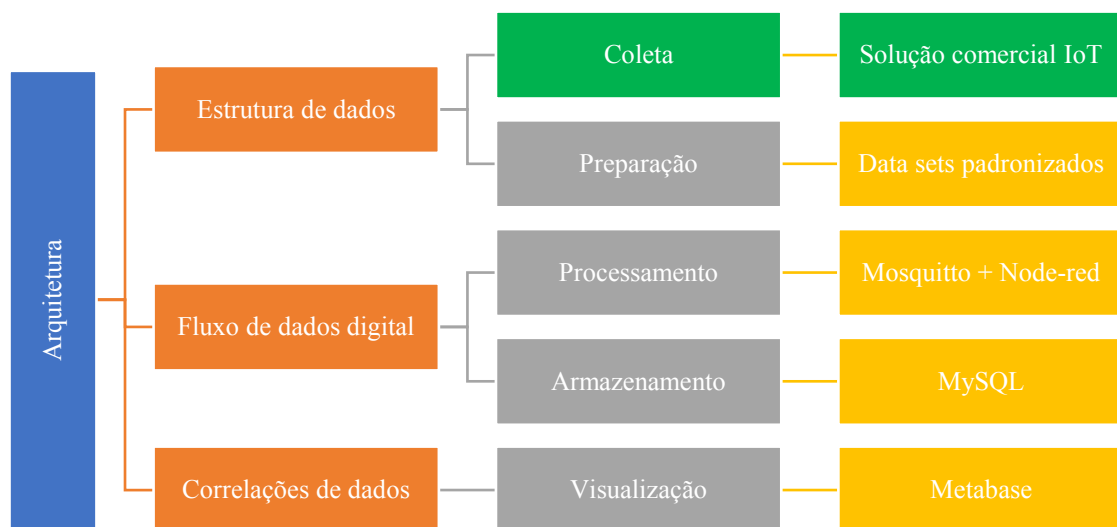
4.1 Demonstração da arquitetura

A arquitetura proposta é aplicada no contexto de uma linha de usinagem de peças para eixo de transmissão de tratores. Os dados utilizados nesta demonstração são simulados com vistas à realidade da empresa, não caracterizando o uso de dados oficiais da empresa.

A arquitetura digital é construída dentro do conceito de ETL baseada nas três etapas: coletar os dados das diversas fontes, transformar os dados de acordo com a necessidade do banco de dados e carregar esses dados para um banco de dados onde ocorre as correlações necessárias para a obtenção do OEE.

A Figura 17 aponta as três partes da arquitetura digital desenvolvidas com as atividades necessárias referente ao fluxo de dados, bem como os softwares utilizados para concretizar as etapas.

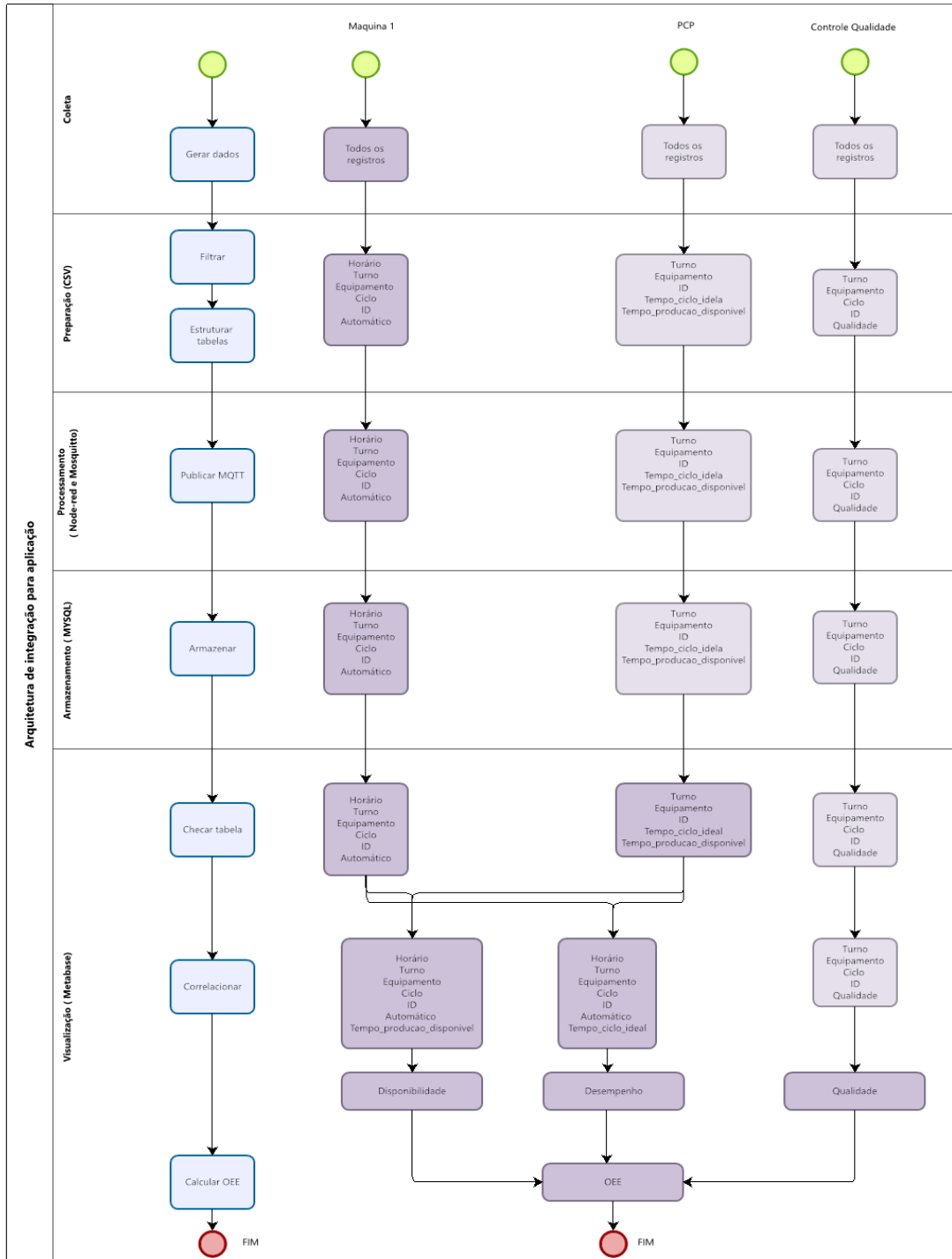
Figura 17: Arquitetura digital desenvolvida com base no conceito ETL



Fonte: O Autor

A arquitetura do fluxo de dados é dividida em cinco partes: coleta, preparação, processamento, armazenamento e visualização, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18: Detalhamento do fluxo de dados para arquitetura do OEE digital



Fonte: O Autor

4.1.1 Coleta de dados

A coleta de dados corresponde à identificação dos pontos de origem dos dados para serem trabalhados na arquitetura. Nesta parte os dados de máquina são coletados e disponibilizados, em servidor local ou nuvem. E identificação dos dados respectivos são oriundos do planejamento e controle de produção, e apontamento de qualidade da produção também da máquina referência.

A coleta de dados é referente à solução comercial de IoT contratada para tal finalidade. Essa etapa é importante para a arquitetura, porém neste trabalho serão utilizados apenas os dados disponibilizados pela solução comercial.

O sistema de produção utilizado para demonstrar a arquitetura é uma linha de máquinas CNC de classificação 'legadas', ou seja, isoladas de comunicação.

A máquina CNC tem um sistema que permite o controle simultâneo de vários eixos ao mesmo tempo; é usada em tornos e centros de usinagem. A peça é projetada em ferramenta de software CAD, e uma ferramenta de software CAM (manufatura assistida por computador) permite a criação dos caminhos da ferramenta e orientar a movimentação da máquina CNC.

Os caminhos programados para percurso da ferramenta de usinagem ficam registrados no computador da máquina, emitindo dados a cada 2 segundos. Esses dados relatam qual ação foi realizada pela ferramenta de usinagem ou se ela está parada aguardando novo comando. Esse registro acontece de forma binária, 1 para atividade sendo executada, e 0 para não executada.

Esses dados registradas ao longo do processo de usinagem ficam anexados ao PLC da máquina, e necessitam de algum tipo de conexão de internet para transferir os dados para um ambiente que possibilite análise de dados.

Neste estudo, os dados foram coletados por uma solução comercial de IoT instalado na máquina CNC e, após a coleta e armazenamento pela empresa terceirizada, os dados foram direcionados para um servidor local.

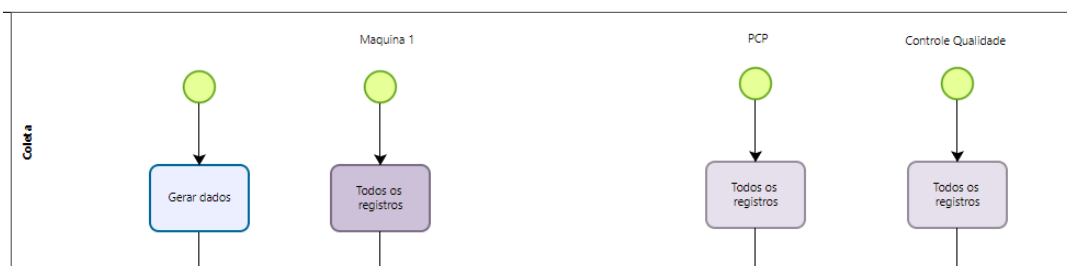
Os dados relacionados a detalhes de processo de produção também foram direcionados ao servidor local. Todos os dados utilizados para desenvolvimento da arquitetura estão em um arquivo de planilha em formato CSV denominados *Datasets*.

A empresa parceira optou por disponibilizar apenas conjuntos de registros gerados em máquinas legadas na forma de planilhas em formato CSV. Estas foram então utilizadas como origem dos dados de máquina, de tal forma que sua leitura

“linha-a-linha” através de um nó específico no Node-RED que a concatenava com a informação de tempo (timestamp), permitindo a emulação de uma máquina CNC legada em operação, ao injetar registros a cada segundo num tópico MQTT especificado no broker Mosquitto.

