

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

**Renan Grzebieluckas**

**Sistema Integrado de Apoio à Gestão da  
Eficiência de Equipamentos:  
Um Caso de Prensas**

Florianópolis  
2017



**Renan Grzebieluckas**

**Sistema Integrado de Apoio à Gestão da  
Eficiência de Equipamentos:  
Um Caso de Prensas**

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de Curso** do curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.  
Orientador(a): Prof. Ricardo José Rabelo

Florianópolis  
2017



**Renan Grzebieluckas**

# **Sistema Integrado de Apoio à Gestão da Eficiência de Equipamentos: Um Caso de Prensas**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, 6 de fevereiro de 2018

## **Banca Examinadora:**

Rafael Gonçalves d'Ávila da Silva  
Orientador na Empresa  
GreyLogix Brasil

Prof. Ricardo José Rabelo  
Orientador no Curso  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Mateus Abreu de Andrade  
Debatedor  
Universidade Federal de Santa Catarina

Vicenzo Collodel Benetti  
Debatedor  
Universidade Federal de Santa Catarina



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Geraldo e Luciane, ao meu irmão Luan e à minha avó Graciosa, pelo incentivo e suporte durante toda a graduação, mesmo que distantes. Nada disso seria possível sem esse apoio.

À minha namorada, Laura, pelo amor, pelo carinho, pelos momentos felizes e por me trazer equilíbrio. Sem isso tudo teria sido mais difícil.

Ao meu orientador na GreyLogix Brasil, Rafael Gonçalves d'Ávila da Silva , pela oportunidade de mostrar meu trabalho com seu voto de confiança. E pela orientação e motivação durante o desenvolvimento do projeto.

Ao meu orientador na UFSC, Professor Ricardo José Rabelo, pela amizade, pelo apoio e pelas instruções sobre o trabalho desenvolvido.

Aos colegas da GreyLogix Brasil, pelo auxílio e pelo ótimo ambiente de trabalho proporcionado. Principalmente à Marina Padilha e a Murillo Cunha pelo envolvimento direto do projeto e a Rodrigo Gonçalves d'Ávila da Silva pelo auxílio.

A todos meus amigos, colegas e parentes, que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.



## RESUMO

Este projeto foi desenvolvido na empresa GreyLogix Brasil, que atua solucionando os problemas da indústria nas áreas de elétrica e automação, prestando serviços desde a consultoria inicial, até a execução dos projetos. Este PFC se contextualiza como um projeto tipo 'prova de conceito' referente à participação da GreyLogix no Programa Conexão Startup Indústria, organizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). Este Programa tem como objetivo aproximar empresas de tecnologias e indústrias para modernização das fábricas e crescimento das novas empresas. O problema para o qual se deve apresentar uma proposta de solução é apresentado pela empresa Embraco e consiste de melhorar seu processo de obtenção do indicador de Eficácia Global do Equipamento, ou *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) das suas prensas rápidas. Atualmente existe uma operação muito trabalhosa para obter o OEE, começando com os operários anotando em fichas as paradas das prensas e dados de produção durante seus turnos e depois havendo a transcrição dos dados anotados para uma planilha eletrônica que faz os cálculos e gera gráficos de OEE. A especificação geral da Embraco para a solução na fase de prova de conceito é a de desenvolver um sistema que colete os dados de uma das prensas, a única que possui um CLP (Controlador Lógico Programável), mostrando-os em uma interface gráfica com variados tipos de *dashboards* para auxiliar os gestores nas suas análises e tomadas de decisão, além de uma interface para monitoramento das principais variáveis da prensa e entrada de registros de paradas por parte dos operadores através de um *tablet*. Como resultado, foi desenvolvido um sistema computacional em plataforma web que atende a essa especificação. Neste PFC foi-se além disto, onde o sistema também detecta e registra automaticamente as paradas da prensa e permite que as outras prensas, que não possuem um CLP para fornecer os dados, possam também ser avaliadas pelo sistema se os dados forem introduzidos manualmente, atendendo assim todo setor de prensas da Embraco. O sistema foi projetado para ser genérico, para que no futuro ele possa ser aplicado em outros cenários e tipos de máquinas (que não apenas prensas), tornando-se um produto ou serviço da GreyLogix.

**Palavras-chave:** *Overall Equipment Effectiveness*. OEE. TPM. Monitoramento. Eficiência. Eficácia Global dos Equipamentos. Eficácia. Disponibilidade. Qualidade. *Performance*. Automática. IOT2000. IIOT. Integração.

## ABSTRACT

This project was developed at the company GreyLogix Brasil, which deals with the solution of problems of the industry in the areas of electrical and automation engineering, providing services from an initial consulting, to the project execution.

This PFC is contextualized as a proof-of-concept project related to the participation of GreyLogix in the Conexão Startup Indústria program (Startup Industry Connection), organized by the Brazilian Agency for Industrial Development (ABDI). This program aims to bring technology and industry companies closer to modernizing factories and growing the new companies. The problem for which a solution proposal should be presented is presented by the company Embraco and consists of improving its process of obtaining the Global Equipment Effectiveness indicator (OEE), of the fast presses. Currently there is a labor intensive operation to obtain the OEE, starting with the workers writing down the stops of the presses and production data during their shifts and then occurs the transcription of the annotated data to a spreadsheet that makes the calculations and generate graphs of OEE. Embraco's general specification for the proof-of-concept solution is to develop a system that collects data from one of the presses, the only one that has a PLC (Programmable Logic Controller), showing them in a graphical interface with various types of dashboards to assist the managers in their analysis and decision-making, as well as an interface to monitor the main variables of the press and entry of stop records by the operators through a tablet. As a result, was developed a web-based computing system that meets this specification. This PFC went beyond this, where the system also detects and automatically records press stops and allows other presses, which do not have a PLC to provide the data, also be evaluated by the system if the data is manually attributed, thus serving the entire sector of Embraco presses. The system is designed to be generic so that in the future it can be applied in other scenarios and types of machines (other than just presses), by becoming a GreyLogix product or service.

**Key-words:** *Overall Equipment Effectiveness*. OEE. TPM. Monitoring. Efficiency. Global Equipment Effectiveness. Effectiveness. Availability. Quality. Performance. Automatic. IOT2000. IIOT. Integration.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Logotipo da Greylogix Brasil .....	27
Figura 2 - Logotipo da Embraco.....	29
Figura 3 - As seis grandes perdas e sua influência no OEE em termos de desperdício de tempo. ....	36
Figura 4 - Prensa hidráulica MESTA de 50000 t.....	36
Figura 5 - Cilindro Hidráulico.....	37
Figura 6 - Prensa Hidráulica.....	38
Figura 7 - Exemplo de prensa mecânica e seus elementos básicos.....	39
Figura 8 - Modelo de três camadas.....	45
Figura 9 - Hierarquia Funcional.....	47
Figura 10 - Modelo de Contexto do Sistema .....	52
Figura 11 - Modelo de Casos de Uso do Sistema.....	53
Figura 12 - Arquitetura do Sistema .....	55
Figura 13 - Modelo de Sequência Para Inserção de Dados.....	56
Figura 14 - Modelo de Sequência Para Requisição de Dados.....	56
Figura 15 - Diagrama de Implementação do Sistema .....	57
Figura 16 - Representação dos Passos do Projeto na Metodologia Cascata .....	58
.....	
Figura 17 - Metodologia Combinada Entre Cascata e Incremental Utilizada no Projeto .....	59
Figura 18 - Exemplo de Interface Criada com o Ubix.....	61
Figura 19 - IOT2040.....	62
Figura 20 - Interface de Edição do Node-RED Acessada Pelo Navegador .	65
Figura 21 - Diagrama de Sequência do Paradigma Publisher/Subscriber ...	68
Figura 22 - Fluxo de Node-RED Para Testar o MQTT .....	68
Figura 23 - Exemplo de Aplicação do OPC Clássico .....	69
Figura 24 - Nós no Node-RED para Comunicação com Serviços de Nuvem .....	71
.....	
Figura 25 - Nós Para Comunicação com Bancos de Dados .....	71

Figura 26 - Arquitetura Simplificada do Sistema e Ferramentas Utilizadas em Cada Subsistema .....	75
Figura 27 - Base de Dados do Protótipo.....	76
Figura 28 - Fluxo de Coleta de Dados do Protótipo.....	76
Figura 29 - Aba de Dashboard do Protótipo .....	77
Figura 30 - Formulário de Registro de Paradas do Protótipo .....	78
Figura 31 - Diagrama Lógico da Versão Final do Banco de Dados.....	79
Figura 32 - Fluxo de Coleta de Dados do Sistema Para Uma Prensa.....	87
Figura 33 - Diferenças do Menu Lateral em Função do Grupo do Usuário ..	89
Figura 34 - Aba OEE (Gauge) .....	90
Figura 35 - Aba OEE (Barras) .....	91
Figura 36 - Maiores Paradas .....	91
Figura 37 - Aba de histórico do OEE dos Turnos Mostrando no Gráfico o OEE por semana.....	93
Figura 38 - Aba de Histórico de OEE dos Turnos Mostrando Recurso de Personalização do Gráfico .....	93
Figura 39 - Gráfico Mostrando OEE, Disponibilidade, Produtividade e Qualidade das Prensas.....	95
Figura 40 - Indicadores da Prensa 1420 Analisados por Mês .....	95
Figura 41 - Indicadores da Prensa 1420 Analisados por Dia do Mês de Novembro.....	96
Figura 42 - Indicadores da Prensa 1420 por Turno do Dia 27 do Mês de Novembro.....	96
Figura 43 - Gráfico com OEE Alcançado por Cada Operador .....	97
Figura 44 - Gráfico do OEE Alcançado Pelo Operador Keane em Cada Mês .....	98
Figura 45 - Gráfico do OEE Alcançado Pelo Operador Keane em Cada Dia do Mês de Novembro .....	98
Figura 46 - Disponibilidade e Produtividade Médias no Dia Para as Prensas com Medição Automática .....	99
Figura 47 - Disponibilidade e Produtividade de Cada Minuto do Dia da Prensa 1443.....	100
Figura 48 - Tabela com o Resultado dos Turnos.....	101

Figura 49 - Quebra dos Dados de Resultado dos Turnos por Mês e por Turno .....	102
Figura 50- Quebra dos Dados de Resultado dos Turnos por Mês e por Prensa .....	103
Figura 51 - Formulário Para Inserção de Dados das Prensas Que Não Possuem o Módulo de Medição Automática.....	103
Figura 52 - Tabela de Informações da Produção .....	104
Figura 53 - Aba para Visualizar e Inserir Ordens de Fabricação.....	104
Figura 54 - Gráfico de Paradas por Categoria .....	106
Figura 55 - Gráfico com as Paradas da Categoria "Mecânica" Separadas Pelas Causas.....	106
Figura 56 - Gráfico Mostrando o Tempo de Paradas Pelas Prensas .....	107
Figura 57 - Tabela de Paradas Registradas .....	108
Figura 58 - Tela de Seleção da Prensa.....	109
Figura 59 - Tela de Monitoramento de Prensa.....	110
Figura 60 - Formulário Para Informação do Motivo da Parada .....	110
Figura 61 - Formulário Para Informação da Quantidade de Peças Reprovadas de Cada Turno.....	111
Figura 62 - Variáveis do Programa de CLP que Emula o Comportamento de Uma Prensa.....	114
Figura 63 - Programa do IOT2040 Para Coletar Dados das Duas Prensas Emuladas.....	115
Figura 64 - Configuração da Conexão do IOT2040 com o CLP S7 - 1200	115
Figura 65 - Declaração das Variáveis a Serem Lidas Pelo Nó de Conexão S7 no Node-RED .....	116
Figura 66 - Modelo Conceitual da Primeira Versão do Banco de Dados ...	126
Figura 67 - Modelo Lógico da Primeira Versão do Banco de Dados.....	127
Figura 68 - Modelo Conceitual da Segunda Versão do Banco de Dados ..	128
Figura 69 - Modelo Lógico da Segunda Versão do Banco de Dados.....	129



## SUMÁRIO

1	Introdução .....	20
1.1	- Contextualização .....	20
1.2	- O Problema .....	22
1.3	- Objetivo Geral .....	23
1.4	- Organização do Documento .....	24
2	Sobre a Empresa .....	26
2.1	- A GreyLogix Brasil.....	26
2.2	- O programa Conexão Startup Indústria.....	27
2.3	- A Embraco.....	29
3	Fundamentação Teórica .....	32
3.1	- Eficácia Global do Equipamento (OEE).....	32
3.1.1	- As “Seis Grandes Perdas” .....	33
3.1.2	- Cálculo do OEE .....	34
3.2	- Prensas .....	36
3.2.1	- Prensas Hidráulicas .....	37
3.2.2	- Prensas Mecânicas.....	38
3.3	- Arquitetura de Software.....	39
3.3.1	- Padrões de Arquitetura de Sistemas .....	40
3.3.2	- O Padrão de camadas .....	43
3.4	- Integração do Chão de Fábrica .....	45
3.4.1	- Modelo de Hierarquia do Padrão ISA 95.00.01 .....	45
3.4.2	- Coleta de Dados do Chão de Fabrica.....	47
4	O Projeto.....	50
4.1	- Solução proposta .....	50
4.2	- Requisitos do Sistema.....	50
4.2.1	- Requisitos Funcionais.....	50