Os dados têm origem em três fontes diferentes: da máquina em análise, da área do planejamento e controle de produção e do setor de apontamento de qualidade, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19: Recorte da Arquitetura de integração parte 1



Fonte: O Autor

Os dados referentes à máquina são extraídos do PLC central e encaminhados a um banco de dados por meio de tecnologia IoT e disponibilizados em servidor local para coleta, os dados de planejamento e qualidade são extraídos do sistema da empresa e disponibilizados em servidor local.

Um ponto a ser observado é a necessidade de que os dados sejam coletados de acordo com um padrão de tempo de registro, por exemplo, um registro de atividade a cada dois segundos. Esse cuidado é muito importante na hora de programar, uma vez que para criar fórmulas de análise automática, é necessário um padrão de registro de dados para o resultado ser positivo. Nesta fase, os dados chegam na sua totalidade, e precisam ser filtrados para utilização na fase seguinte.

4.1.2 Preparação

Filtrar os dados foi preciso para separar apenas os dados necessários para atender o OEE.

Tendo em vista os dados simulados da máquina, elegeu-se a necessidade dos dados, conforme apresentados na Figura 20.

Figura 20: Amostra de dados originados em máquina CNC legada

Turno	Equipamento	Ciclo	ID	Automático
1	AA2	1	NULL	0
1	AA2	1	NULL	0
1	AA2	1	NULL	0

Fonte: O Autor

Os parâmetros apresentados são os registros da ferramenta de usinagem já estruturados, o parâmetro do turno é importante para gerar análises em Dashboards diferentes equipamentos que identifica sobre qual das máquinas o relatório está sendo feito. O parâmetro ciclo é usado para contabilizar quantas peças foram produzidas; o parâmetro do ID que representa qual é a peça que está em produção.

O valor NULL do parâmetro ID significa que nenhuma peça foi programada ainda; o valor um do parâmetro Automático significa que a máquina está no modo automático, ao passo que o valor zero significa que a máquina não está no modo automático.

A função automática representa o tempo que a programação da máquina leva para usinar a peça. E, somente o automático registra o tempo em que a máquina passou realizando sua atividade.

Para conseguir criar uma relação entre as tabelas nas próximas etapas é importante ter parâmetros padronizados em cada um dos registros, para conseguir criar a correlação entre elas. Neste caso, os parâmetros que possibilitam correlação são: ID que registra qual peça está sendo produzida e equipamento que aponta em qual máquina está ocorrendo o processo de usinagem. Para a estrutura de dados relacionados ao planejamento de produção, sugere-se os dados da Figura 21.

Figura 21: Amostra de dados originados em PCP

Turno	Equipamento	ID	Tempo_ciclo_ideal	Tempo_producao_disponivel
1	AA2	A	166	468
1	AA2	B	328	468
1	AA2	C	113	468
1	AA3	A	166	468
1	AA3	B	328	468
1	AA3	C	113	468
1	AA4	A	166	468
1	AA4	B	328	468
1	AA4	C	113	468
2	AA2	A	166	433
2	AA2	B	328	433
2	AA2	C	113	433
2	AA3	A	166	433
2	AA3	B	328	433
2	AA3	C	113	433
2	AA4	A	166	433
2	AA4	B	328	433
2	AA4	C	113	433

Fonte: O Autor

Esses dados informacionais do processo são modificados somente se houver alguma alteração do setor, ou do sistema produtivo no todo. São dados desenvolvidos pela área de estudo de produção.

Para a estrutura de dados oriundos do controle de qualidade foram apresentados os dados da Figura 22. São dados que simulam o resultado da qualidade das peças usinadas de acordo com o turno, equipamento, ciclo e identificação da peça produzida. Esse relatório foi desenvolvido com os parâmetros necessários para atender está arquitetura e deve ser emitido todo final de turno.

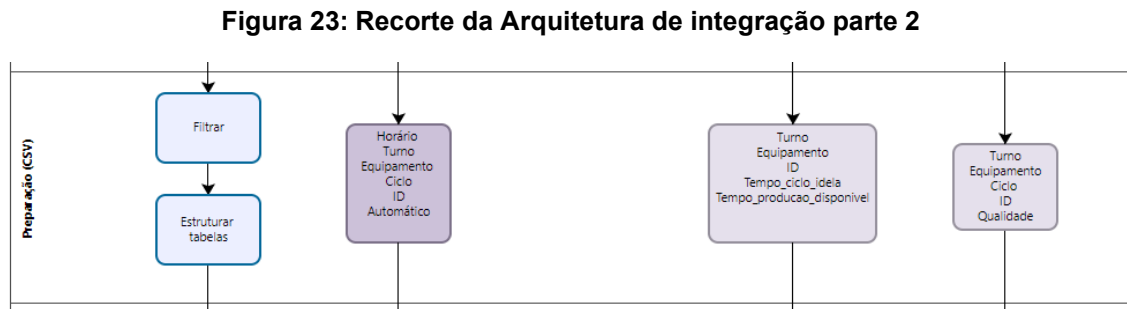
Figura 22: Amostra de dados originados em Sistema de Controle de Qualidade

Turno	Equipamento	Ciclo	Qualidade	ID
1	AA2	1	1	A
1	AA2	2	1	B
1	AA2	3	1	C
1	AA2	4	1	B
1	AA2	5	1	A
1	AA2	6	1	C
1	AA2	7	0	A
1	AA2	8	0	B
1	AA2	9	1	C
1	AA2	10	0	B

Fonte: O Autor

As Figuras 20, 21 e 22 trazem uma síntese da fase de preparação e um resumo das estruturas de dados gerados em cada uma das três fontes: máquina CNC, PCP e Sistema de Controle de Qualidade.

Para concluir essa fase os dados selecionados correspondem à Figura 23.



Fonte: O Autor

A análise de identificação dos parâmetros de máquina para compor a arquitetura foram definidos nesta fase do artefato. A partir do conhecimento sobre as atividades de usinagem da máquina.

É de suma importância observar todos os parâmetros que a máquina apresenta, e a partir disto, analisar quais parâmetros contemplam o tempo de usinagem total de uma peça ou produto. Esse tempo pode ser um único parâmetro, ou pode ser uma somatória de parâmetros.

A arquitetura tem aplicabilidade genérica, na medida em que está utilizando parâmetros que são comuns para máquinas CNC, PCP e Controle de Qualidade. Contudo, cada diferente contexto de aplicação da arquitetura exigiria ajustes.

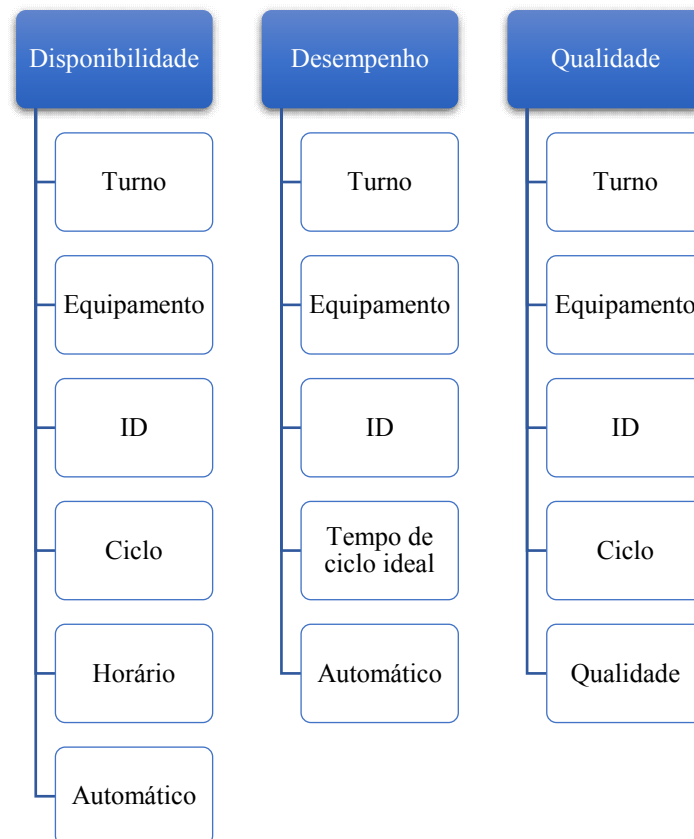
A parte de preparação traz a necessidade de customização da arquitetura, para diferentes cenários com outros tipos de máquinas, outros sistemas de PCP e outros sistemas de Controle de Qualidade. A Implementação desta parte da arquitetura proposta requer estudo profundo de quais parâmetros podem ser obtidos a partir de cada fonte, seu significado para cômputo do OEE e com que frequência podem ser extraídos.

É nesta parte que a arquitetura deixa de ser totalmente genérica e transforma-se em única para análise da máquina em questão. Porém, é esta parte que deve ser modificada e trabalhar em aplicações realizadas em outras máquinas e/ou outros contextos.

As conclusões encontradas nesta parte de preparação, determina as programações e estruturação que irão acontecer no fluxo de trabalho dos dados, atividade realizada no Node-RED.

Os parâmetros seleccionados para atender os pilares do OEE para a máquina em estudo estão representados na Figura 24.

Figura 24: Correlação dos dados para cálculo de cada um dos pilares



Fonte: O Autor

4.1.3 Processamento de dados

No processamento, é onde ocorre a injeção de registros provenientes das máquinas CNC (emulados temporalmente a partir de planilhas disponibilizadas pela empresa em servidor local), PCP e Sistema de Controle de Qualidade. Um broker MQTT (neste caso o Mosquitto) captura as mensagens publicadas em tópicos específicos por máquina.

Um nó no fluxo desenvolvido na IDE Node-RED redireciona as mensagens capturadas para um arquivo local no próprio servidor onde está localizada para posterior transferência a uma tabela na base de dados MySQL.