4.2.2 - Requisitos Não Funcionais.....	51
4.3 - Diagrama de contexto.....	51
4.4 - Modelo de Casos de Uso.....	52
4.5 - Arquitetura do Sistema .....	54
4.6 - Diagrama de Sequência .....	56
4.7 - Diagrama de Implementação.....	57
4.7 - Metodologia de desenvolvimento.....	58
5 Seleção de Ferramentas e Tecnologias .....	60
5.1 - Abordagem .....	60
5.1.1 - Ubix.....	60
5.1.2 - Desenvolvimento Próprio .....	61
5.1.3 - Abordagem escolhida.....	63
5.2 - Seleção de Tecnologias Para Coleta de dados .....	63
5.2.1 - Node-RED .....	64
5.2.2 - Protocolos de Comunicação Testados no Node-RED.....	66
5.3 - Seleção de Tecnologias Para Armazenamento em Nuvem.....	72
5.4 - Ferramenta para Criação da Aplicação Web .....	72
6 implementação do Sistema .....	74
6.1 - Protótipo.....	75
6.1.1 - Camada de Dados do Protótipo .....	75
6.1.2 - Coleta de Dados do Protótipo .....	76
6.1.3 - Aplicação Web do Protótipo .....	77
6.2 - Camada de Dados do Sistema .....	78
6.2.1 - Versão Final da Base de Dados.....	78
6.2.2 - Pré e Pós Processamento no Banco de Dados .....	80
6.3 - Coleta de Dados do Sistema .....	87
6.4 - Aplicação Web do Sistema .....	89
6.4.1 - Início.....	90

6.4.2 - Histórico OEE .....	92
6.4.3 - Produção .....	100
6.4.4 - Paradas .....	105
6.4.5 - Operação .....	108
6.4.6 - Qualidade .....	111
6.4.7 - Administrador.....	112
7 Resultados .....	114
8 Considerações Finais.....	118
8.1 - Aos Requisitos de Projeto .....	118
8.2 - Aos Objetivos do Trabalho .....	119
REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE A – Versões Intermediárias do Banco de DADOS .....	126
A.1 - Primeira Versão .....	126
A.2 - Segunda Versão .....	127



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 - Contextualização

É muito comum acontecerem desperdícios nos processos produtivos das empresas, mesmo eles sendo conhecidamente combatidos pelos gestores da produção. Se por um lado alguns tipos de perda são facilmente identificados, como desperdícios de materiais, por outro lado alguns tipos são tratados como normais ou inerentes ao processo, o que não é coerente do ponto de vista da manufatura enxuta. É o caso de, por exemplo, tempos de preparação, quebra de equipamento ou ferramenta e velocidade de produção a baixo do ideal. Portanto, uma vez que o lucro dessas empresas de manufatura provém da adição de valor aos produtos através do uso de equipamentos, deve-se buscar extrair o máximo do potencial produtivo. [2] [3]

Os indicadores mais largamente utilizados pelos gestores de empresas normalmente são de natureza econômica-financeira. Porém, há tempos que somente este tipo de indicador não é considerado suficiente para um bom conhecimento do estado atual da "saúde" da empresa bem como para determinar as medidas corretas a serem tomadas a fim de seguir o planejamento estratégico da companhia. Em se tratando de empresas de manufatura, ou qualquer empresa que dependa do bom funcionamento dos seus equipamentos, torna-se necessário saber o desempenho destes, em termos de eficácia e qualidade, com o intuito de maximizar o desempenho operacional dos recursos disponíveis no setor produtivo da organização. [1] [4]

O conceito de Manutenção Produtiva Total ou, em inglês, *Total Productive Maintenance* (TPM), lançado por Seiichi Nakajima nos anos 80 busca a eliminação de perdas de produção. TPM é frequentemente definida como “manutenção produtiva envolvendo participação total”, o que significa que sua implantação depende do esforço de todos os níveis da hierarquia empresarial e não apenas dos trabalhadores do chão de fábrica. Uma definição completa inclui os cinco itens a seguir: [6]

1. Maximizar a eficácia dos equipamentos.
2. Estabelecer um completo sistema de manutenção produtiva para toda vida útil dos equipamentos.
3. TPM é implementada por vários departamentos (engenharia, operação, manutenção).
4. TPM envolve cada funcionário, desde a alta administração até o chão de fábrica.
5. TPM é baseada na promoção de manutenção produtiva através de gerenciamento de motivação.

O lançamento do conceito de TPM veio acompanhado de uma métrica para quantificação da eficácia dos equipamentos chamada de Eficácia Global dos Equipamentos ou, originalmente, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Ele mostra a diferença entre o ideal e o real, identificando e medindo perdas em importantes aspectos da manufatura, que são as taxas de disponibilidade, *desempenho* e qualidade, sendo o OEE a multiplicação das três. Essas taxas avaliam perdas por paradas do equipamento, no caso da disponibilidade, perdas por velocidade do equipamento abaixo do ideal, no caso do desempenho, e perdas por peças defeituosas, no caso da qualidade.[5] [6]

A utilização do OEE permite às empresas identificar as perdas “escondidas”, tendo assim uma visão das reais condições de utilização de seus equipamentos. Além disso, é possível seu uso tanto para identificar onde é necessário fazer melhorias bem como qual área pode ser usada como exemplo, seguindo objetivos internos, ou até mesmo *benchmark* de outras companhias. [7]

Para a implementação do sistema OEE é necessário obter medidas precisas dos três indicadores que o compõem, porém na prática, as medidas são imprecisas e por vezes inexistem. Isso acontece, pois, tradicionalmente, os dados são adquiridos de forma manual, com anotações dos operadores. Como resultado, alguns gestores pensam que os operadores não devem perder tempo de trabalho anotando informações e adotam regras para, por exemplo, não anotar paradas com menos de trinta minutos, o que é uma prática incompleta e trará resultados falsos. No entanto, mesmo que os operadores sejam instruídos a anotar todas as paradas, é comum que anotações variem em até dez minutos do real período inativo. [6]

Mais recentemente, com o avanço das tecnologias de automação, o método tradicional vem sendo substituído por sistemas de monitoramento automático, o que evita aqueles problemas do sistema tradicional.

## 1.2 - O Problema

A GreyLogix Brasil foi contemplada pelo Programa Conexão *Startup* Indústria, organizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, com o projeto a ser desenvolvido para a empresa cliente Embraco. Nesse programa as *startups* elaboram propostas de projetos que são apresentadas às indústrias, que selecionam os projetos de seu interesse, e a Embraco selecionou a proposta de GreyLogix de um sistema de monitoramento, adaptando-o à sua necessidade de monitoramento de OEE no setor de prensas rápidas.

Atualmente, na empresa cliente, a obtenção dos indicadores de OEE é feita com planilhas eletrônicas, usando o software Microsoft Excel, havendo uma operação trabalhosa para manter esses documentos atualizados.

Os operadores das prensas devem anotar manualmente a duração e o motivo de cada parada da prensa durante seu turno, baseando-se em uma lista de códigos de falha. E diariamente essas notas são recolhidas e introduzidas na planilha eletrônica. Além das informações sobre paradas da máquina, esse documento recebe informações da ordem de produção para obtenção de indicadores de produtividade.

Essa operação tem se mostrado ineficiente e pouco confiável, pois depende principalmente da ação humana que, conhecidamente, comete erros com alguma frequência nesse tipo de atividade. Por exemplo, o operador que não identifica com exatidão a duração da parada da máquina, ou quando ele intencionalmente informa uma duração diferente para benefício próprio, ou ao errar o código referente àquela falha do processo. Além disso, é necessária bastante concentração para transferir os dados das folhas de papel para a planilha eletrônica e neste processo há mais fontes de erro, principalmente por desatenção.

Portanto, o problema ao qual este projeto se propõe a resolver é identificar e implementar uma alternativa digital que elimine essas fontes de erro, minimizando a

intervenção humana, e ao mesmo tempo possa gerar gráficos/dashboards gerenciais e operacionais de apoio à análises, planejamentos e decisões.

### 1.3 - Objetivo Geral

Este projeto tem por objetivo geral desenvolver um sistema que adquira dados de produção das prensas rápidas para posterior obtenção de indicadores de desempenho, principalmente indicadores de OEE e derivados, e da situação atual da prensa. A especificação indica que o sistema deve ter uma interface para o operador indicar de forma digital diversos eventos, como paradas, redução de desempenho, perdas por reprocesso ou baixa qualidade com acesso por um *tablet*.

O sistema deve ter uma interface para gestão, mostrando os indicadores desejados em um ambiente gráfico de fácil e rápida compreensão. Além de uma interface para o operador visualizar variáveis importantes para a operação, como velocidade do equipamento.

Adiciona-se aos requisitos o fato de desejar-se que o sistema não seja específico para este caso, aceitando assim que outros equipamentos além de prensas sejam cadastrados para medição e análise. Ainda, que o sistema seja escalável para mais equipamentos, pois há o interesse de que este sistema vire um produto da empresa GreyLogix e possa ser implantado em outros ambientes.

Ademais, apesar de que na atual fase do programa Conexão Startup Indústria a tarefa era de fazer uma prova de conceito para apenas uma prensa,(sendo essa a única a receber a ferramenta de medição automática), um objetivo adicional e interno da GreyLogix foi o de que o sistema pudesse também calcular o OEE e seus derivados tanto a partir de dados provindos da medição automática, como de dados introduzidos manualmente, análogo ao processo antigo, para que todas as prensas do setor já pudessem ser avaliadas pelo novo sistema. Isso resultaria em uma transição suave entre a tecnologia antiga e a nova, podendo assim minimizar problemas com a adaptação para o novo cenário.

## 1.4 - Organização do Documento

O documento está dividido em oito capítulos. O Capítulo 1 contextualizou o PFC e o problema a ser tratado.

O Capítulo 2 apresenta uma descrição da empresa concedente, GreyLogix Brasil, e da empresa cliente, Embraco, contextualizando o projeto desenvolvido no presente trabalho sobre a relação entre as duas empresas.

O Capítulo 3 oferece a fundamentação teórica necessária sobre os conceitos utilizados no desenvolvimento do projeto, apresentando informações sobre o OEE, prensas, arquitetura de software e integração do chão de fábrica.

O Capítulo 4 descreve o projeto de forma conceitual, sem especificar tecnologias ou ferramentas. E descreve também a metodologia utilizada.

O Capítulo 5 mostra como foram selecionadas as tecnologias utilizadas no projeto.

O Capítulo 6 trata do projeto implementado, apresentando o que foi feito, com detalhes sobre seu funcionamento e como foi feito.

O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos com o sistema desenvolvido após ele ser testado.

O Capítulo 8 contém uma síntese sobre o que foi executado e os resultados obtidos frente aos objetivos do trabalho, ao problema de pesquisa e à forma anterior de que a Embraco trabalhava.



## **2 SOBRE A EMPRESA**

### **2.1 - A GreyLogix Brasil**

Tendo sua origem na Alemanha, por meio de uma parceria com a Bilfinger GreyLogix GmbH, a empresa brasileira nasceu em 2007 seguindo os conceitos de qualidade do grupo alemão.

Seus primeiros seis colaboradores treinaram durante dois anos na Alemanha antes mesmo que fosse aberta a operação no Brasil. Ainda em fase de crescimento, a GreyLogix Brasil já conta com mais de 60 colaboradores brasileiros, em sua maioria técnicos e engenheiros, com o suporte de mais de 500 colaboradores na Alemanha. Além da matriz em Mafra - SC a GreyLogix Brasil possui unidades de negócios em diversas cidades (Blumenau, Canoinhas, Curitiba, Florianópolis, Joinville e Rio Negro). O presente trabalho foi desenvolvido na filial de Florianópolis.

A expansão da empresa começou pelo sul do país, dada a influência da cultura alemã bem como a proximidade da Universidade Federal de Santa Catarina - referência internacional em automação industrial e elétrica. E além da atuação em território nacional, em todos os estados brasileiros, a GreyLogix Brasil possui projetos concluídos, e outros em andamento, em diversos países da América Latina como Chile, Argentina, Venezuela e Uruguai.

O negócio da GreyLogix é solucionar problemas da indústria, atendendo de forma flexível a necessidade dos clientes, desde a consultoria inicial e criação do conceito, passando pelo desenvolvimento da solução e execução de projetos elétricos e de automação.

Os principais nichos de mercado atendidos pela GreyLogix são de papel e celulose e indústria alimentícia, mas atende com frequência também a indústria automobilística, estação de tratamento de água e esgoto, indústria química, óleo e gás, energia e de bens de produção, muitas vezes desenvolvendo os acionamentos elétricos e os sistemas de automação das máquinas e equipamentos que são produtos das empresas clientes.

Uma das missões da GreyLogix é, como citado, solucionar problemas, e outra é inovar. Por conta disso, a empresa sempre busca aplicar as tecnologias mais modernas do mercado, sendo por muitas vezes a pioneira no Brasil ou na América

Latina. Isso se deve ao contato direto com a Bilfinger GreyLogix GmbH na Alemanha, que está mais próxima das tecnologias de ponta desenvolvidas e utilizadas na Europa. Como resultado, a GreyLogix Brasil tem acesso ao que há de mais novo dos grandes fabricantes de equipamentos elétricos e de automação, como Siemens, Schneider Electric, ABB e Rockwell Automation.

Figura 1 - Logotipo da Greylogix Brasil



Fonte: GreyLogix Brasil

## 2.2 - O programa Conexão Startup Indústria

O programa Conexão Startup Indústria, organizado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, tem o objetivo geral de apoiar a alavancagem da competitividade da indústria nacional através da inovação promovendo processos de conexão entre indústrias e startups que irão fomentar o desenvolvimento industrial no País e promover ações para aumentar a complexidade do ambiente de negócios.

Os objetivos específicos abrangem: Engajar indústrias a codesenvolverem soluções inovadoras com startups e concretizar negócios com a compra de pilotos a partir da relação comercial estabelecida no âmbito do Concurso; Mapear as competências das *startups*, consideradas industriais; Mapear e realizar um *matching* entre as demandas das indústrias, competências de startups e *know how* de instituições de apoio ao desenvolvimento de negócios; Fomentar um ambiente de aprendizado do processo de codesenvolvimento para indústrias e startups; Criar e divulgar casos de negócios de experiências de inovação por meio de parcerias entre startups e indústria; Coletar, analisar e consolidar informações da execução do Concurso a fim de criar uma base de conhecimento e inteligência que subsidie a construção de novas estratégias e outras iniciativas de apoio à inovação e desenvolvimento da indústria.

O Concurso é dividido em seis etapas, conforme segue:

- Etapa 1 - Cadastro e seleção de Indústrias, *startups* e instituições de apoio ao desenvolvimento de negócios: o objetivo desta etapa é cadastrar e selecionar indústrias, *startups* e instituições de apoio ao

desenvolvimento de negócios que tenham capacidade e interesse para desenvolverem uma solução conjunta. Nessa etapa são selecionadas dez indústrias com suas respectivas demandas, vinte instituições de apoio ao desenvolvimento de negócios com o objetivo de garantir a eficiência dos desenvolvimentos conjuntos entre *startup* e indústria e cem *startups* que tenham competência de desenvolver soluções para a indústria.

- Etapa 2 - Definição dos grupos de trabalho (*matchmaking*): nesta etapa são formados os grupos de trabalho com as indústrias, as *startups* e as instituições de apoio ao desenvolvimento de negócios. Assim, no final desta etapa serão selecionadas até quarenta *startups* com os melhores planos de trabalho junto ao seu grupo de trabalho. Além disso, as *startups* selecionadas recebem um prêmio pecuniário com o intuito de gerar reconhecimento pela competência em iniciar conexão com a indústria e para auxílio no desenvolvimento da próxima etapa.
- Etapa 3 - Prova de Conceito: Esta é a etapa em que este trabalho se encontra, tendo cada startup, 180 dias para desenvolver uma prova de conceito dentro do que foi registrado no plano de trabalho acordado com o grupo de trabalho.
- Etapa 4 - Rodada de Negócios: o objetivo desta etapa é que cada uma das dez empresas selecionem uma *startup* cada, dentre as quarenta que participaram da etapa anterior, para avançar no desenvolvimento de um piloto a ser potencialmente adquirido pela indústria e receber mais um aporte financeiro.
- Etapa 5 – Piloto: nesta etapa será desenvolvido um piloto por *startup*, com a implantação experimental em processo produtivo, referente à demanda da indústria do respectivo grupo de trabalho. O tempo de desenvolvimento é de 270 dias.
- Etapa 6 - Agenda de Estratégias e Iniciativas de apoio à Inovação: a ABDI compilará todas as informações geradas durante o programa

com o intuito de servirem como referência para novas estratégias de apoio à inovação e desenvolvimento da indústria.

Demonstrado de forma resumida o funcionamento do programa, pode-se concluir que a proposta de trabalho da GreyLogix Brasil, cadastrada na etapa 1, foi de encontro à demanda da Embraco e foi selecionada na etapa 2, para que na etapa 3, atual, seja desenvolvida a prova de conceito na forma de um protótipo de software, de um sistema de monitoramento de indicadores das prensas. Este será apresentado com a instalação em apenas uma prensa para a posterior avaliação da Embraco em comparação com outras três provas de conceito desenvolvidas por outras *startups* nessa indústria. Assim, a *startup* com a prova de conceito selecionada desenvolverá o projeto piloto.

É importante ressaltar que o presente trabalho se manteve no âmbito de desenvolver o sistema e testá-lo em laboratório, em ambiente controlado, que busca emular o comportamento real da prensa em questão. Portanto, ele não contempla a etapa 3 do programa completamente, pois não está aqui prevista a implantação na prensa real.

### 2.3 - A Embraco

A Embraco (Empresa Brasileira de Compressores) foi fundada em dez de março de 1971 na cidade de Joinville – SC para suprir a indústria brasileira de refrigeradores produzindo e vendendo compressores herméticos, que na época eram importados. Mas na década seguinte a empresa já estava vendendo seus produtos para cinco continentes.

*Figura 2 - Logotipo da Embraco*



Fonte: [embraco.com](http://embraco.com)

No início dos anos noventa iniciou-se a abertura de bases produtivas em outros países, consolidando a liderança mundial. Hoje, além do Brasil, a Embraco possui indústrias localizadas na Itália, na China, na Eslováquia e no México,

produzindo compressores e também componentes elétricos, sistemas completos de refrigeração (para uso doméstico e comercial) e componentes eletrônicos, usados para melhoria de eletrodomésticos.

A missão da Embraco é “oferecer soluções inovadoras para uma melhor qualidade de vida”, o que é demonstrado pela sua política de destinar 3% de sua receita líquida no custeio de pesquisa e desenvolvimento. Só para ilustrar, a empresa contabiliza 1582 cartas-patentes.

A capacidade produtiva da empresa é superior a 30 milhões de compressores por ano, comercializando para mais de 80 países, e ela emprega mais de 10 mil funcionários somando todas as suas fábricas e escritórios pelo mundo.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os tópicos abordados neste capítulo de fundamentação teórica buscam explicar os conceitos que foram estudados para o desenvolvimento do trabalho e que são importantes para uma melhor compreensão sobre o sistema desenvolvido durante a leitura dos capítulos posteriores.

Na seção 3.1 é explicado o que é OEE, como este indicador é obtido, em que contexto ele é aplicado e com que objetivo ele foi criado. Este assunto é importante para o trabalho, pois o OEE é a principal informação manipulada e fornecida pelo sistema desenvolvido. A seção 3.2 contém uma explicação resumida sobre prensas, pois este é o tipo máquina para qual o sistema foi desenvolvido neste caso de aplicação. A seção 3.3 aborda arquitetura de software dando ênfase aos padrões de arquitetura, pois isso dá base para entender como o software foi desenvolvido. E a seção 3.4 faz um pequeno apanhado sobre integração do chão de fábrica aos níveis corporativos superiores, pois no fundo é esta a função de um sistema como o desenvolvido neste trabalho.

#### 3.1 - Eficácia Global do Equipamento (OEE)

Eficácia global do equipamento (*Overall Equipment Effectiveness*), ou OEE, como é mais comumente referido, é um indicador definido como a medição do desempenho total de um equipamento, isto é, o desempenho em que determinado equipamento opera em relação ao que ele deveria ter na situação perfeita. [5]

OEE é utilizado para identificar as perdas relacionadas a um equipamento com o intuito de solucioná-las e buscar a melhoria de desempenho e confiabilidade dos equipamentos da fábrica. Essas perdas podem ser classificadas em crônicas e esporádicas, dependendo da frequência em que ocorrem.

As perdas crônicas normalmente são pequenas, escondidas e complicadas, pois são resultado de vários fatores em conjunto, enquanto que as esporádicas são mais óbvias pois ocorrem de uma hora para outra e representam grandes desvios do estado normal de operação.

Com o mesmo ponto de vista, as perdas esporádicas ocorrem irregularmente e seus efeitos normalmente levam a sérios problemas, mas por outro

lado há perdas crônicas que resultam na baixa utilização dos equipamentos e custos grandes, pois acontecem frequentemente e ainda podem ser confundidas com o estado normal de operação. Portanto, a identificação de perdas crônicas só é possível através da comparação do desempenho com a capacidade teórica do equipamento. [7]

### 3.1.1 - As “Seis Grandes Perdas”

O objetivo das atividades de melhoria da produção é aumentar a produtividade minimizando as entradas e maximizando as saídas do processo. Por isso é necessário evitar perdas, que podem ser definidas como atividades que consomem recursos, mas não geram valor. Assim, a TPM, que usa o OEE como indicador quantitativo para identificar essas perdas, busca maximizar a eficácia dos equipamentos eliminando as “seis grandes perdas”, que são: [6] [7]

Paradas:

1. Falha do equipamento – por pane.
2. *Setup* e ajustes – resultado de paradas e produtos defeituosos que ocorrem quando a produção de um item acaba e o equipamento é ajustado para se adequar ao próximo item a ser produzido.

Perdas por velocidade:

3. Pequenas paradas e operação “a vazio” – ocorrem quando a produção é interrompida por defeito temporário, como problema em um sensor ou entupimento da calha de saída, ou quando o equipamento está funcionando “a vazio”.
4. Velocidade reduzida – diferença entre a velocidade de projeto do equipamento e a velocidade real.

Perdas por qualidade:

5. Defeitos - peças defeituosas e retrabalho.
6. Perdas em *startup* – são perdas de material e peças defeituosas que ocorrem desde o *startup* até a estabilização do equipamento.

O OEE mede as seis grandes perdas em função de disponibilidade (D), desempenho (P) e qualidade (Q).

### 3.1.2 - Cálculo do OEE

A fórmula do OEE é a seguinte:

$$OEE = D \times P \times Q$$

Porém, a definição exata varia entre aplicações e autores, sendo Nakajima (1988) o autor original do OEE e De Groote (1995) um autor mais recente com uma interpretação um pouco diferente, conforme Tabela I.

*Tabela I - Definições das variáveis do OEE*

	<b>Nakajima (1988)</b>	<b>De Groote (1995)</b>
<b>Disponibilidade (D)</b>	$\frac{\text{Tempo planejado} - \text{Paradas}}{\text{Tempo planejado}}$	$\frac{\text{Tempo de produção planejado} - \text{paradas não planejadas}}{\text{Tempo de produção planejado}}$
<b>Desempenho (P)</b>	$\frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Quantidade}}{\text{Tempo de operação}}$	$\frac{\text{Quantidade produzida}}{\text{Quantidade planejada}}$
<b>Qualidade (Q)</b>	$\frac{\text{Quantidade processada} - \text{Quantidade defeituosa}}{\text{Quantidade processada}}$	$\frac{\text{Quantidade produzida} - \text{Quantidade Reprovada}}{\text{Quantidade produzida}}$

Fonte: Adaptado de [7]

A disponibilidade (D) mede quanto do tempo disponível está sendo desperdiçado com o equipamento parado. Isso indica a razão do real tempo de operação pelo tempo planejado. Esse tempo planejado é o tempo total disponível menos o tempo de paradas planejadas, enquanto o tempo de operação é o tempo planejado menos o tempo desperdiçado com paradas da operação. Por exemplo, se um turno tem 8 horas, ou 480 minutos, e o tempo de paradas planejadas é de 20 minutos para um lanche do operador, o tempo disponível é de 460 minutos. Se o tempo de paradas for composto por 20 minutos de falhas, 20 minutos de *setup* e mais 20 minutos de ajustes, somando 60 minutos, o tempo de operação será 400 minutos e neste caso a disponibilidade será a seguinte:[6] [7] [8]

$$Disponibilidade = \frac{460 \text{ minutos} - 60 \text{ minutos}}{460 \text{ minutos}} \times 100 = 87\%$$

A explicação acima foi baseada em Nakajima (1988), porém a definição de De Groote (1995) é a mesma, conceitualmente, apenas mudando os termos utilizados.

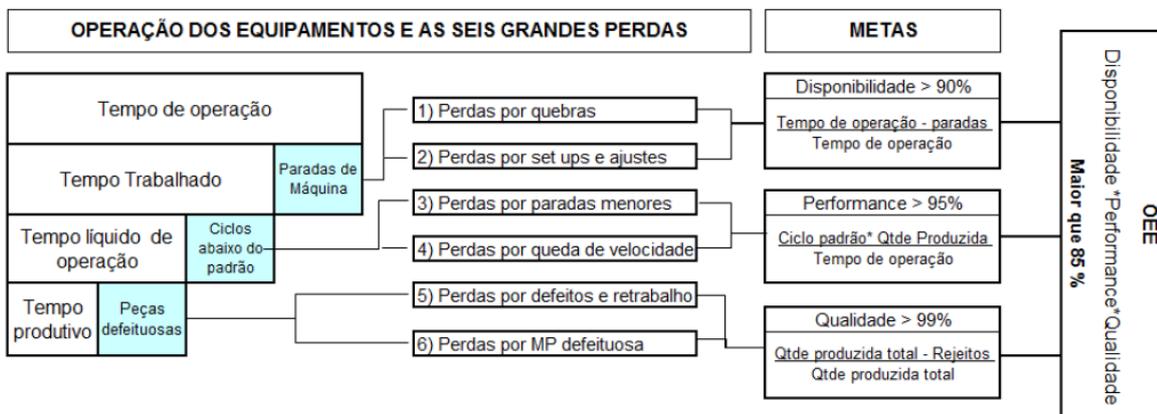
O desempenho (P) mede a razão entre a velocidade de operação real do equipamento e a velocidade ideal, ou seja, a velocidade máxima de projeto do equipamento. Neste item a forma de cálculo diverge entre os dois autores analisados. Enquanto Nakajima (1988) mede a perda de tempo para produzir um determinado montante de peças, De Goore (1995) mede a diferença da quantidade produzida em relação à planejada em um período de tempo determinado. [7]

No item de qualidade (Q), os dois autores voltam a concordar no conceito, apenas mudando os termos utilizados. A qualidade (Q) representa a razão entre a quantidade de peças sem defeito e a quantidade processada. [6] [8]

As condições consideradas ideais em Nakajima (1988) são representadas por uma disponibilidade maior do que 90%, uma taxa de desempenho maior do que 95% e uma taxa de qualidade maior do que 99%, o que resulta em um OEE maior do que 85%, que é baseado no OEE observado nas empresas que recebem o Prêmio TPM concedido pelo Instituto Japonês de Manutenção de Planta, JIMP em inglês. Por outro lado, é mais comum encontrar plantas com o OEE entre 60% e 75%, mesmo em companhias de grande prestígio. [6] [9]

A Figura 3 demonstra como perdas de disponibilidade, desempenho e qualidade afetam o aproveitamento em termos de tempo desperdiçado, e por consequência, afetam o OEE.