A IDE Node-RED tem fluxos desenvolvidos para coletar as mensagens publicadas em tópicos MQTT e armazená-las em arquivos locais no próprio servidor Linux onde está hospedada, conforme as estruturas apresentadas na Figura 25

Figura 25: Recorte da Arquitetura de integração parte 3

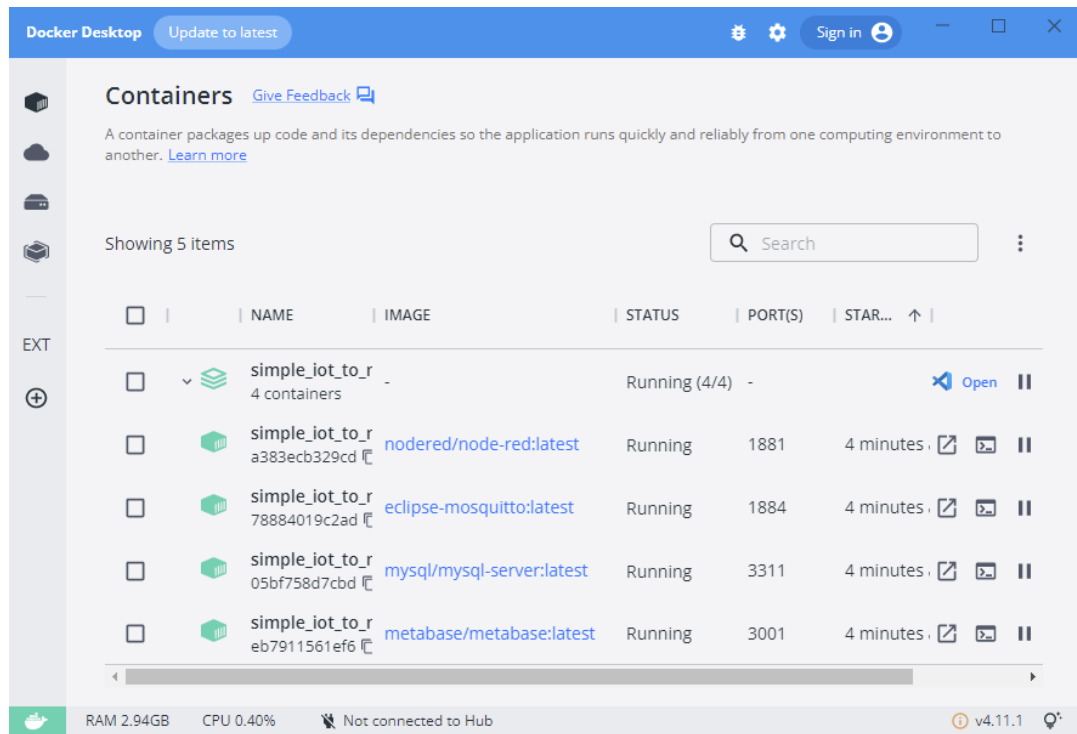


Fonte: O Autor

O processamento de dados é realizado no Node-RED na modalidade de estrutura de servidores virtualizados da plataforma Docker na forma de contêineres para hospedar os diferentes serviços previstos na arquitetura (Mosquitto, Node-RED, MySQL e Metabase) conforme mostra a Figura 26.

O Docker Desktop é uma interface que permite interação com os servidores virtualizados na plataforma Docker. Esta solução com servidores virtualizados, ou seja, containerização é mais conveniente se comparada à instalação dos diferentes serviços propostos na arquitetura em servidores separados, onde seria necessário configurá-los separadamente. O Docker permite a portabilidade posterior na forma de imagens de contêineres, que podem ser transferidas e instaladas tanto em contexto de nuvem quanto de intranet corporativa.

Figura 26: Ilustração do sistema Docker Desktop com pilha de containers



Fonte: O Autor

O processamento é iniciado pelas mensagens publicadas em tópicos na medida que são detectadas, e segue para criar o fluxo de trabalho no Node-RED, onde, a partir da sequência de nós de biblioteca própria de nós, cria-se a programação no Node-RED que assume aspecto visual de fluxo contendo nós que realizam operações bem definidas. Os dados são trabalhados ao longo destes fluxos. A Figura 27 expressa o fluxo de nós realizado para uma máquina.

Cada um dos nós é mostrado na íntegra no Apêndice A, B e C.

Os *Datasets* utilizados para realizar a programação no Node-RED devem ser depositados no servidor, em pasta específica que contém todas as tabelas que serão coletadas pelo Node-RED.

A cada *Dataset* é necessário executar uma programação no Node-RED, que gerou uma tabela que será encaminhada ao banco de dados e acessada pelo Metabase. Os *Datasets* são os arquivos locais escritos pelos fluxos no Node-RED contendo os registros lidos nos tópicos MQTT.

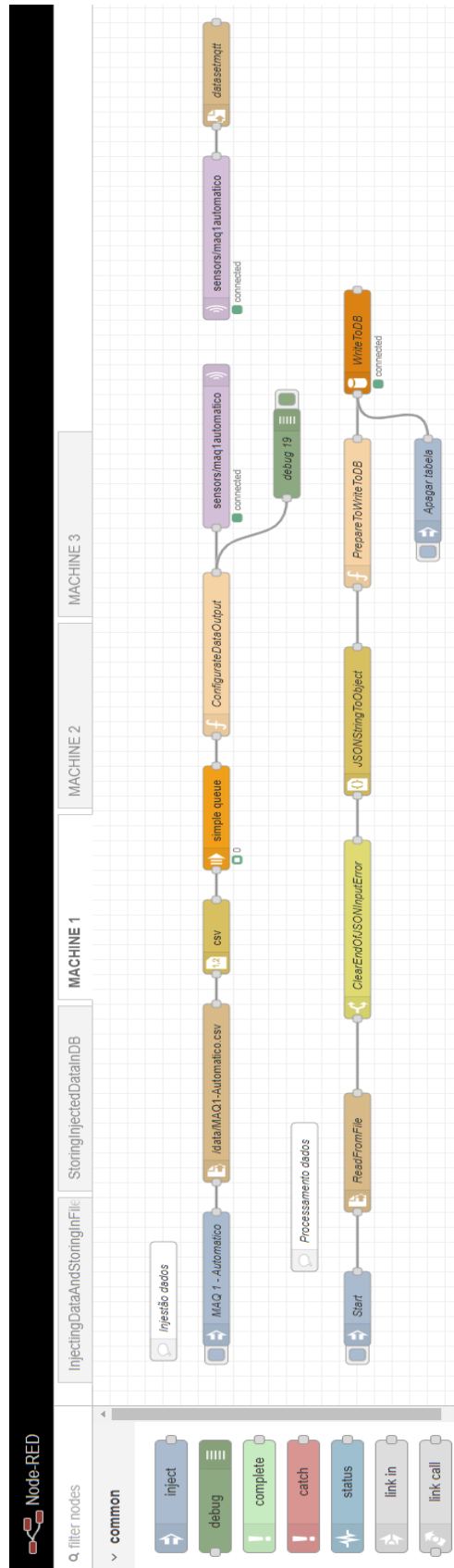
No fluxo de dados, no nó *Function* é o momento em que as tabelas serão programadas e ajustadas. É importante tomar cuidado com os nomes utilizados em cada um dos nós para manter o fluxo correto de dados.

A Figura 28 expressa o fluxo de dados do planejamento de produção. Esses dados são tabelados e o upload desses dados pode ser feito uma única vez, visto que ele obtém informações sobre todas as máquinas do sistema de produção. A forma sugestiva ideal de estruturar os nós se encontra no Apêndice A.

A Figura 29 expressa o fluxo de dados do relatório de qualidade. Esse relatório é que determina o intervalo de obtenção do OEE. Para esse estudo, o relatório é emitido apenas ao final do turno sobre todas as máquinas do sistema produtivo, sendo necessária apenas uma entrada para todas as máquinas. A forma sugestiva ideal de estruturar os nós se encontra no Apêndice B.

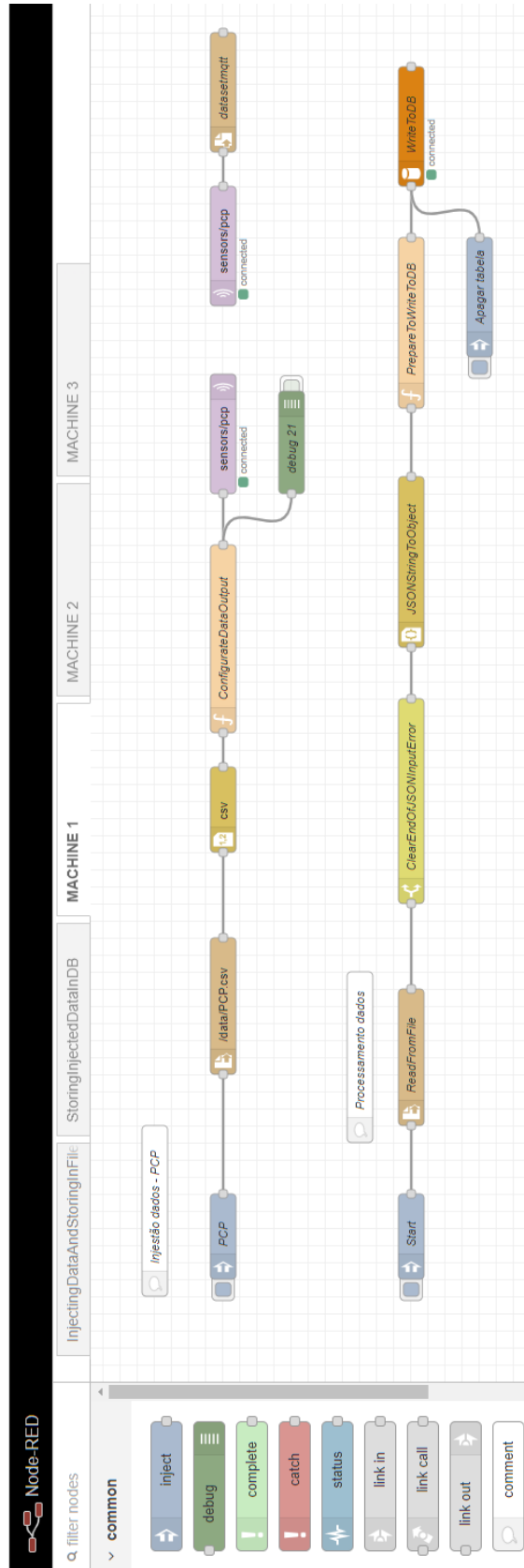
As Figuras 27, 28 e 29 representam o fluxo de dados de cada uma das entradas da arquitetura. Visualmente, o fluxo tem os mesmos nós, porém o caminho de coleta do *Dataset* e *Function* estão relacionados à estrutura da tabela a ser desenvolvida e o MQTT retrata o caminho que essa tabela vai seguir. Com essa diferença, foi necessário criar um fluxo para cada entrada de dados.