Figura 3 - As seis grandes perdas e sua influência no OEE em termos de desperdício de tempo.

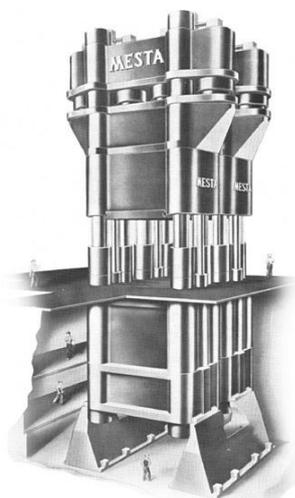


Fonte: [2]

### 3.2 - Pressas

Uma possível definição para prensa é uma máquina projetada para transferir forças e movimentos para uma ferramenta ou matriz com o intuito de formar uma peça. Essas máquinas são utilizadas para diversas tarefas como corte, dobra, repuxo, estampagem, forjamento, etc. E são amplamente utilizadas em seus mais variados portes, desde pressas manuais de uso doméstico ou industrial leve, até pressas gigantescas como a da Figura 4 com capacidade de 50000 t, produzida pela empresa Mesta de Pittsburgh nos Estados Unidos da América (EUA) para a Força Aérea daquele país. [10][11]

Figura 4 - Prensa hidráulica MESTA de 50000 t



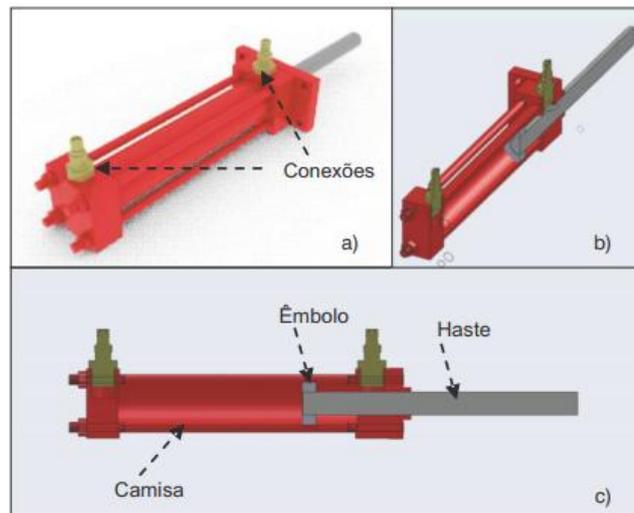
Fonte: ASME (<https://www.asme.org/>)

Podem ser classificadas em dois grandes grupos: prensas hidráulicas e mecânicas.

### 3.2.1 - Prensas Hidráulicas

Nas prensas hidráulicas a força é realizada através da transformação da energia hidráulica (pressão do óleo) em força mecânica, através do elemento atuador chamado cilindro hidráulico, que é um elemento de circuitos hidráulicos, semelhante a uma seringa, porém com o funcionamento ao contrário, ou seja, o líquido entra pela conexão e o êmbolo avança. Os cilindros mais comumente utilizados são de dupla ação, como o da Figura 5, então para o avanço, impõe-se pressão hidráulica na conexão da esquerda e deixa-se a conexão da direita sem pressão e para o recuo do cilindro faz-se o contrário. [12]

*Figura 5 - Cilindro Hidráulico*



Fonte: [12]

As prensas hidráulicas apresentam versatilidade, permitindo seu uso em muitos processos de conformação, porém mostram-se mais eficientes nos processos de recalçamento, dobramento e estiramento. [12]

Apresenta vantagens como precisão, curso variável com grande amplitude e principalmente força e velocidade controláveis e constantes se necessário. Por outro lado, os custos de aquisição e de manutenção são elevados. Uma característica da

prensa hidráulica é que sua ação é lenta, o que pode ser bom para alguns processos, porém é inadequado para outros. [13]

A Figura 6 mostra um exemplo de prensa hidráulica, que é o tipo utilizado pela Embraco no setor alvo deste projeto.

*Figura 6 - Prensa Hidráulica*

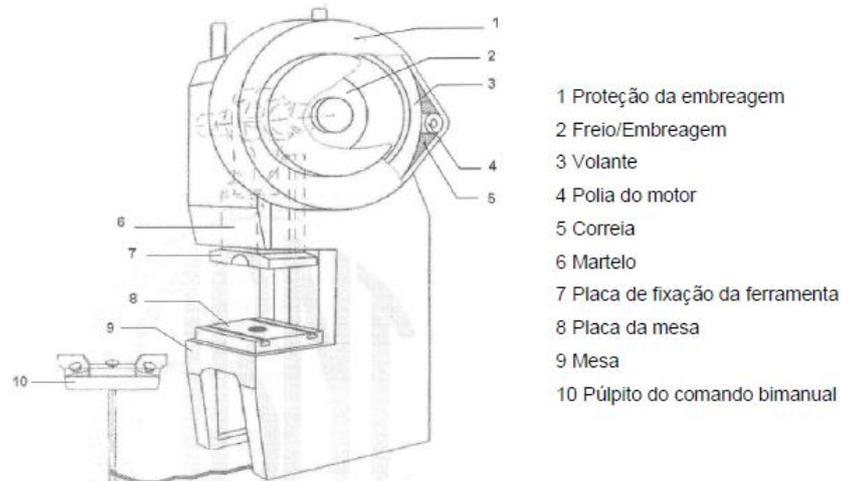


Fonte: <http://www.directindustry.de>

### 3.2.2 - Prensas Mecânicas

As prensas mecânicas tem em comum a transformação do movimento rotacional do motor em um movimento linear do martelo usando de diferentes mecanismos para fazê-lo. Essa mesma transformação ocorre nas prensas hidráulicas, porém através de um sistema hidráulico ao invés de um mecânico. Dito isso, as prensas mecânicas são classificadas pelo seu mecanismo de transformação de movimento. A Figura 7 mostra um exemplo de prensa mecânica com seus elementos básicos segundo a norma NBR13930 [14]

*Figura 7 - Exemplo de prensa mecânica e seus elementos básicos*



Fonte: ABNT NBR 13930

Outra característica comum entre os tipos de prensas mecânicas é o acúmulo de energia cinética em um volante de inércia, pois o motor não seria capaz de empregar a força necessária se acoplado diretamente, ou seria necessário um motor de 4 a 10 vezes mais potente. Portanto, o motor gira o volante, enquanto a prensa está ligada, através de elementos de transmissão e quando há o acionamento o volante é acoplado de alguma forma ao sistema de transformação do movimento, iniciando o ciclo de trabalho. Assim, parte ou toda a energia acumulada no volante é liberada no movimento linear do martelo em um pequeno período, quando este comprime o material. [14] [15]

### **3.3 - Arquitetura de Software**

A arquitetura de software se preocupa com a compreensão de como um sistema deve ser organizado e com a estrutura geral desse sistema, em uma abstração de alto nível. Assim, o projeto de arquitetura é o primeiro estágio no processo de projeto de software. É o elo entre o projeto e a engenharia de requisitos, pois identifica os principais componentes estruturais de um sistema e os relacionamentos entre eles. O resultado do processo de projeto de arquitetura é um modelo de arquitetura que descreve como o sistema está organizado em um conjunto de componentes de comunicação. [16]

Existem pelo menos três grandes vantagens em projetar e documentar explicitamente a arquitetura de software [16]:

- 1) Comunicação com *stakeholders*: a arquitetura é uma apresentação de alto nível do sistema e pode ser usada como um foco de discussão por diferentes *stakeholders*.
- 2) Análise de sistema: tornar explícita a arquitetura do sistema, em um estágio inicial do desenvolvimento, requer alguma análise. As decisões sobre a arquitetura refletem profundamente sobre a possibilidade de o sistema atender ou não os requisitos críticos, como desempenho, confiabilidade e manutenibilidade.
- 3) Reuso em larga escala: a arquitetura do sistema geralmente pode ser a mesma para sistemas com requisitos semelhantes e, por isso, pode apoiar o reuso de software.

Geralmente as arquiteturas de software são modeladas por meio de diagramas de blocos simples, pois apresentam uma imagem de alto nível da estrutura do sistema podendo ser compreendida pelas pessoas de diferentes disciplinas envolvidas no desenvolvimento do sistema.

Alguns autores defendem formas mais detalhadas de documentação, onde se pode ter duas maneiras de usar um modelo de arquitetura. A primeira é para facilitar a discussão sobre o projeto do sistema, e nesse caso uma visão de alto nível é mais adequada. A outra maneira é como forma de documentar uma arquitetura que foi projetada, o que pede uma representação detalhada para facilitar a compreensão e desenvolvimento do sistema. Diagramas de blocos é uma forma adequada de descrever o sistema durante o processo de projeto, facilitando a comunicação.

### 3.3.1 - Padrões de Arquitetura de Sistemas

Um padrão (*pattern*) para engenharia de software descreve um problema de projeto recorrente e particular que surge em contextos específicos de projeto e apresenta um esquema testado para solucioná-lo. O esquema de solução é especificado descrevendo-se os componentes constituintes, suas responsabilidades e relações e a forma como colaboram entre si. [17]

Existem três grupos de padrões de software: os padrões de arquitetura, os padrões de projeto e os idiomas. Dado o contexto deste PFC, vai-se tratar apenas do primeiro grupo.

Um padrão de arquitetura expressa um esquema de organização estrutural fundamental para sistemas de software. Ele fornece um conjunto de subsistemas predefinidos, especifica suas responsabilidades e inclui regras e diretrizes para organizar a relação entre eles. [17]

Padrões de arquitetura representam os padrões de mais alto nível do sistema, ajudando a especificar a estrutura básica da aplicação. Cada padrão de arquitetura ajuda a melhorar alguma propriedade do sistema como desempenho, manutenibilidade ou segurança, ou seja, os requisitos não funcionais do sistema. Assim, padrões que proporcionam características parecidas podem ser agrupados em categorias como a seguir, onde são categorizados alguns dos padrões existentes. [16] [17]

#### 1) Estruturado:

Sistemas nesse padrão tem uma decomposição controlada de tarefas gerais em subtarefas cooperativas. Ele evita um mar de componentes e objetos. [17]

a) Camadas: Organiza o sistema em camadas, com a funcionalidade relacionada associada a cada camada. Uma camada fornece serviços à camada acima dela; assim, os níveis mais baixos de camadas representam os principais serviços suscetíveis de serem usados em todo o sistema. [16]

O padrão estruturado de camadas será detalhado na seção 3.3.2, pois foi o padrão adotado neste PFC

b) Barramentos e Filtros: o processamento dos dados em um sistema está organizado de modo que cada componente de processamento (filtro) seja discreto e realize um tipo de transformação de dados. Os dados fluem através de um barramento de um componente para outro para processamento. [16]

c) Quadro negro: é útil para problemas sem estratégias de solução determinística conhecidas. No padrão quadro negro vários subsistemas

especializados juntam seu conhecimento para construir uma solução parcial aproximada. [17]

## 2) Sistemas distribuídos:

Essa categoria inclui o padrão *Broker* e referencia dois padrões de outras categorias, o *microkernel* e o de dutos e filtros. Esses dois últimos consideram distribuição como preocupação secundária, portanto são listados em suas categorias primárias. [17]

- a) *Broker*: pode ser usado para estruturar sistemas distribuídos com componentes desacoplados que interagem por invocações remotas de serviços. Um componente *broker* é responsável por coordenar a comunicação, repassando requisições, bem como transmitindo resultados. [17]

## 3) Sistemas Interativos:

Essa categoria apresenta padrões que apoiam a estruturação de sistemas que apresentam interação humano-computador. [17]

- a) Modelo-Visão-Controlador (MVC): separa a apresentação e a interação dos dados do sistema. O sistema é estruturado em três componentes lógicos que interagem entre si. O componente Modelo gerencia o sistema de dados e as operações associadas a esses dados. O componente Visão define e gerencia como os dados são apresentados ao usuário. O componente Controlador gerencia a interação do usuário (por exemplo, teclas, cliques do mouse etc.) e passa essas interações para a Visão e o Modelo. [16]
- b) Apresentação-Abstração-Controle: define uma estrutura para sistemas interativos na forma de uma hierarquia de agentes cooperando. Cada agente é responsável por um aspecto específico da funcionalidade da aplicação e consiste de três componentes, apresentação, abstração e controle. Essa subdivisão separa os aspectos da interação humano-computador do agente de sua função central e de sua comunicação com outros agentes. [17]

#### 4) Sistemas adaptativos:

Suporta extensões de aplicações e adaptação para envolver tecnologias e mudar requisitos funcionais.

a) Reflexão: fornece um mecanismo para mudar a estrutura e comportamento de sistemas dinamicamente. Permite a modificação de aspectos fundamentais como estruturas de tipos de dados e mecanismos de chamada de função. Nesse padrão uma aplicação é dividida em duas partes. Um meta-nível fornece informação sobre propriedades do sistema selecionadas e deixa o software autoconsciente. Um nível de base inclui a lógica da aplicação. Sua implementação é feita no meta-nível e mudanças afetam o comportamento do subsequente do nível base. [17]

b) *Microkernel*: se aplica a sistemas que devem ser capazes de se adaptar a mudança de requisitos. Este padrão separa um núcleo funcional mínimo de funcionalidades estendidas e partes específicas do cliente. O *microkernel* também serve como um soquete para plugar essas extensões e coordenar a colaboração entre elas. [17]

#### 3.3.2 - O Padrão de camadas

Um sistema em camadas é organizado hierarquicamente com cada camada oferecendo “serviços” (funcionalidades) para as camadas superiores e utilizando “serviços” de camadas inferiores. Alguns sistemas apenas permitem que os serviços de uma camada sejam acessados pela camada imediatamente superior, ou seja, a interação apenas ocorre por camadas adjacentes. [4]

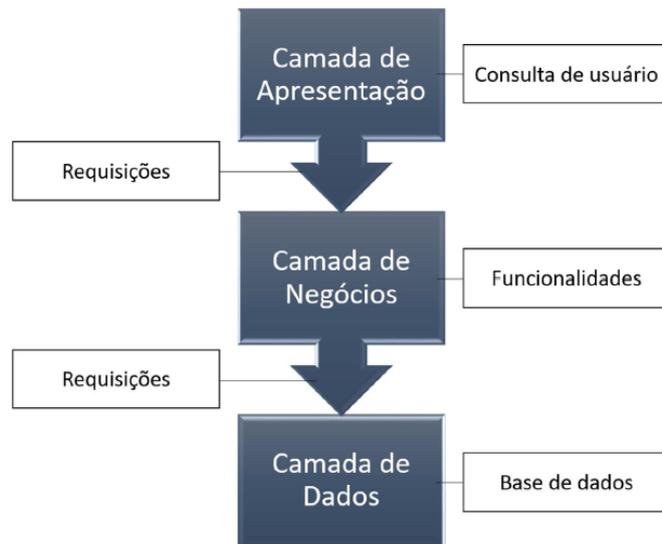
Essa abordagem tem uma série de vantagens: facilita o desenvolvimento incremental do sistema, camada a camada, partindo da de mais baixo nível até a de mais alto nível; facilita a portabilidade, pois enquanto uma camada mantém sua interface inalterada ela pode ser substituída por outra equivalente e quando a interface é alterada, apenas a camada adjacente é afetada; como sistemas em camadas localizam dependências de máquina e/ou sistema operacional nas camadas mais baixas essa arquitetura facilita a implementação de sistemas multiplataformas, pois apenas as camadas mais internas precisam ser refeitas para levar em conta os recursos de um novo sistema operacional ou banco de dados, por exemplo. [16]

Como desvantagem tem-se que nem todo problema pode ser facilmente particionado em camadas e, uma camada de alto nível pode ter que interagir diretamente com uma de baixo nível em vez de fazer isso através da camada imediatamente inferior. Além disso, o desempenho pode ser um problema por causa dos múltiplos níveis de interpretação de uma solicitação de serviço, pois são processadas em cada camada. [16]

O modelo de três camadas (3 Tiers) tornou-se a arquitetura padrão para sistemas corporativos com base na Web. Por outro lado, dependendo dos requisitos do sistema, a sua variação MVC (item 3a acima) pode vir a ser a mais adequada. A função de cada camada é explicada na Figura 8, que ilustra o modelo de três camadas e conseqüentemente o modelo de camadas. [4]

- 1) Camada de Apresentação: é chamada, também, de GUI (*Graphical User Interface*). Essa camada interage diretamente com o usuário, é através dela que são feitas as requisições como consultas, por exemplo.
- 2) Camada de negócio: pode ser chamada de camada lógica ou camada de funcionalidade, pois nela que estão as funções e regras de todo o negócio. Não existe uma interface para o usuário e seus dados são voláteis, ou seja, para que algum dado seja mantido deve ser utilizada a camada de dados.
- 3) Camada de dados: a terceira camada é definida como o repositório dos dados e as classes que os manipulam. Esta camada recebe requisições da camada de negócios e seus métodos executam essas requisições em um banco de dados. Uma alteração no banco de dados alteraria apenas as classes de camadas de dados, mas o restante das camadas não seria afetado por essa alteração.

Figura 8 - Modelo de três camadas



Fonte: [4]

### 3.4 - Integração do Chão de Fábrica

Já é bastante popular a integração entre os setores da empresa no nível gerencial das companhias, utilizando comumente sistemas ERP, (*Enterprise Resource Planning*). Porém, a incorporação das informações dos níveis inferiores da hierarquia fabril aos níveis de tomada de decisão não é na prática um processo muito trivial. Portanto, o cenário que se encontra na maioria das vezes são duas ilhas: o nível de controle integra as máquinas e equipamentos aos sistemas de monitoramento da produção, e o ERP integra os setores da empresa no nível gerencial, porém falta a integração entre essas duas ilhas. [18]

#### 3.4.1 - Modelo de Hierarquia do Padrão ISA 95.00.01

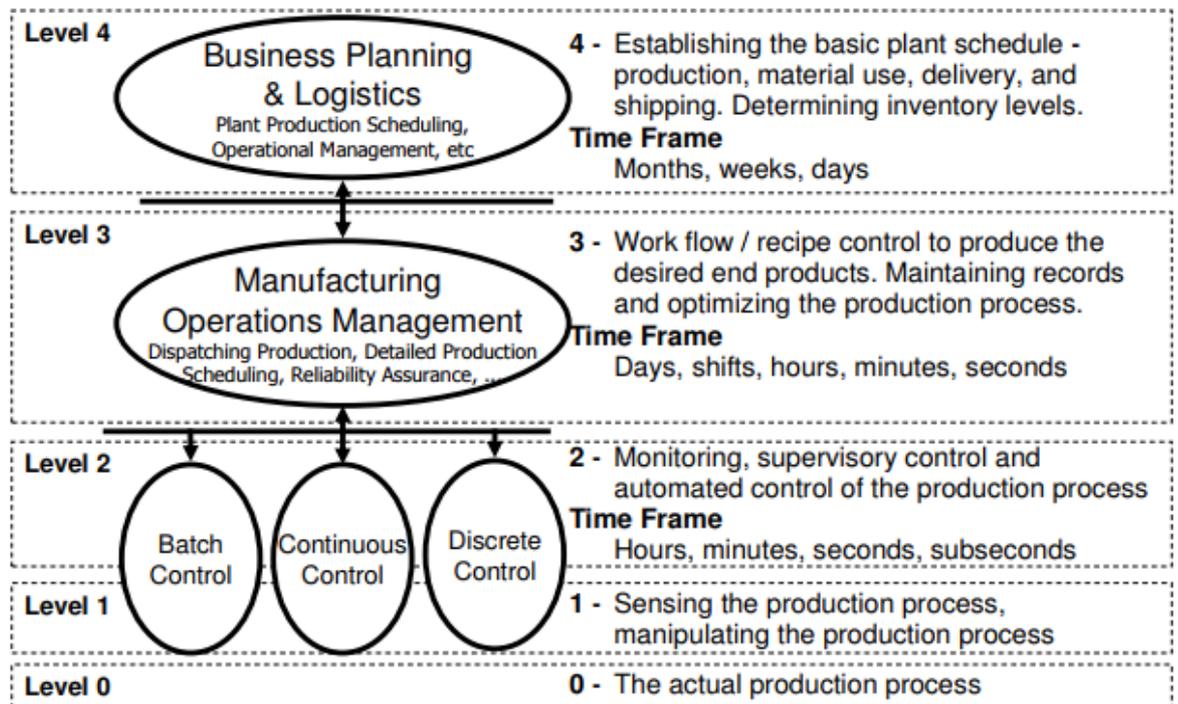
O padrão ANSI / ISA-95 foi desenvolvido devido à preocupação dos profissionais de TI e profissionais de manufatura sobre os problemas e dificuldades nas empresas para a integração da manufatura. À medida que mais sistemas de fabricação estão sendo automatizados, sistemas MES instalados e sistemas ERP colocados *online*, há uma pressão cada vez maior para integrar esses sistemas. Esse padrão tornou-se o padrão aceito para integração de gestão e produção. [19]

O padrão ANSI / ISA-95 é dividido em cinco partes, sendo a parte 1 intitulada “ANSI/ISA-95.00.01, *Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*” e apresenta, como o nome sugere, terminologia e modelos de integração.

A Figura 9 mostra os diferentes níveis de um modelo de hierarquia funcional: planejamento e logística, operações de manufatura e controle, e controle contínuo, discreto ou por batelada. Cada um dos níveis tem funções diferentes e funcionam em diferentes prazos. O padrão ISA 95 especifica que cada nível deve exercer as funções listadas a baixo [20]:

- Nível 0: é o próprio processo físico.
- Nível 1: atividades envolvidas em sensoriamento e manipulação do processo físico. O nível 1 tipicamente opera com prazos de segundos ou menores.
- Nível 2: atividade de monitoramento e controle do processo físico. O nível 2 tipicamente opera com prazos de horas até frações de segundo.
- Nível 3: atividades do fluxo de trabalho para produzir os produtos finais desejados, isso inclui atividades de manter histórico de dados e coordenar o processo. O nível 3 tipicamente opera com prazos de dias até segundos.
- Nível 4: define as atividades relacionadas ao negócio necessárias para gerenciar uma organização da produção. As atividades relacionadas à fabricação incluem o estabelecimento do cronograma da planta básica (como uso de material, entrega e envio), determinando níveis de inventário e certificando-se de que os materiais são entregues no tempo certo para a produção. A informação do Nível 3 é fundamental para as atividades do Nível 4. O nível 4 tipicamente opera com prazos de meses até dias.

Figura 9 - Hierarquia Funcional



Fonte: [20]

### 3.4.2 - Coleta de Dados do Chão de Fabrica

O sistema de aquisição de dados é dividido, basicamente, em duas partes: coleta de dados e comunicação. A primeira pode ser subdividida em três modos: controladores, sensores e sistemas de monitoramento dedicado. A comunicação seria a responsável pelo envio dos dados coletados das máquinas para os softwares de supervisão e é constituída por redes de comunicação.

Na maioria dos casos os dados são adquiridos do próprio controlador, tipicamente um CLP. Os sensores são conectados às entradas do CLP e ele fornece estes valores e outros que são calculados internamente através de sua interface de comunicação. Porém algumas vezes não é o caso de haver um CLP, e, portanto, a aquisição dos dados é feita diretamente dos sensores, podendo ser enviados diretamente a um sistema de supervisão ou centralizados em um dispositivo *gateway* que recebe em suas entradas os sinais dos sensores e os envia utilizando uma interface de comunicação. No caso dos sistemas de monitoramento dedicado o processo físico é equipado com sensores e os sinais são tratados por um circuito eletrônico. [21]

A ideia de um *gateway* vem ganhando força com a popularização da Internet das Coisas e sua aplicação no ambiente industrial. A Internet das coisas, de forma resumida, é a extensão da internet atual para que qualquer objeto, que passará a ter capacidade computacional e de comunicação, possa se conectar à rede. Assim, é possível controlar e monitorar remotamente dispositivos e equipamentos e qualquer objeto conectado. Assim, um *gateway* para internet das coisas serve para a conexão desses objetos à internet, permitindo, por um lado, a comunicação com sensores e atuadores ou com outros dispositivos, dispondo de várias interfaces de comunicação diferentes, desde entradas e saídas digitais, até protocolos industriais como ModBus. Do outro lado ele tem conexão com a internet, permitindo assim, integrar dispositivos das mais variadas tecnologias na rede mundial de computadores.



## **4 O PROJETO**

Neste capítulo será apresentado de forma conceitual o que é o sistema implementado, descrevendo a proposta para solução do problema. Aqui serão mostrados diagramas com pontos de vista complementares do projeto, além dos requisitos de sistema e a metodologia de projeto para seu desenvolvimento.

### **4.1 - Solução proposta**

A tarefa planejada para resolver o problema apresentado na introdução deste trabalho passa por desenvolver uma solução que extraia os dados necessários da prensa em questão, no chão de fábrica, e deixe a possibilidade para que se possa ampliar isso para as outras prensas do setor. Esses dados devem ser usados para o cálculo do OEE e para o monitoramento das prensas, portanto é necessário que eles sejam persistidos. Além disso, há a necessidade da visualização dos indicadores, portanto alguma interface gráfica deve ser providenciada.

### **4.2 - Requisitos do Sistema**

Os requisitos do sistema não foram necessários de serem discutidos com o cliente. Apesar de se observar que o cliente não tinha uma noção precisa e completa do que queria e de como queria, a prova de conceito visava basicamente substituir a coleta manual por via digital (hardware e software) de forma que ao final pelo menos os mesmos dados antes obtidos de planilhas Excel fossem armazenados num banco de dados e, a partir deste, relatórios gerenciais fossem gerados tendo como base os indicadores associados ao indicador geral OEE.

Complementarmente, neste PFC e após discussões internas na GreyLogix, propuseram-se novas análises.

#### **4.2.1 - Requisitos Funcionais**

- Calcular OEE dos equipamentos.
- Detectar e registrar paradas de máquina automaticamente.