Figura 27: Fluxo de nós modo automático máquina AA2



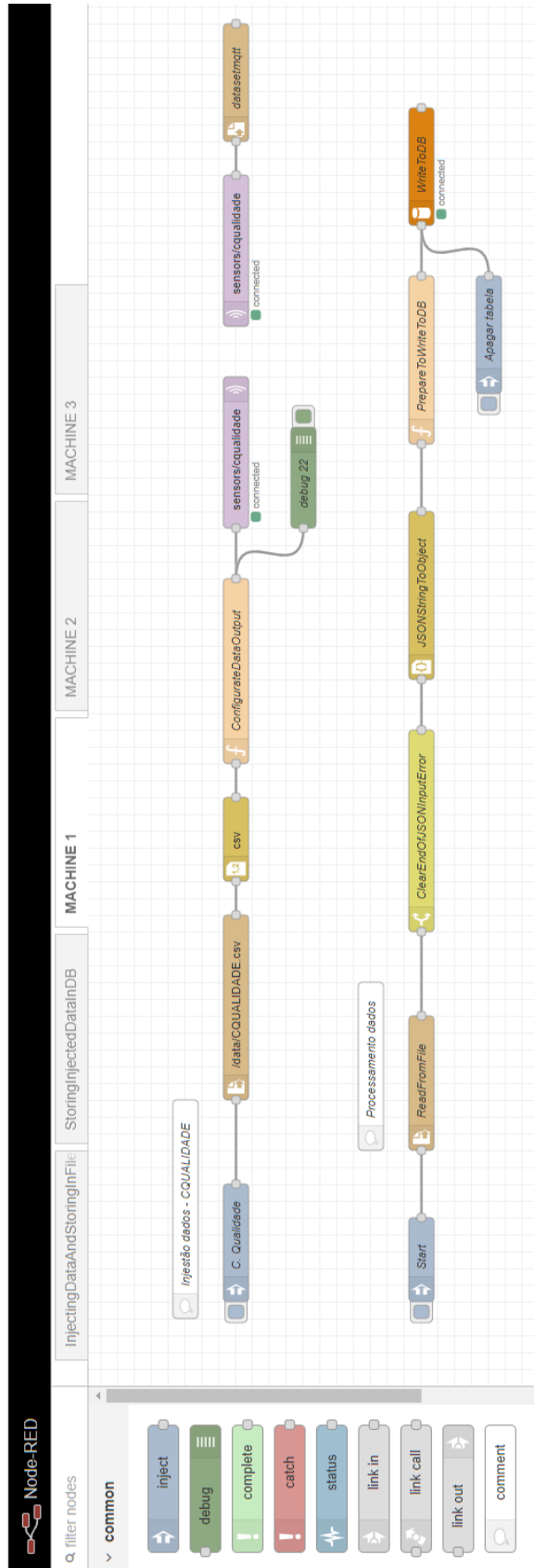
Fonte: O Autor

Figura 28: Fluxo de nós do planejamento de produção do sistema produtivo



Fonte: O Autor

Figura 29: Fluxo de nós do apontamento de qualidade do sistema produtivo



Fonte: O Autor

Este processamento é a construção das tabelas no banco e inserção de registros a partir dos *Datasets* armazenados em arquivos locais no servidor onde o Node-RED está hospedado. Os *Datasets* são encaminhados para o armazenamento no MySQL.

4.1.4 Armazenamento de dados

As tabelas geradas pela programação do Node-RED tem saída no nó MQTT, que transfere e adiciona as mensagens publicadas num tópico para arquivo local (servidor onde Node-RED está instalado). Essa publicação do MQTT salva um arquivo no servidor local dentro da pasta central do Docker.

No arquivo de configuração das pilhas, escrito em YAML, há um espelhamento de pastas de cada contêiner no sistema de arquivos local da máquina onde o Docker está instalado de tal forma que estes arquivos ficam sincronizados.

A Figura 30 ilustra os dados que serão armazenados.

Figura 30: Recorte da Arquitetura de integração parte 4



Fonte: O Autor

A partir desse arquivo é possível verificar como as tabelas foram direcionadas ao banco de dados, e se estão completos como previsto. Há um nó denominado “MQTT de saída” na programação Node-RED, que acrescenta registros publicados num tópico no arquivo local que fica na máquina onde o próprio Node-RED está instalado, e é sincronizado com seu correspondente no sistema de arquivos local da máquina onde o Docker está instalado.

Os dados ficam armazenados, conforme a Figura 30.

Figura 31: Estrutura de dados criada no Node-RED e armazenados no MySQL

```

maqlautomaticodatasetmqt.log - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
[{"Date": "12/4/2022 17:21:2", "Timestamp": 1670174462146, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:21:25", "Timestamp": 1670174485384, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:3", "Timestamp": 1670174523883, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:16", "Timestamp": 1670174536698, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:16", "Timestamp": 1670174536768, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:18", "Timestamp": 1670174538741, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:20", "Timestamp": 1670174540742, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:22", "Timestamp": 1670174542743, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:24", "Timestamp": 1670174544742, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:26", "Timestamp": 1670174546743, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:28", "Timestamp": 1670174548755, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:30", "Timestamp": 1670174550891, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:32", "Timestamp": 1670174552892, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "NULL", "Automatico": 0}
{"Date": "12/4/2022 17:22:34", "Timestamp": 1670174554894, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "A", "Automatico": 1}
{"Date": "12/4/2022 17:22:36", "Timestamp": 1670174556895, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "A", "Automatico": 1}
{"Date": "12/4/2022 17:22:38", "Timestamp": 1670174558910, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "A", "Automatico": 1}
{"Date": "12/4/2022 17:22:40", "Timestamp": 1670174560903, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "A", "Automatico": 1}
{"Date": "12/4/2022 17:22:42", "Timestamp": 1670174562905, "Turno": 1, "Equipamento": "AA2", "Ciclo": 1, "ID": "A", "Automatico": 1}

```

Fonte: O Autor

O Metabase se conecta a esses dados armazenados por meio de chamadas (ou sequências de chamadas) SQL, para realização de totalizações, cálculos e posterior visualização na forma de dashboards.

4.1.5 Visualização de dados

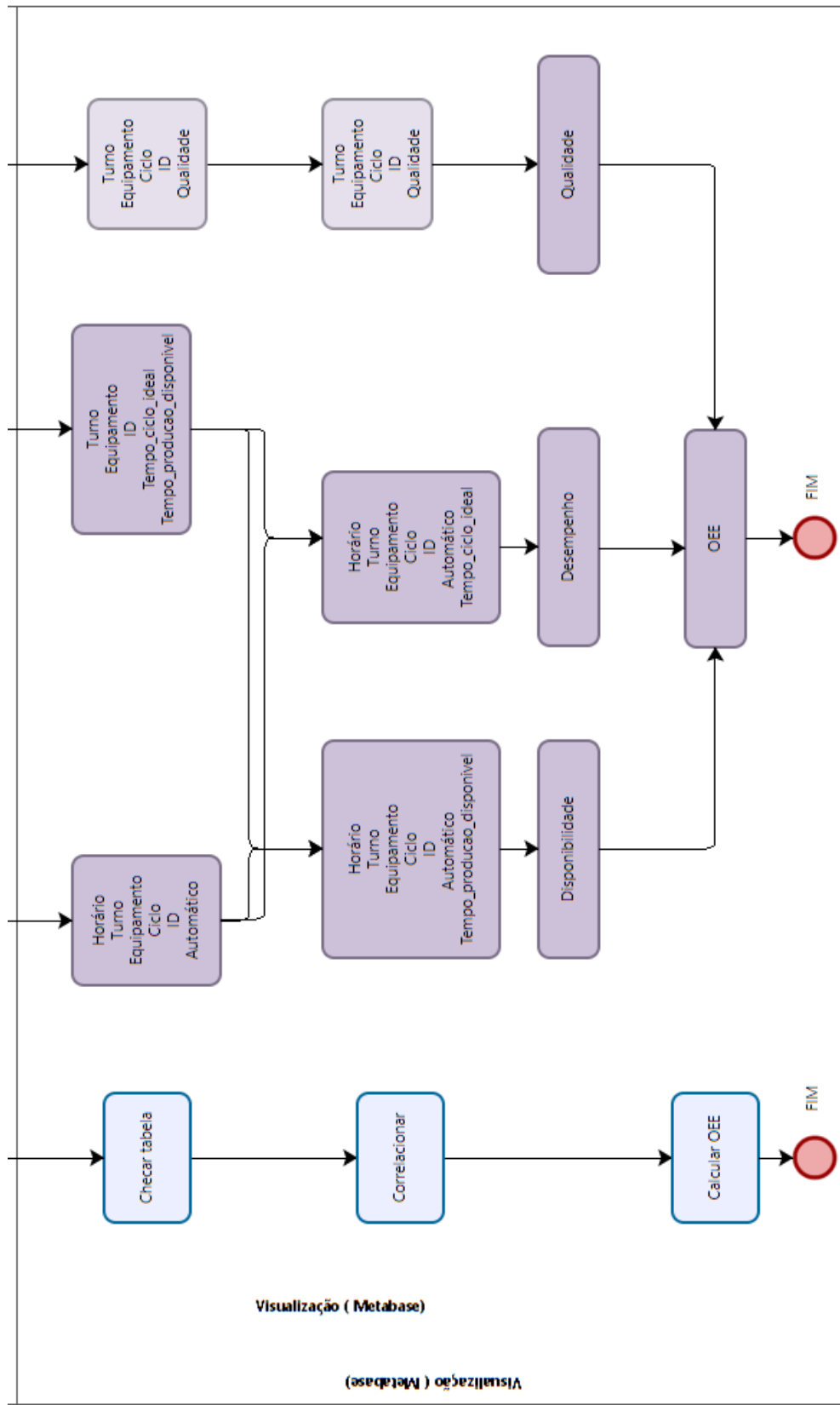
Na última parte da arquitetura, na visualização dos dados é possível ver o resultado de todo o fluxo criado e estruturado, além das correlações entre essas tabelas que foram criadas, e a apresentação dos *Dashboards* com o cálculo.