- Converter informações em gráficos de OEE por equipamento, turno, operador e histórico.
- Converter informações em gráficos de tempo e ocorrência de paradas das máquinas por categoria (mecânica, ferramentaria, etc.) equipamento, turno e operador.
- Filtrar informações de OEE em gráficos e tabelas por período, equipamento, operador, turno.
- Filtrar informações sobre paradas em gráficos e tabelas por período, categoria, operador, turno, equipamento.
- Exportar tabelas e gráficos para uso em relatórios.
- Monitorar variáveis importantes para operação da máquina.

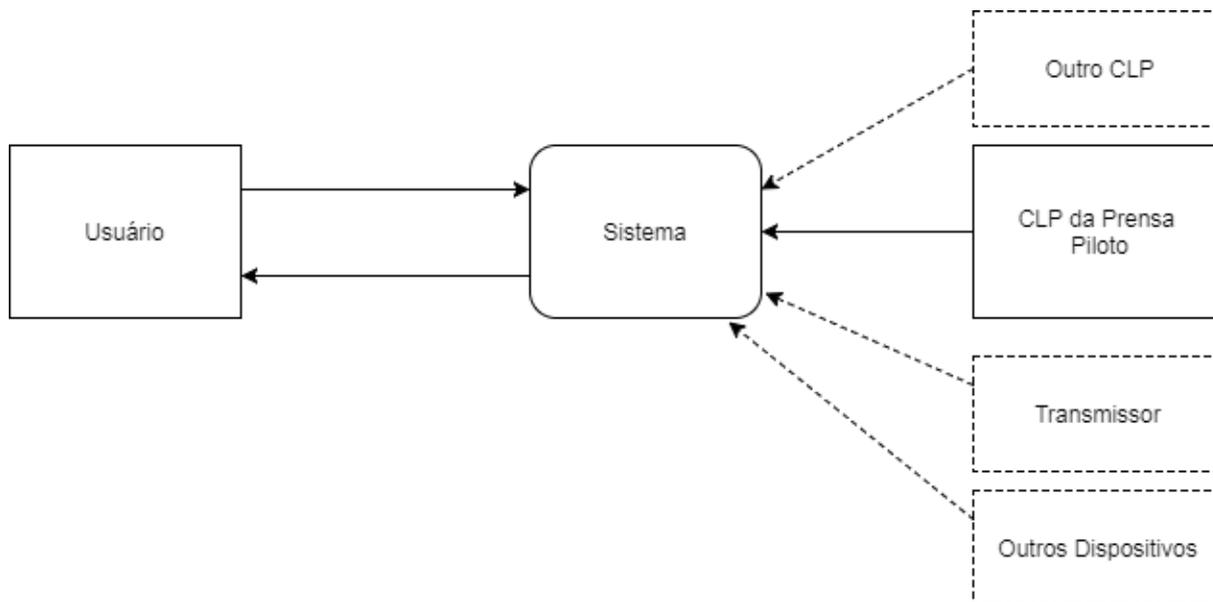
#### 4.2.2 - Requisitos Não Funcionais

- O sistema deve permitir a entrada de dados sobre produção e paradas manualmente para as máquinas que não tiverem a medição automática.
- Permitir a ampliação do sistema para atender mais máquinas.
- Construção que permita a adição de novas análises com facilidade.
- O sistema deve ser preparado para aceitar qualquer tipo de equipamento, não apenas prensas, com poucas alterações.
- O operador deve poder acessar a aplicação através de um *tablet* no chão de fábrica.
- Deve haver controle de níveis de acesso, conforme diagrama de casos de uso a seguir.

#### 4.3 - Diagrama de contexto

O diagrama de contexto representa o sistema como um processo único, para que sejam enfatizadas as interfaces entre ele e entidades externas, além de representar o fluxo de informações entre o sistema e essas entidades. A Figura 10 mostra o modelo de contexto para o sistema desenvolvido neste trabalho.

*Figura 10 - Modelo de Contexto do Sistema*



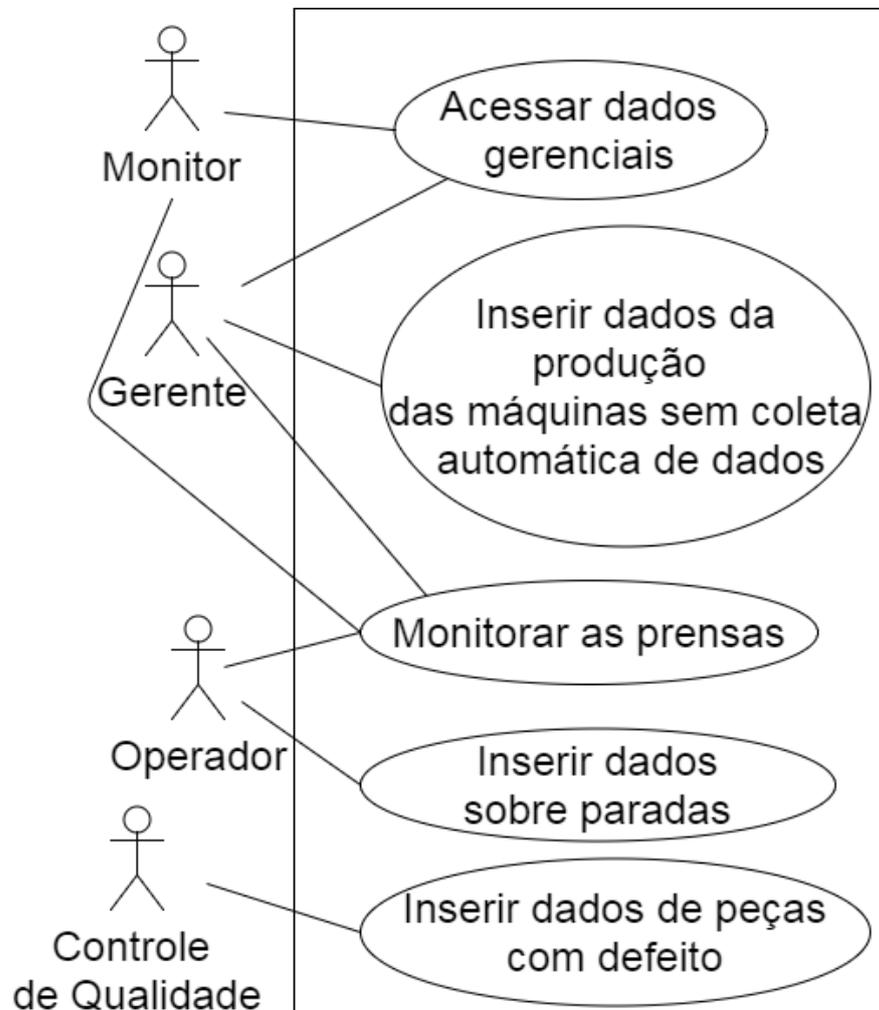
O diagrama da Figura 10 representa, no lado esquerdo, a interação com os usuários, sem diferenciar os vários níveis de acesso, apenas demonstrando que eles obtêm e fornecem informações. Do outro lado o sistema faz interface com o processo físico através de dispositivos que fornecem os dados necessários. Contudo, na fase atual do projeto, quando apenas uma prensa receberá o subsistema de coleta automática de dados, a interação será apenas com o CLP desta prensa piloto, representado pelo retângulo de linhas contínuas, porém no futuro há a perspectiva de ampliação do projeto e a possibilidade de interação com outros dispositivos fornecedores de dados, representados na imagem pelos objetos tracejados. Por fim, é importante informar que o sistema recebe as informações provindas das prensas periodicamente, em uma taxa relativamente alta, para uma boa análise desses dados posteriormente.

#### **4.4 - Modelo de Casos de Uso**

Um modelo de Caso de Uso é um modelo de interação que mostra como o sistema interage com seu ambiente quando ativo. Ele deve cobrir as principais atividades da empresa relacionadas ao sistema que será implementado. Assim, esse diagrama representa os casos de uso, que são relacionados a um grupo de

requisitos funcionais na forma de elipses; os “bonecos” representam atores (usuários), e um retângulo representa a fronteira funcional do sistema.

Figura 11 - Modelo de Casos de Uso do Sistema



A Figura 11 acima representa o modelo de casos de uso do sistema, onde pode ser notado que não há a presença de atividades complexas, pois o sistema serve para visualização e entrada de dados, não havendo a necessidade de navegar em vários níveis, como aconteceria em um programa com a funcionalidade de compra online, por exemplo (selecionar produto, selecionar forma de pagamento, pagar).

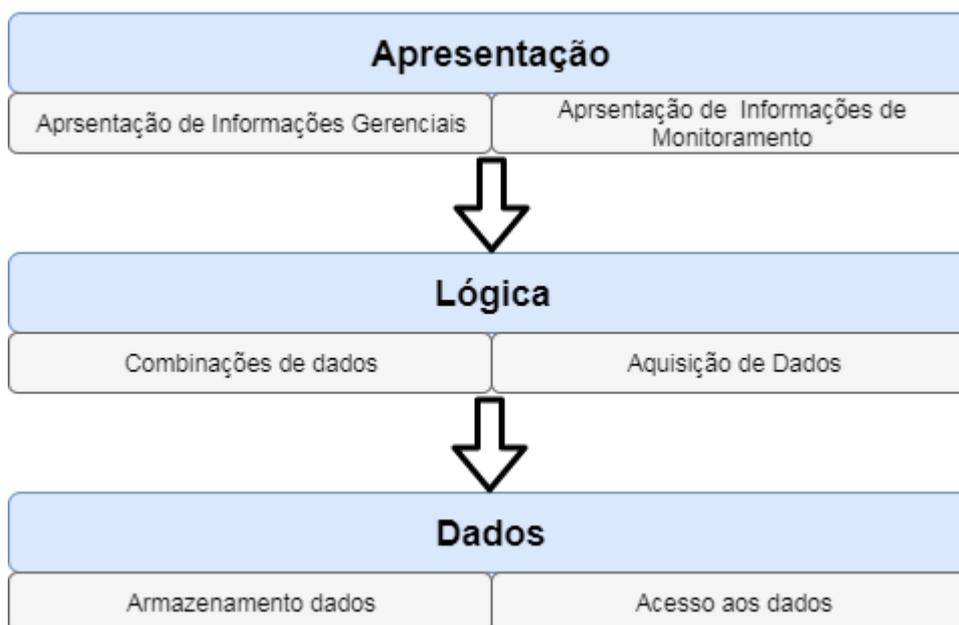
O diagrama de casos de uso também está documentando os níveis de acesso do sistema, pois ele foi projetado para ser usado por diferentes propósitos:

- Operador: esse usuário tem acesso apenas à área de monitoramento dos equipamentos, podendo apontar os motivos das paradas da máquina, que acontecem durante a operação.
- Controle de qualidade: usuário responsável apenas por apontar os dados de peças produzidas com defeito.
- Gerente: esse usuário tem acesso à visualização dos gráficos e tabelas com os dados sobre a produção, mas pode também verificar o funcionamento das máquinas na área de monitoramento. Ele também pode inserir os dados referentes às prensas que não têm instalado o subsistema de medição automática de OEE e paradas de máquina.
- Monitor: tem acesso apenas à visualização de dados gerenciais, não podendo inserir valores.
- Administrador: Foi suprimido do diagrama de casos de uso, mas tem acesso a todos os itens citados, além da parte de manutenção do sistema, como adicionar equipamentos, adicionar operadores, definir horário de turnos etc.

#### **4.5 - Arquitetura do Sistema**

A arquitetura escolhida para este sistema foi a de três camadas, como mostra a Figura 12, com as funções de cada camada e as setas indicando o sentido das requisições.

Figura 12 - Arquitetura do Sistema



Além das vantagens gerais do modelo 3 camadas, a arquitetura de camadas foi escolhida para este projeto por trazer outros benefícios em um sistema com este:

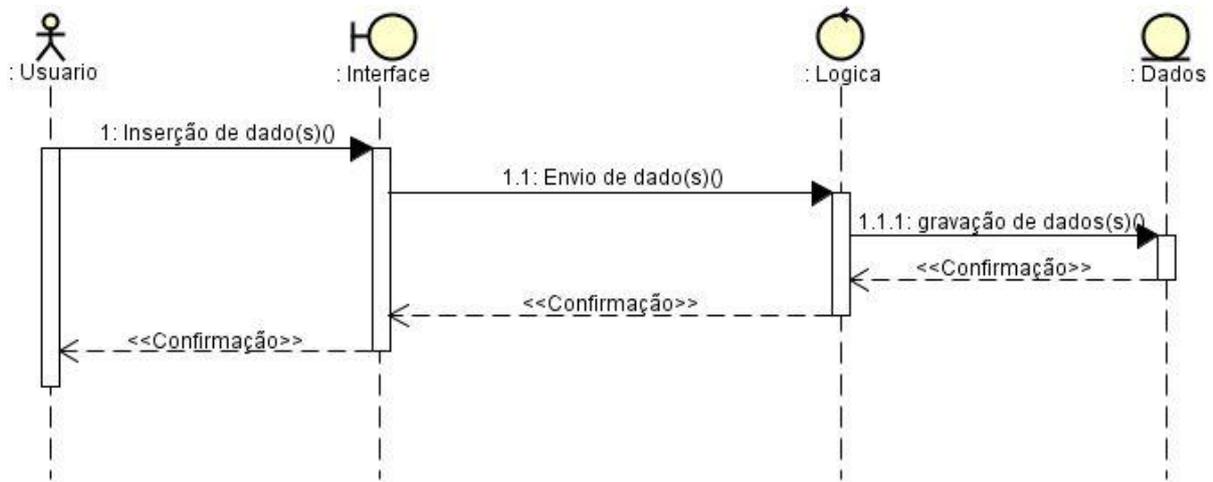
- A possibilidade do desenvolvimento, camada a camada, facilita o planejamento do trabalho durante o desenvolvimento.
- A independência das camadas permite, por exemplo, que a interface seja trocada ou que mais de uma interface diferente acesse a camada inferior. Outra possibilidade é de que a camada de aquisição de dados seja modificada, dependendo da situação encontrada no ambiente de instalação. No caso em questão existe um CLP específico para facilitar a extração dos dados, mas poderia ser necessário fazer comunicação com diferentes interfaces de CLP ou outros dispositivos.
- Este sistema se ajusta facilmente ao modelo de camadas.