A Figura 32 ressalta a sequência de atividades da etapa visualização.

Checar os *Datasets* é verificar como os dados chegaram até a última fase, se todas as informações dispostas estão de acordo com o arquivo inicial e com as nomenclaturas das informações estruturadas da tabela.

As correlações ocorreram de forma a contabilizar os dados e chegar à identificação de cada um dos indicadores associados aos pilares do conceito OEE e, na sequência, a multiplicação desses indicadores para atender o objetivo inicial que é o cálculo do OEE.

Figura 32: Recorte da Arquitetura de integração parte 5



Fonte: O Autor

Na última etapa da construção da arquitetura, é possível identificar que os dados chegam até esse ponto sem sofrer alterações pelo caminho, da forma como eles são estruturados lá no começo, eles percorrem as etapas e chegam à fase de visualização. Os dados entram nessa fase e são utilizados para as correlações de acordo com a necessidade de cada um dos pilares.

Como observado, para calcular os pilares de disponibilidade e desempenho é necessário o uso de dados que são oriundos das atividades da máquina, bem como dados relacionados ao planejamento de processo da máquina. Enquanto para o pilar da qualidade, é necessária a correlação entre os dados do relatório de qualidade, a multiplicação dos três pilares leva ao resultado do OEE.

As operações sequenciais sobre as tabelas no MySQL através de chamadas SQL são visualmente criadas no Metabase. A Figura 33 apresenta a sequência de operações para se chegar ao valor de disponibilidade (Availability), que era a pergunta original. Isso vale para as demais perguntas e respectivas operações nesta seção.

Figura 33: Etapa de registro das correlações disponibilidade

AVAILABILITY - AA2

Dados

Maq1automatico

Coluna customizada

time × Day × +

Sumarizar

Soma de time × + por Equipamento × Day × +

Unir dados (join)

Resultados anteriores Pcp on Resultados anteriores Equipamento × = Pcp Equipamento × +

Coluna customizada

Disponibilidade % × Disponibilidade × +

Sumarizar

Máximo de Disponibilidade × + por Equipamento × Day × +

Filtrar Sumarizar Unir dados (join) Ordenar Limite de linha Coluna customizada

Fonte: O Autor

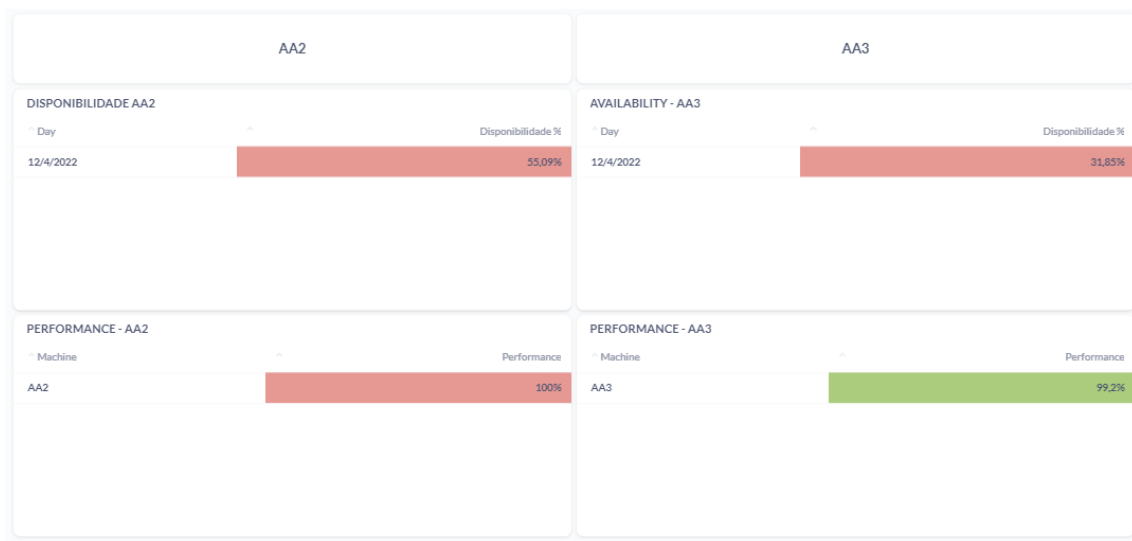
As operações acontecem por meio de perguntas. A primeira pergunta feita busca como dado a tabela Máquina 1 automático. Com esses dados ocorreram duas customizações, ou seja, foram criadas duas colunas a mais, a coluna *time*, referindo-se a multiplicar o valor automático por dois para (cada registro representa dois segundos), posteriormente, somar o tempo de processamento, e *Day* referente a isolar a data do padrão inicial, para poder fazer filtros futuros.

Na sequência, é realizado o comando de sumarizar, que significa filtrar alguns dados. Para o equipamento máquina 1, para o dia estabelecido, somatório da coluna *time*. Outra ação realizada nesta pergunta é a união dos dados, os dados trabalhados até o momento foram unidos com a tabela PCP e, na coluna customizada, criou-se

uma coluna com a fórmula de cálculo da disponibilidade, onde foi coletado a “soma de time”, dividido pela coluna “tempo produção disponível” multiplicado por 60.

Com isso, foi possível extrair a disponibilidade da máquina e dado numérico e em porcentagem. Para finalizar, foi aplicado um segundo sumarizar para filtrar o valor da disponibilidade em relação ao equipamento e dia estabelecido. E, assim, chegamos ao resultado que pode ser observado na Figura 34.

Figura 34: Dashboard com ilustração da disponibilidade e desempenho das máquinas



Fonte: O Autor

Na Figura 33, é possível ver o resultado da disponibilidade (AVAILABILITY) de três máquinas. O processo da Figura 30 foi replicado para cada uma das três máquinas, e cada um tem seu resultado de acordo com os dados de atividade de máquina inseridos no Node-RED.

Outra pergunta foi necessária para identificar um dado importante para ser utilizado na correlação com o pilar desempenho (PERFORMANCE), que é o segundo pilar a ser calculado. Na figura 35, é possível verificar a relação entre o tempo utilizado e o tempo programado.

Para esta pergunta foi utilizado como dado a tabela Máquina 1 (AA2) automático. Na sequência, sumarizou-se esta tabela para identificar o tempo de realização da peça para determinado equipamento em determinado ciclo, com o tempo necessário para realizar a atividade.

Figura 35: Etapa de registro da correlação entre tempo estimado pelo realizado

Automatico / peça/ Maq 1 - AA2

Dados

Maq1automatico

☰ 🔍 ☰*

Sumarizar

Soma de Automatico × + por ID × Equipamento × Ciclo × +

🔍 ↕ ☰

Coluna customizada

Tempo automatico × +

☰ Filtar Σ Sumarizar ↕ Ordenar ☰ Limite de linha

Fonte: O Autor

Para contabilizar o tempo, utilizou-se a coluna customizada para calcular o tempo correto, que seria a soma do automáticos vezes 2. Essa pergunta será utilizada na pergunta seguinte para performance. Para o pilar desempenho (PERFORMANCE) a Figura 36 ilustra a correlação realizada no Metabase.

Figura 36: Etapa de registro das correlações desempenho

PERFORMANCE - AA2

Dados

Automatico / peça/ Maq 1 - AA2

Unir dados (join)

Automatico / peça/ Maq 1 - AA2 on Automatico / peça/ Maq 1 - AA2 ID = Pcp ID

Coluna customizada

Performance Performance%

Sumarizar

Média de Performance por Equipamento

Filtrar Sumarizar Unir dados (join) Ordenar Limite de linha Coluna customizada

Fonte: O Autor

Para desempenho (PERFORMANCE), as correlações iniciam a partir da tabela Automático/peça/ Máquina 1. A segunda tratativa é unir os dados da tabela de base com a tabela do PCP a partir do ID do produto.

A coluna customizada aborda a equação de performance onde seleciona o tempo ciclo ideal proposto pela planilha do PCP dividido pelo tempo automático, que representa o tempo utilizado para produzir a peça. A partir dessa equação, é possível identificar se a máquina está trabalhando dentro do programado. E, por consequência, usamos um último sumarizar para filtrar o valor médio da performance.

Para qualidade (QUALITY), a Figura 37 demonstra a correlação com os dados de qualidade no Metabase.

Figura 37: Etapa de registro das correlações da qualidade

The screenshot displays a configuration interface for a quality correlation report. The main title is "QUALITY SUMMARY %". The interface is organized into several functional areas:

- Dados:** A filter for "Qualidade" is applied.
- Sumarizar:** A summary operation is configured to sum "Soma de Qualidade" grouped by "Equipamento".
- Unir dados (join):** Two data sources are joined: "Resultados anteriores" and "Qualidade".
- Coluna customizada:** A custom column named "QUALIDADE %" is defined.
- Sumarizar:** A final summary operation is configured to sum "Escolha a métrica que deseja ver" grouped by "Equipamento" and "QUALIDADE".

A bottom toolbar provides navigation and control options: "Filtrar", "Sumarizar", "Unir dados (join)", "Ordenar", "Limite de linha", and "Coluna customizada".

Fonte: O Autor

Para a correlação sobre qualidade, o terceiro pilar do OEE, iniciou-se com a planilha de controle de qualidade. Esta planilha é uma sugestão de apresentação desse relatório para ser trabalhada na arquitetura.

Na sequência, a ação a ser feita é o sumarizar, onde ocorre o filtro de quantas peças que tiveram a qualidade igual a um, ou seja, aprovadas que existem no relatório de acordo com cada equipamento, ou seja, cada máquina.

Os dados somados novamente para calcular quantas peças foram produzidas no total. E, num segundo, totalizar com relação ao equipamento e soma de qualidade, possibilitando identificar que para máquina 1 (AA2) tem 29 peças com qualidade para um total de 42 peças produzidas, para máquina 2 (AA3) tem 24 peças com qualidade para um total de 40 peças produzidas, e para máquina 3 (AA4) tem um total de 30

peças produzidas com qualidade para um total de 42 peças produzidas, conforme mostra a Figura 38.

Figura 38: Dashboard com relatório de qualidade geral



Fonte: O Autor

Nas duas imagens apresentadas na Figura 38, se verifica a porcentagem de qualidade atingida para cada uma das máquinas, bem como a qualidade da máquina em relação às peças produzidas.

A apresentações visuais trazem informações que não são vistas com tanta evidência. Na Figura 34, é possível identificar qual máquina teve melhor desempenho produzindo determinado produto. Informações como essa auxiliam na tomada de decisão em fatores de desenvolvimento de produto e de processo, e abre oportunidade para as áreas de manutenção investigarem por que determinado produto tem melhor desempenho em uma máquina do que em outra.

Portanto, com os três pilares calculados (Disponibilidade, Desempenho e Qualidade), o passo seguinte é chegar na equação principal e realizar a correlação entre eles, conforme demonstra a Figura 39.

Figura 39: Etapa de correlação do OEE para máquina AA2

OEE - AA2

Dados

Unir dados (join)

Unir dados (join)

Coluna customizada

Filtrar

Sumarizar

Filtrar Sumarizar Unir dados (join) Ordenar Limite de linha Coluna customizada

Fonte: O Autor

Iniciamos pela tabela da pergunta Quality Summary associada à pergunta de desempenho (PERFORMANCE) relacionada pelo equipamento, unindo-se à pergunta sobre disponibilidade (AVAILABILITY) também relacionada pelo equipamento. Todos os dados estão disponíveis em mesma tabela, ocorrendo então, o desenvolvimento da equação do OEE para cada uma das máquinas.

Para se referir à máquina AA2, utilizou-se a modalidade de filtro trazendo o resultado do OEE da máquina em análise. Na sequência, o valor foi transferido para um gráfico onde expressa sua situação no momento.

Como observamos pelos resultados, o valor do OEE apresenta-se muito baixo, mas isso é reflexo dos seus pilares. Assim, por mais que o desempenho das máquinas esteja bem alinhado com o objetivo, a disponibilidade e a qualidade ainda estão bem falhas, e como o cálculo do OEE está atrelado aos três, o valor acaba ficando mais baixo do que o esperado.

Essas análises para identificar qual o pilar que está prejudicando o processo é uma excelente forma de criar oportunidades de estudos mais avançados, bem como entender o reflexo que esse dado causa no sistema produtivo.

É possível tirar algumas conclusões que impactam no desenvolvimento dessa pesquisa observando os pilares.

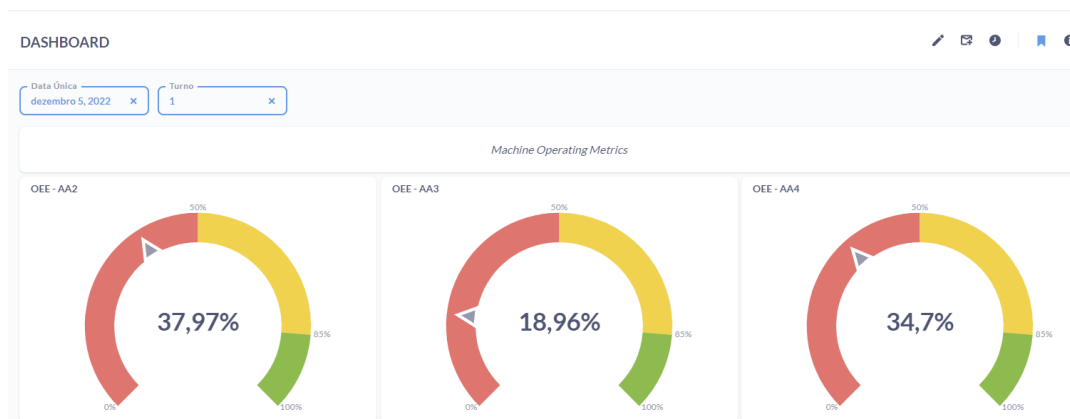
O pilar *disponibilidade* ainda é bastante atrelado à intervenção humana, com isso é um pilar que se apresenta com grande variação do seu tempo de uso, ou seja, totalmente dependente de ações humanas, corre o risco de perder tempo.

No caso do pilar *desempenho*, as máquinas já possuem programação automática de execução, no entanto não permitem alteração, no que se refere à intervenção humana e, assim, pode-se observar o quanto a performance da máquina fica próxima do ideal.

O pilar *qualidade* é o que mais limita o tamanho do lote de entrega do OEE. Os dados de atividade de máquina são inseridos no sistema em tempo real, os dados de planejamento já estão direcionados ao software, porém o dado de qualidade é finalizado apenas no fim do turno de produção.

Se os dados fossem entregues ao software com um intervalo menor, já possibilitaria o cálculo do OEE. Desta forma, para encerrar a etapa da visualização e atendimento de uma parcela da proposta de pesquisa, a Figura 40 demonstra o gráfico com o valor cálculo do OEE de cada uma das três máquinas.

Figura 40: Dashboard com o resultado do OEE



Fonte: O Autor

Os gráficos podem ser ajustados e remodelados da forma como ficar mais conveniente para o grupo de pessoas que estiver utilizando as informações. A possibilidade de filtrar o dia e o turno traz bastante dinamismo aos usuários.

O desenvolvimento do *Dashboard* em cores é feito para atrair a atenção dos usuários para os acontecimentos da atividade da máquina, de forma que na cor vermelha remete urgência em tomada de decisões, na cor amarela está em condições que demandam atenção e melhorias e, na cor verde que está dentro do aceitável.

Juntando todos os pilares, a Figura 41 representa o *Dashboard* completo deste trabalho de pesquisa.

A ilustração de cada um dos pilares, logo abaixo do OEE, é projetada de forma a deixar visível qual o pilar que está impactando no resultado não adequado do OEE. Como observado na Figura 41, o que mais impacta negativamente na contabilização do OEE é a disponibilidade e a qualidade dos produtos da máquina em estudo.

Essa informação, estando visível para os responsáveis, demonstra onde deve ser pontuada a nova estratégia e modelos de trabalho para aumentar a eficiência operacional da máquina e, por consequência, eficiência no processo de usinagem.

Os dados OEE ficaram baixos, em função do emulador de registros das máquinas CNC ter utilizado dados realistas, mas não reais.

Figura 41: Dashboard final baseado da arquitetura OEE digital



Fonte: O Autor

4.2 Avaliação e comunicação

Devido às limitações de sigilo de produção e segurança de dados apresentadas pela empresa, não foi possível utilizar dados oriundos do processo, então os dados utilizados para as simulações são a mimetização dos registros de atividade das máquinas elegidas para pesquisa.

A arquitetura desenvolvida demonstra aplicabilidade positiva, onde a estrutura foi desenvolvida de acordo com os dados existentes em relação à máquina, planejamento controle e produção, além do controle de qualidade, sendo que estes dados necessitam de um ajuste no *Dataset* de acordo com o sugerido na criação da arquitetura.

Com a evolução das máquinas, os dados estão presentes e precisam ser aprimorados na sua forma de apresentação. Os dados de PCP também estão disponíveis, e precisam de uma organização na apresentação dos mesmos. Os dados de controle de qualidade são apresentados em outro controle de sistema, mas podem ser ajustados conforme sugestão desta solução, de forma simples, sucinta e objetiva para atendimento do objetivo inicial.

Devido ao recorte da área de atuação ser bem estreito, bem como o pequeno intervalo de dados utilizados para avaliação, não obteve número suficiente de dados para realizar uma avaliação comparativa entre eles.

Quanto à generalidade, essa arquitetura permite ser aplicada em outras fábricas de produção CNC, independente da classificação da máquina quanto ao sistema legado ou não. A máquina sendo portadora de sistema legado, é possível de ser replicada essa arquitetura. Caso a máquina não possua sistema legado, ela pode desenvolver as mesmas partes da arquitetura e obter o OEE.

A arquitetura permite ser replicada em máquinas presentes em outros contextos industriais, bem como outras máquinas de processos produtivos distintos.

Os softwares utilizados permanecem os mesmos, porém o ponto que exige atenção são os parâmetros coletados da máquina, que precisam ser analisados e ajustados com uns dois pilares centrais do conceito e, assim, para se enquadrar no objetivo OEE.

Devido à restrição de atuação do trabalho, e o desenvolvimento da pesquisa ocorrer com parceria exclusiva de uma única empresa, a solução não pode ser associada a testes em outras empresas, limitando-se apenas à empresa parceira.

Perante a eficiência, a arquitetura apresenta qualidade no resultado apresentado, uma vez que ela atinge o objetivo de forma clara, transparente, objetiva e ressalta a praticidade do processo. Os dados são coletados e disponibilizados em plataforma com respostas imediatas ao recebimento dos dados.

A arquitetura contempla a junção de informações pertinentes de três áreas diferentes para atingir o objetivo geral, que minimizam barreiras de comunicação e agilizam o processamento dos resultados do processo produtivo.

A empresa apresentou o feedback referente à grande contribuição que a arquitetura digital oferece, visto que a tecnologia é empregada com o intuito de trazer transparência sobre o caminho dos dados, clareza, objetividade e praticidade ao processo. Com o desenvolvimento da estrutura de padronização dos dados foi possível inserir os dados no software, apresentar o desenvolvimento e chegar no resultado.

Em virtude do número reduzido de pessoas que interagiram no processo e estavam disponíveis para realizar a avaliação da solução, a realização de questionários foi desconsiderada.

A comunicação da solução aconteceu por meio de apresentação de workshops aos profissionais envolvidos da empresa parceira, e a publicação de artigo que está em trâmite para aprovação a esse trabalho de Tese de Doutorado.

5 CONCLUSÃO

A crescente oferta de produtos no mercado e a demanda exigindo por mais agilidade e menor custo, impulsionam a utilização de indicadores de produtividade que consigam diagnosticar o real funcionamento do processo em busca de melhores oportunidades de produção, maior capacidade produtiva e menor desperdício.

Essa nova forma de olhar os dados ainda possibilita uma análise com horizontes de tempo maiores do que atual. Assim, provendo oportunidade para análise e tomada de decisão sobre a capacidade do processo produtivo ao intervalo de tempo sobre o turno, acelerando as decisões referentes ao processo.

Objetivos específicos foram atendidos pela identificação e compreensão dos princípios da Indústria 4.0, presente no capítulo 1 e 2 deste documento. A arquitetura foi apresentada, o protótipo foi desenvolvido no Docker Desktop. A demonstração da arquitetura foi realizada com dados simulados mimetizando o comportamento das máquinas, e a avaliação do artefato foi realizada com equipe integrante do processo.