Esses benefícios são realmente importantes, pois existe a forte possibilidade do sistema ser vendido como serviço no futuro e essas características são essenciais para se adequar a diferentes realidades em diferentes clientes.

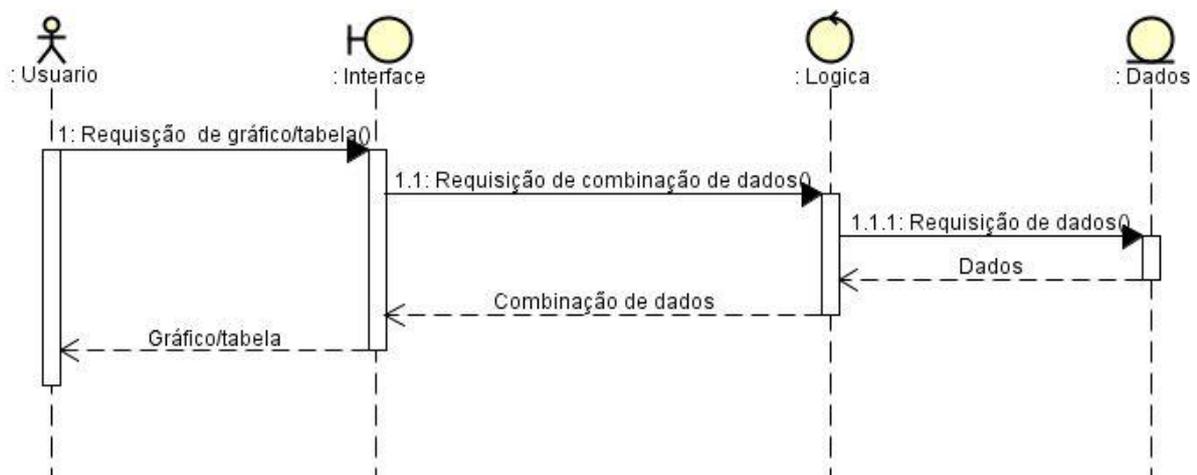
#### 4.6 - Diagrama de Sequência

Para resumir as possíveis atividades executadas pelos usuários do sistema pode-se agrupa-las em dois tipos de interação, a requisição de informações para análise, seja em forma de gráficos, tabelas ou valores, e a inserção de dados. Portanto, as Figuras 13 e 14 ilustram os diagramas de sequência para essas situações, sintetizando o funcionamento do sistema na visão dos usuários.

*Figura 13 - Modelo de Sequência Para Inserção de Dados*



*Figura 14 - Modelo de Sequência Para Requisição de Dados*



#### 4.7 - Diagrama de Implementação

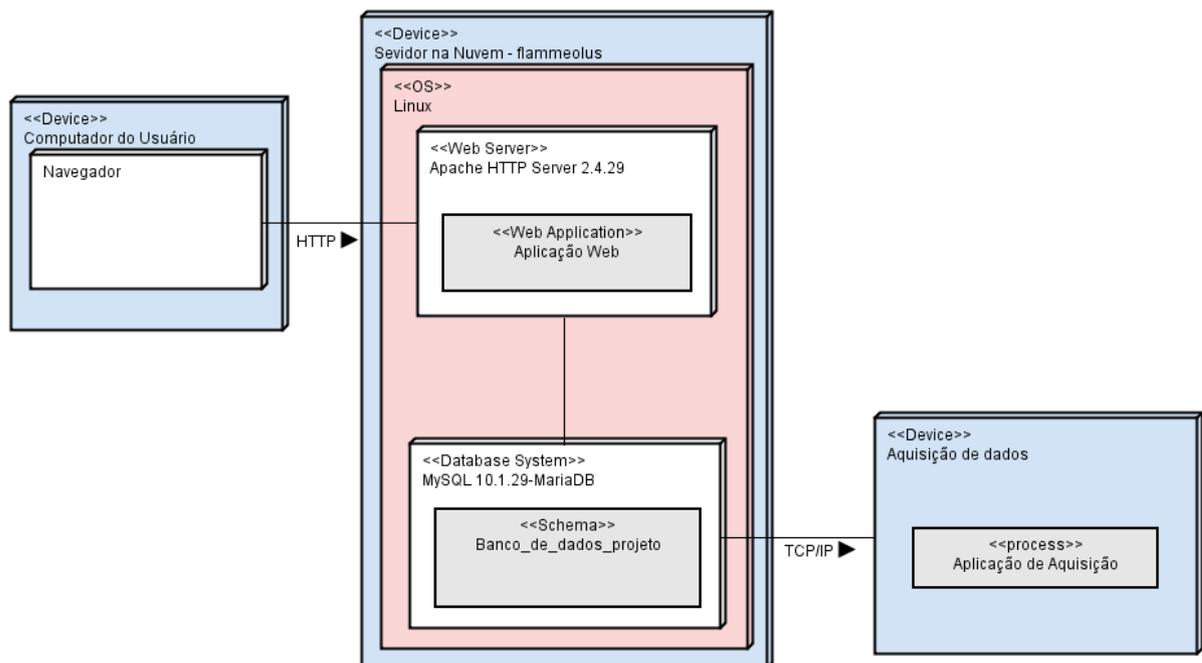
O diagrama de implantação modela a estrutura física do sistema, mostrando a relação entre os componentes do software e o hardware e a distribuição física do processamento. O diagrama de implantação da Figura 15 modela o sistema desenvolvido com aquisição automática de dados em apenas uma prensa.

O dispositivo à esquerda da Figura 15 é o computador do usuário, mas poderia ser o *tablet* do operador ou qualquer terminal de acesso. Nele é executada a interface Web através de um navegador de internet, portanto o sistema pode ser acessado de qualquer lugar com acesso a internet.

O dispositivo do meio é um servidor de nuvem que oferece vários serviços, entre eles um servidor Web e um servidor de banco de dados que são usados neste trabalho.

Por fim, o dispositivo da direita é o hardware usado para coleta de dados e fica instalado nas proximidades da máquina monitorada, no chão de fábrica. Caso haja a ampliação do monitoramento para as outras prensas este dispositivo pode receber informações de várias interfaces, até que seu poder computacional permita. Após isso, faz-se necessário a adição de outro(s) dispositivos coletores.

Figura 15 - Diagrama de Implementação do Sistema

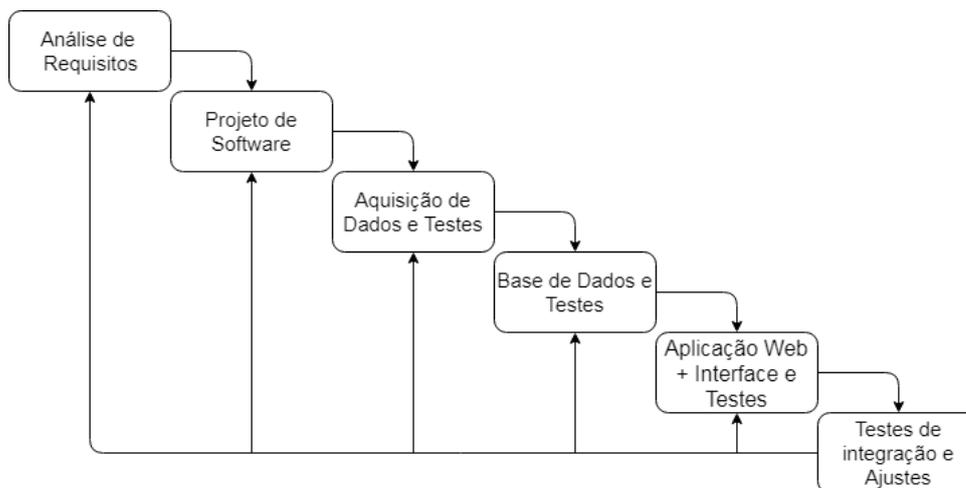


#### 4.7 - Metodologia de desenvolvimento

O projeto foi dividido em três partes para serem desenvolvidas independentemente. Essas partes são a aquisição dos dados, a base de dados e a aplicação web. Elas foram desenvolvidas utilizando a metodologia em cascata, ou seja, a partir dos requisitos projetou-se uma arquitetura e implementou-se uma parte de cada vez até se chegar ao produto final, porém, após os testes é normal que haja a necessidade de ajustes. A Figura 16 ilustra os passos para implementação do sistema.

O modelo em cascata considera as atividades fundamentais do processo de especificação, desenvolvimento, validação e evolução, e representa cada uma delas como fases distintas, como: especificação de requisitos, projeto de software, implementação, teste e assim por diante. [16]

*Figura 16 - Representação dos Passos do Projeto na Metodologia Cascata*



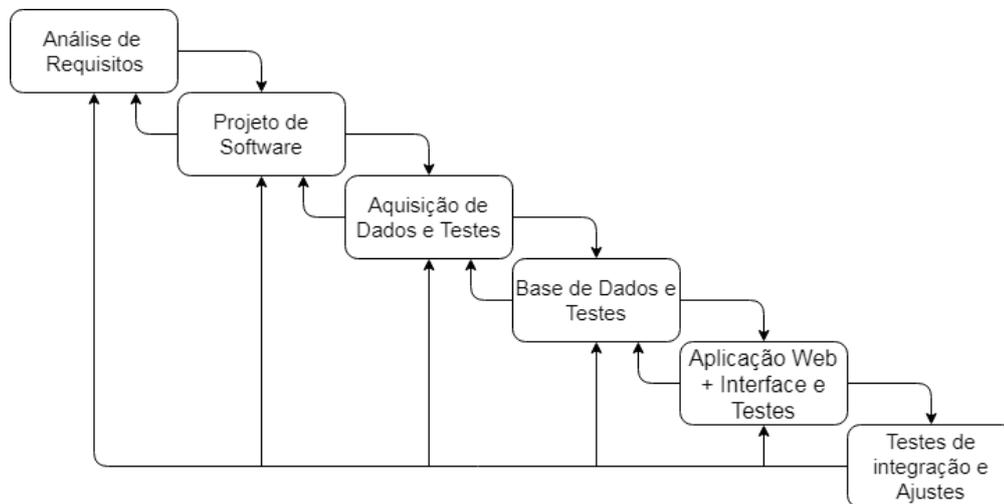
Porém, cada uma das partes de implementação teve mais de uma versão até que fosse considerada pronta e adequada para atingir os requisitos e servir corretamente a camada superior. Assim, considera-se que cada uma das três partes teve um desenvolvimento incremental.

A abordagem do desenvolvimento incremental intercala as atividades de especificação, desenvolvimento e validação. O sistema é desenvolvido como uma série de versões (incrementos), de maneira que cada versão adiciona funcionalidade

à anterior. Esses modelos não são mutuamente exclusivos e muitas vezes são usados em conjunto, especialmente para o desenvolvimento de sistemas de grande porte. Para sistemas de grande porte, faz sentido combinar algumas das melhores características do modelo em cascata e dos modelos de desenvolvimento incremental. [16]

A Figura 17 tenta ilustrar essa união de duas metodologias tradicionais e mostra uma abordagem mais realista em relação a como o sistema foi desenvolvido.

*Figura 17 - Metodologia Combinada Entre Cascata e Incremental Utilizada no Projeto*



## 5 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS

Como dito no capítulo 4, na seção 4.7, o sistema sempre foi pensado como três partes independentes durante seu desenvolvimento e é assim que este documento tratará o mesmo. Portanto, nesta seção será mostrado como foi a seleção de tecnologias e ferramentas para cada uma das três partes, coleta de dados, persistência de dados e aplicação Web. Porém, antes disso é necessário relatar uma discussão sobre a abordagem que o projeto seguiria.

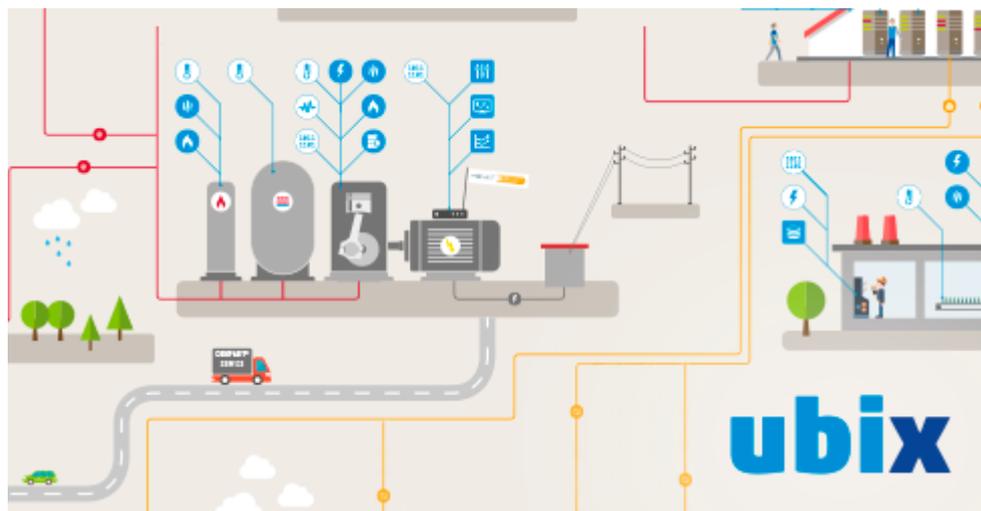
### 5.1 - Abordagem

No início do projeto haviam duas possíveis abordagens e elas serão descritas nesta seção.