Referente aos trabalhos anteriores, esta solução de arquitetura traz na sua originalidade, a busca de uma forma de estruturar os dados de máquinas presentes em processo produtivo, apresentando transparência e objetividade na elaboração do resultado.

O tema é relevante, uma vez que ele aborda desempenho de máquinas importantes para a criação de valor de um produto, melhorias de produção e, por consequência, custo de produto.

A estruturação da ciência de dados, somados aos conhecimentos técnicos de atividade de máquina, bem como o desenvolvimento de conceito de ETL e programação embutida pelos softwares utilizados para atender ao objetivo, caracterizam a complexidade desta pesquisa.

Esta arquitetura digital OEE permite a profissionais não técnicos e/ou familiarizados com programação a utilizarem a arquitetura para verificar, analisar e criar correlação da dados, e construir um portfólio ainda maior de informação de forma clara, objetiva e transparente, em um intervalo de tempo diário.

O modelo de apresentação transparente da arquitetura digital permite aos usuários trabalhar cada um dos indicadores de forma separada, possibilitando maior entendimento sobre os dados que impactam diretamente o resultado, e possíveis de serem tratados isoladamente.

Dados associados ao desempenho são importantes serem analisados pelo operador de máquina em chão de fábrica, uma vez que é a partir dele que operador pode tomar atitudes melhores em função da produção programada para manter o desempenho dentro do planejado.

E é a partir do desempenho também que será possível avaliar se o apontamento realizado pelo setor de mapeamento de processos foi assertivo ou não, uma vez que a relação de atividade realizada versus atividade planejada precisa estar o mais próximo possível para um bom desempenho.

Trabalhos futuros podem apresentar a aplicação dessa arquitetura em outros modelos de produção inclusive em ramos de atuação diferente, pois a arquitetura é flexível e atende outras máquinas e conjunto de dados.

Para trabalhos futuros, sugere-se inserir sensores que façam avaliação em tempo real da qualidade de peça e que atestem automaticamente o seu resultado, e possibilitem o cálculo do pilar *qualidade* no menor intervalo possível, diminuindo o tempo de espera pelo OEE digital.

Ainda sobre trabalhos futuros, anexar um modelo de aprendizado de máquina pode, por exemplo, identificar padrões de comportamento, padrões de ocorrência de falhas, interferências externas que impactam diretamente no desempenho, disponibilidade e qualidade de produção, que são informações úteis para melhoria de processo.

REFERÊNCIAS

- ANVARI, F.; EDWARDS, R. Performance measurement based on a total quality approach. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 60, n. 5, p. 512-528, 2011.
- ALVES, W. P. **Banco de dados**. Saraiva Educação SA, 2014.
- SILBERSCHATZ, A.; SUNDARSHAN, S.; KORTH, H. F. **Sistema de banco de dados**. 7ª ed. Rio de Janeiro, 2020.
- BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; AZLI, N. H. N.; THALIB, M. F. **Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic**. Journal Teknologi, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016.
- BOGUE, R. The role of augmented reality in robotics. **Industrial Robot: the international journal of robotics research and application**, 2020.
- BOSMAN, L.; HARTMAN, N.; SUTHERLAND, J. How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1117-1141, 2020.
- BOUCENNA, F.; NOUALI, O.; KECHID, S. Concept-based Semantic Search over Encrypted Cloud Data. In: **WEBIST (2)**. p. 235-242, 2016.
- BOYES, H.; HALLAQ, B.; CUNNINGHAM, J.; WATSON, T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**, v. 101, p. 1-12, 2018.
- BREIVOLD, H. P. Internet-of-things and cloud computing for smart industry: A systematic mapping study. In: **2017 5th International Conference on Enterprise Systems (ES)**. IEEE, p. 299-304, 2017.
- CARVALHO, S.; COSGROVE, J.; REZENDE, J.; DOYLE, F. Machine level energy data analysis – development and validation of a machine learning based tool. **ECEEE Industrial Summer Study on Industrial Efficiency: Leading the Low-Carbon Transition**; Kalkscheune, Berlin; Germany, v. 2018, p. 477-486, 2018.
- CHEAH, C.; PRAKASH, J.A; ONG, K. S. An integrated OEE framework for structured productivity improvement in a semiconductor manufacturing facility. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2020.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. Elsevier Brasil, 2003.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégias, Planejamento e Operação**. São Paulo: Editora Prentice-Hall, 2003.

COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. Tese de Doutorado. 00500: Universidade de Coimbra, 2016.

COVACI, F. L.; ZARATÉ, P. Modelling decision making in digital supply chains: insights from the petroleum industry. **Kybernetes**, v. 49, n. 4, p. 1213-1228, 2019.

CUNHA, T. P.; MEXÁS, M. P.; SILVA, A. C.; QUELHAS, O. L. G. Proposal guidelines to implement the concepts of industry 4.0 into information technology companies. **The TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 741-759, 2020.

DATE, Christopher J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. Elsevier Brasil, 2004.

DE ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0: Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. Saraiva Educação SA, 2019.

DE SORDI, José Osvaldo. **Modelagem de dados-estudos de casos abrangentes da concepção lógica à implementação**. Saraiva Educação SA, 2019.

DEWI, S.; ALHILMAN, J.; ATMAJI, F. T. D. Evaluation of Effectiveness and Cost of Machine Losses using Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Overall Equipment Cost Loss (OECL) Methods, a case study on Toshiba CNC Machine. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 01, 2020.

DUDA, T.; RAGHAVAN, L. VENKAT. 3D metal printing technology. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 29, p. 103-110, 2016.

FREDERICO, G. F.; GARZA-REYES, J. A.; ANOSIKE, A.; UMAR, V. Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 25, n. 2, p. 262-282, 2020.

GAMIL, Y.; ABDULLAH, M. A.; RAHMAN, I. A.; ASAD, M. M. Internet of things in construction industry revolution 4.0. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 18, n. 5, p. 1091-1102, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOYAL, P.; SAHOO, A. K.; SHARMA, T. K. Internet of things: Architecture and enabling technologies. **Materials Today: Proceedings**, v. 34, p. 719-735, 2021.

HELLER. Disponível em: <https://br.heller.biz/maquinas-e-solucoes/centros-de-usinagem-de-5-eixos-hf/> . Acessado em 10/01/2023. 2023

HENG, Z., AIPING, L., LIYUN, X., & MORONI, G. Automatic estimate of OEE considering uncertainty. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 630-635, 2019.

HERWAN, J.; KANO, S.; RYABOV, O.; SAWADA, H.; KASASHIMA, N.; MISAKA, T. Retrofitting old CNC turning with an accelerometer at a remote location towards industry 4.0. **Manufacturing Letters**, v. 21, p. 56-59, 2019.

HEVNER, A. R.; RAM, S.; MARCH, S. T.; PARK, J. Design science in information systems research. **Management Information Systems Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 6, 2008.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. **Design research in information systems: theory and practice**. p. 9-22. 2010.

JAIN, V.; AJMERA, P. Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 70, n. 6, p. 1233-1262, 2021.

KAMIENSKI, C.; JENTSCH, M.; EISENHAEUER, M.; KILJANDER, J.; FERRERA, E.; ROSENGREN, P.; THESTRUP, J.; SOUTO, E.; ANDRADE, W. S.; SADOK, D. Application development for the Internet of Things: A context-aware mixed criticality systems development platform. **Computer Communications**, v. 104, p. 1-16, 2017.

KHAN, W. Z.; REHMAN, M. H.; ZANGOTI, H. M.; AFZAL, M.K.; ARMI, K.; SALAH, K. Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. **Computers & Electrical Engineering**, v. 81, p. 106522, 2020.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LI, Y. H.; INOUE, L. C. G. V.; SINHA, R. Real-time OEE visualisation for downtime detection. In: **2022 IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE. p. 729-734, 2022.

MORAIS, I. S.; GONCALVES, P. F.; LEDUR, C. L.; CORDOVA JÚNIOR, R. S.; SARAIVA, M. O.; FRIGERI, S.R. **Introdução à big data e Internet das Coisas (IoT)**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

MORAES, A.; HAYASHI, V. T. **Segurança IoT: entendendo os riscos e ameaças em IoT**. Rio de Janeiro: Atlas Books, 2021.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2ª ed. Ver. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

NODE-RED homepage. **Low-code programming for event-driven applications**. Disponível em: <https://nodered.org/>, Acessado em: 20/12/2022.

OLIVEIRA, R., TAKIA, S. A., SOUSA, S., & SALIMIA, M. A. Global Process Effectiveness: When Overall Equipment Effectiveness Meets Adherence to Schedule. **Procedia Manufacturing**, v. 38, p. 1615-1622, 2019.

PEI BREIVOLD, H. Towards factories of the future: migration of industrial legacy automation systems in the cloud computing and Internet-of-things context. **Enterprise Information Systems**, v. 14, n. 4, p. 542-562, 2020.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PLANETACARSZ homepage. **Fábrica da New Hooland comemora 45 anos, mas com o olhar voltado para o futuro**. Disponível em: <https://www.planetcarsz.com/index.php/noticias/fabrica-da-new-holland-comemora-45-anos-mas-com-olhar-voltado-para-o-futuro>. Acessado em: 17/12/2022. 2020.

RANGASWAMY, K. D.; GURUSAMY, M. Application of Graph Theory Concepts in Computer Networks and its Suitability for the Resource Provisioning Issues in Cloud Computing-A Review. **J. Comput. Sci.**, v. 14, n. 2, p. 163-172, 2018.

RICMAIS. **Fábrica da CNG em Curitiba suspende produção por combate ao coronavírus**. Disponível em: <https://ricmais.com.br/saude/fabrica-da-cn-h-em-curitiba-suspende-producao-por-combate-ao-coronavirus>. Acessado em: 12/12/2022. 2020

ROSAS, J. A. D.; BRITO, V.; BRITO PALMA, L.; BARATA, J. Approach to adapt a legacy manufacturing system into the IoT paradigm. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)**, v. 11, n. 5, 2017.

SANTOS, R. C.; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

SEETHARAMAN, A.; PATWA, N.; SARAVANAN, A. S.; SHARMA, A. Customer expectation from industrial internet of things (IIOT). **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

SENAR. **Tratores Agrícolas: manutenção de tratores agrícolas / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – 3ª ed.** Brasília: SENAR, 2011. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/130-TRATORESAGR%C3%8DCOLAS.pdf>. Acessado em: 10/01/2023

SHARDA, R.; DELEN, D.; TURBAN, E. Business Intelligence e Análise de Dados para Gestão do Negócio-4. **Bookman Editora**, 2019.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 8ª ed. São Paulo: Atlas. 2018.

SURBAKTI, R. A. B.; MARIZKA, D. A. Overall Equipment Effectiveness Analyse for Performance of CNC Milling Machine Operation. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing. p. 012052. 2019

TANNADY H.; ANDRY, J. F.; GUNAWAN, F. E.; MAYSELESTE, J. Enterprise Architecture Artifacts Enablers for IT Strategy and Business Alignment in Forwarding Services. **International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering**, v. 9, n. 2, p. 1465-1472, 2020.

TEDESCHI, S.; RODRIGUES, D.; EMMANOUILIDIS, C.; ERKOYUNCU, J.; ROY, R.; STARR, A. A cost estimation approach for IoT modular architectures implementation in legacy systems. **Procedia Manufacturing**, v. 19, p. 103-110, 2018.

VIJAYAKUMARAN, C.; MUTHUSENTHIL, B.; MANICKAVASAGAM, B. A reliable next generation cyber security architecture for industrial internet of things environment. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 10, n. 1, p. 387, 2020.

VIJAYAKUMAR, M. N.; ARCHANA, M. S.; KAMALAKANT, W. Exploratory Study On The Application Of IoT In CNC. In: **2018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)**. IEEE, 2018. p. 329-332. 2018.

YUAN, M.; ALGHASSI, A.; ZHAO, S. F.; WU, S. W.; MUHAMMAD, A.; CUI, J.; MYO, K. S. Online Overall Equipment Effectiveness (OEE) Improvement Using Data Analytics Techniques for CNC Machines. **Implementing Industry 4.0: The Model Factory as the Key Enabler for the Future of Manufacturing**, p. 201-228, 2021.

ZHANG, C.; JIANG, P.; CHENG, K.; XU, X. W.; MA, Y. Configuration design of the add-on cyber-physical system with CNC machine tools and its application perspectives. **Procedia Cirp**, v. 56, p. 360-365, 2016.

APÊNDICE A – Ilustração de Programa Fluxo de Ingestão e Processamento de Dados

Edit inject node

Delete Cancel Done

Properties [Settings] [File] [View]

Name: MAQ 1 - Automatico

msg. registro = timestamp [X]

msg. topic = a_z [X]

Edit read file node

Delete Cancel Done

Properties [Settings] [File] [View]

Filename: path /data/MAQ1-Automatico.csv

Output: a msg per line [v]

include all existing properties in each msg

Encoding: default [v]

Name: []

Edit csv node

Delete Cancel Done

Properties

Columns comma-separated column names

Separator comma

Name Name

CSV to Object options

Input Skip first 0 lines

- first row contains column names
- parse numerical values
- include empty strings
- include null values

Output a message per row

Object to CSV options

Output never send column headers

Newline Linux (\n)

Edit simple-queue node

Delete Cancel Done

Properties

Name Name

Bypass first message?

Bypass interval (milliseconds):

2000

Edit function node

Delete Cancel Done

⚙ Properties

📁 Name

⚙ Setup On Start On Message On Stop

```

1  var d = new Date();
2  var dformat = [d.getMonth() + 1,
3  d.getDate(),
4  d.getFullYear()].join('/') + ' ' +
5  [d.getHours(),
6  d.getMinutes(),
7  d.getSeconds()].join(':');
8  var t = d.getTime();
9  var payload = {
10  "Date": dformat,
11  "Timestamp": t,
12  "Turno": msg.payload.Turno,
13  "Equipamento": msg.payload.Equipamento,
14  "Ciclo": msg.payload.Ciclo,
15  "ID": msg.payload.ID,
16  "Automatico": msg.payload.Automatico
17  };
18  msg.payload = payload;
19  return msg;

```

Edit mqtt out node

Delete Cancel Done

⚙ Properties

🌐 Server

📄 Topic

🌟 QoS Retain

📁 Name

Edit mqtt in node

Delete Cancel Done

⚙ Properties ⚙ 📄 🗨

🌐 Server test-client@mymosquittohost:1883 ▼ ✎

🔗 Action Subscribe to single topic ▼

📄 Topic sensors/maq1automatico

🌐 QoS 0 ▼

🔗 Output auto-detect (parsed JSON object, string or bu ▼

👤 Name Name

Edit write file node

Delete Cancel Done

⚙ Properties ⚙ 📄 🗨

📄 Filename path /data/dataset/maq1automaticodatasetmqtt.lo

🔗 Action append to file ▼

Add newline (\n) to each payload?




Create directory if it doesn't exist?


📄 Encoding default ▼



👤 Name datasetmqtt

Edit read file node



Delete Cancel Done


Properties   

Filename  path /data/dataset/maq1automaticodatasetmqtt.lo

Output  a msg per line 




include all existing properties in each msg


Encoding  default 


Name  ReadFromFile




Edit switch node

Delete Cancel Done

Properties   




Name  ClearEndOfJSONInputError

Property  msg. payload

 is not empty  → 1 

Edit json node

Delete Cancel Done

⚙️ Properties   




🕒 Action Convert between JSON String & Object ▾


⋮ Property msg. payload

📌 Name JSONStringToObject

Edit function node

Delete Cancel Done

⚙️ Properties   

📌 Name PrepareToWriteToDB 


⚙️ Setup On Start On Message On Stop


```

1 var tag1 = msg.payload.Date;
2 var tag2 = msg.payload.Timestamp;
3 var tag3 = msg.payload.Turno;
4 var tag4 = msg.payload.Equipamento;
5 var tag5 = msg.payload.Ciclo;
6 var tag6 = msg.payload.ID;
7 var tag7 = msg.payload.Automatico;
8 msg.payload = [tag1, tag2, tag3, tag4, tag5, tag6, tag7];
9 msg.topic = 'CREATE TABLE IF NOT EXISTS maqlautomatico (Dat
10 return msg;
```

Edit mysql node

Delete Cancel Done

⚙️ Properties   

📚 Database sensordatabase ▾ 

📌 Name WriteToDB

APÊNDICE B – Ilustração de Programa Fluxo de Dados do Planejamento

Edit function node

Delete Cancel Done

Properties

Name ConfigurataDataOutput

Setup On Start On Message On Stop

```

1  var d = new Date();
2  var dformat = [d.getMonth() + 1,
3  d.getDate(),
4  d.getFullYear()].join('/') + ' ' +
5     [d.getHours(),
6     d.getMinutes(),
7     d.getSeconds()].join(':');
8  var t = d.getTime();
9  var payload = {
10     "Date": dformat,
11     "Timestamp": t,
12     "Turno": msg.payload.Turno,
13     "Equipamento": msg.payload.Equipamento,
14     "ID": msg.payload.ID,
15     "Tempo_ciclo_ideal": msg.payload.Tempo_ciclo_ideal,
16     "Tempo_operacional_programado": msg.payload.Tempo_operacional_programado,
17     "Parada_programada": msg.payload.Parada_programada,
18     "Tempo_producao_disponivel": msg.payload.Tempo_producao_disponivel;
19 };
20 msg.payload = payload;
21 return msg;

```

Edit function node

Delete Cancel Done

Properties

Name PrepareToWriteToDB

Setup On Start On Message On Stop

```

1  var tag1 = msg.payload.Date;
2  var tag2 = msg.payload.Timestamp;
3  var tag3 = msg.payload.Turno;
4  var tag4 = msg.payload.Equipamento;
5  var tag5 = msg.payload.ID;
6  var tag6 = msg.payload.Tempo_ciclo_ideal;
7  var tag7 = msg.payload.Tempo_operacional_programado;
8  var tag8 = msg.payload.Parada_programada;
9  var tag9 = msg.payload.Tempo_producao_disponivel;
10 msg.payload = [tag1, tag2, tag3, tag4, tag5, tag6, tag7, tag8, tag9];
11 msg.topic = 'CREATE TABLE IF NOT EXISTS pcp (Date VARCHAR(50) PRIMARY KEY, Timestamp VARCHAR(50), Turno VARCHAR(50), Equipamento VARCHAR(50), ID VARCHAR(50), Tempo_ciclo_ideal VARCHAR(50), Tempo_operacional_programado VARCHAR(50), Parada_programada VARCHAR(50), Tempo_producao_disponivel VARCHAR(50));
12 return msg;

```


APÊNDICE C – Ilustração de Programa Fluxo de Dados do Relatório de Controle Qualidade

Edit function node

Delete Cancel Done

Properties

Name ConfigurataDataOutput

Setup On Start On Message On Stop

```

1 var d = new Date();
2 var dformat = [d.getMonth() + 1,
3 d.getDate(),
4 d.getFullYear()].join('/') + ' ' +
5 [d.getHours(),
6 d.getMinutes(),
7 d.getSeconds()].join(':');
8 var t = d.getTime();
9 var payload = {
10 "Date": dformat,
11 "Timestamp": t,
12 "Turno": msg.payload.Turno,
13 "Equipamento": msg.payload.Equipamento,
14 "Ciclo": msg.payload.Ciclo,
15 "ID": msg.payload.ID,
16 "Qualidade": msg.payload.Qualidade,
17 };
18 msg.payload = payload;
19 return msg;

```

Edit function node

Delete Cancel Done

Properties

Name PrepareToWriteToDB

Setup On Start On Message On Stop

```

1 var tag1 = msg.payload.Date;
2 var tag2 = msg.payload.Timestamp;
3 var tag3 = msg.payload.Turno;
4 var tag4 = msg.payload.Equipamento;
5 var tag5 = msg.payload.Ciclo;
6 var tag6 = msg.payload.ID;
7 var tag7 = msg.payload.Qualidade;
8 msg.payload = [tag1, tag2, tag3, tag4, tag5, tag6, tag7];
9 msg.topic = 'CREATE TABLE IF NOT EXISTS cqualidade (Date VA
10 return msg;
11

```