#### 5.1.1 - Ubix

O Ubix é um sistema vendido como serviço para monitoramento e controle remoto de plantas industriais desenvolvido pela GreyLogix da Alemanha. Ele é constituído por um *switch* para ser instalado no local da planta e receber os dados dos CLPs ou outros dispositivos e envia-los através da internet pra um servidor. Então, o contratante do serviço tem a disposição uma interface customizada pela GreyLogix sob demanda, podendo haver dados atuais para monitoramento, dados históricos e a possibilidade de atuação remota na planta. Uma aplicação comum para este sistema é a implementação de uma espécie de mini supervisor, mostrando as variáveis do processo e com a possibilidade de atuar em funções não críticas, como mostra o exemplo da Figura 18.

Figura 18 - Exemplo de Interface Criada com o Ubix



### 5.1.2 - Desenvolvimento Próprio

A GreyLogix Brasil já havia disponível um hardware lançamento da conhecida fabricante Siemens destinado a aplicações de *Industrial Internet of Things* (IIoT), ou em português, Internet das Coisas Industrial. O modelo se chama *Simatic IOT2040* e pertence à série *Simatic IOT2000*.

A abordagem é inspirada no Ubix, porém usando como hardware de coleta de dados o IOT2040 disponível. Os dados seriam enviados e persistidos em um servidor de banco de dados em nuvem e acessados por uma interface Web onde haveria gráficos e *dashboards* mostrando tanto o histórico como os valores atuais para monitoramento da prensa. Por ser uma interface Web, possibilita que os operadores acessem com *tablets* para monitorar e apontar os motivos das paradas das máquinas.

### O Simatic IOT2040 (Hardware)

O Siemens IoT2000 é uma das mais recentes adições à família de produtos SIMATIC para automação, que abrange desde controladores lógicos programáveis (CLP) e PCs industriais com suporte para PROFIBUS e PROFINET, até interfaces humano máquina (HMI) e sistemas sofisticados e distribuídos para automatizar processos de fabricação.

Figura 19 - IOT2040



Seguindo a Figura 29, no lado direito do gabinete tem uma tampa com dobradiça, que ao abrir dá acesso a um *slot* para cartão de memória Micro-SD e uma interface FTDI de 6 pinos para usar com comunicação serial UART. Do lado esquerdo tem uma tampa removível que dá acesso a um *header* compatível com Arduino Uno para ser usado com *Shields* de Arduino ou o da própria série IOT2000. Portanto, todos os padrões disponíveis no Arduino estão presentes no IOT2000 como I<sup>2</sup>C, SPI, entradas e saídas analógicas com PWM e digitais. [22] [23]

Embaixo do gabinete existe uma porta USB tipo A e uma tipo Micro-B, botões de *reset* e do usuário (programável), além de duas interfaces Ethernet de 100 Mbps. [22] [23]

Na parte de cima estão cinco LEDs indicadores para alimentação, uso do cartão de memória, uso de USB, sobrecorrente e LED do usuário. Além disso, têm duas interfaces seriais RS232/485, pensadas para conexão com sensores inteligentes. [22] [23]

Na parte de baixo da placa tem um conector Mini PCIe, que pode ser usado para expandir a conectividade do dispositivo com conexão por internet sem fio, portas Ethernet extra, etc. [22] [23]

O processador é um Intel Quark X1020 SoC com frequência de 400MHz tendo 1GB de memória RAM disponível mais 8MB de memória flash para a BIOS e suporte para até 32GB de armazenamento principal através do cartão Micro-SD. [22] [23]

Outras características são a tensão de alimentação que pode ser de 9-36 V DC com consumo aproximado de 3 W. A versão IOT2040 conta com um *Real Time Clock* (RTC), ou relógio de tempo real, com bateria independente. Além disso, a Siemens recomenda usar como sistema operacional o Linux Yocto.

Resumindo, é um dispositivo projetado para atender aplicações embarcadas possibilitando comunicação com qualquer dos padrões mais utilizados e viabilizando a conexão com a internet, por isso é chamado de *gateway* IoT. E tudo isso em um gabinete com certificações para uso em ambiente industrial.

O *datasheet* do dispositivo diz:

“O SIMATIC IOT2000 é a plataforma confiável e aberta para coleta, processamento e transferência de dados no ambiente de produção. É ideal como gateway entre a nuvem ou o nível de TI da empresa e a produção. A abertura do sistema suportando numerosos protocolos de comunicação, e programação em linguagens de alto nível permitem soluções personalizadas.” [22]

### 5.1.3 - Abordagem escolhida

Analisando-se as duas possíveis abordagens pode-se intuir que se o Ubix fosse adotado este trabalho não seria desenvolvido, pois ele é uma solução pronta, vendida comercialmente como serviço pela GreyLogix Alemanha. Ou seja, foi dada preferência para o desenvolvimento próprio pelos motivos a seguir:

- O Ubix não apresentou a flexibilidade desejada.
- O Ubix é mais voltado para monitoramento do que para histórico.
- Desejo de ter um produto da GreyLogix Brasil, análogo ao Ubix.
- Com o Ubix seria necessário pagar à GreyLogix Alemanha pelo serviço.

## 5.2 - Seleção de Tecnologias Para Coleta de dados

Como mostrado na seção 5.1, o *hardware* para coleta de dados já foi definido e atende perfeitamente o objetivo da aplicação, pois foi projetado para este tipo de sistema conforme citação do seu *datasheet* ao fim da seção 5.1.2. Portanto o que falta definir são ferramentas e tecnologias de software e comunicação.

No primeiro momento do projeto a ordem foi descobrir todas as possibilidades de uso do IOT2040, para então tomar a decisão de que abordagem seguir. Portanto, muito tempo foi dedicado nessa tarefa e ela inicia com a definição da ferramenta e linguagem de programação a serem utilizadas, pois como os textos

promocionais da série IOT2000 informam, o dispositivo pode ser programado utilizando várias linguagens, afinal, geralmente o sistema operacional é o Linux Yocto, pois é recomendado pela Siemens, que disponibiliza uma versão deste Linux com alguns programas voltados para IoT já instalados.

O acesso ao IOT2040 e sua programação são feitos remotamente através da interface UART, ou neste caso, Ethernet, a partir de um computador tradicional. A seguir são listadas as três ferramentas de programação testadas:

- IDE Eclipse para desenvolvedores C/C++: é possível utilizar a IDE Eclipse na sua versão para C/C++ porém, para criar aplicações executáveis para o IOT2040 e transferi-las do Eclipse para o dispositivo um *plugin* chamado "IOT2000\_Eclipse\_Plugin" é necessário. E para compilar aplicações para o Linux Yocto do IOT2040 utilizando o sistema operacional Windows é necessário utilizar o SDK (Software Development Kit) "IOT2000 SDK".
- IDE Arduino: outra possibilidade é usar a IDE do Arduino, pois o IOT2000 é baseado no *chipset* Intel Galileo Gen2 que tem suporte desta IDE, apenas sendo necessário baixar e instalar o pacote para Intel Galileo na IDE.
- Node-RED: este é um ambiente de desenvolvimento baseado em fluxo de dados, no qual a programação é feita através de blocos conectados formando um fluxo. Os dados são passados de bloco em bloco e cada um deles faz um processamento diferente sobre a informação. Esta foi a ferramenta escolhida para programação do IOT2040 e será detalhada da próxima seção.

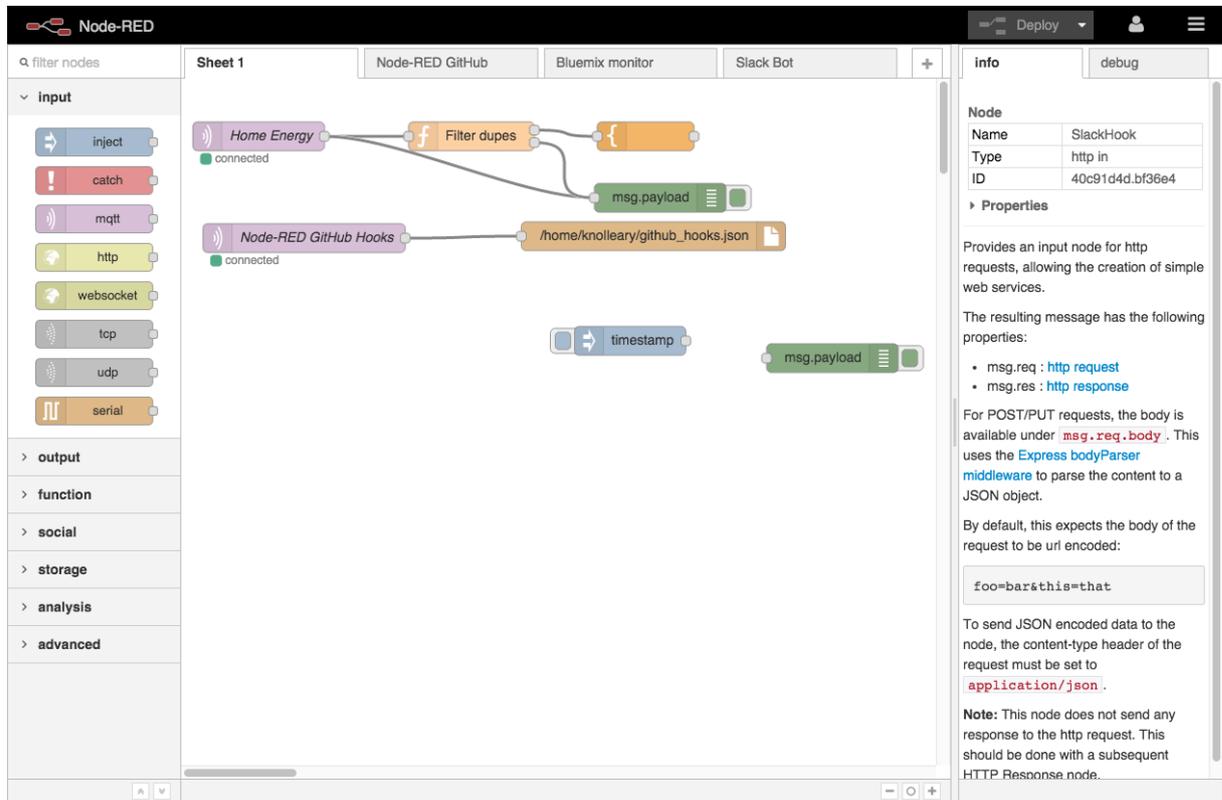
### 5.2.1 - Node-RED

Node-RED é uma ferramenta de programação de código aberto baseada em fluxo, desenvolvida originalmente pela divisão de tecnologias emergentes da IBM e hoje é parte da JS Foundation. [25]

Inventado por J. Paul Morrison na década de 1970, a programação baseada em fluxo é uma maneira de descrever o comportamento de uma aplicação como uma rede de caixas pretas ou "nós", como eles são chamados no Node-RED. Cada nó tem um propósito bem definido; recebe alguns dados, faz algo com esses dados

e depois passa esses dados adiante. A rede é responsável pelo fluxo de dados entre os nós. [25]

Figura 20 - Interface de Edição do Node-RED Acessada Pelo Navegador



Fonte: nodered.org

Node-RED consiste em um *runtime* baseado em Node.js para o qual aponta-se um navegador da Web para acessar o editor de fluxo. No navegador, cria-se o aplicativo arrastando-se nós da paleta para uma área de trabalho e conectando-os. Com um único clique, o aplicativo é implantado de volta ao *runtime* onde ele é executado. A Figura 20 mostra o editor de fluxo acessado pelo navegador de internet. [25]

Pode-se dizer que existem três tipos de nó, os nós de entrada, que permitem dados entrarem na aplicação a partir de fontes externas, os de saída, que permitem enviar dados para fora da aplicação, e os de processamento, que manipulam os dados dentro da aplicação a fim de executar alguma modificação útil e disponibilizar o dado processado ao nó seguinte. Geralmente as aplicações utilizam estes três tipos de nós a fim de formar um fluxo.

A paleta de nós pode ser facilmente ampliada instalando novos nós criados pela comunidade e os fluxos criados podem ser facilmente compartilhados como arquivos JSON. [25]

O Node-RED foi escolhido como ferramenta de programação por sua linguagem ser bastante intuitiva e de alto nível, permitindo que a preocupação do desenvolvedor fique em determinar o fluxo correto da informação para resolver o problema em vez de gastar tempo lidando com a sintaxe e semântica de uma linguagem tradicional. Além disso, estão a disposição nós criados pela comunidade, para comunicação com dispositivos da linha S7 da Siemens, que é o caso do CLP da prensa que receberá o sistema de medição. Também, o Node-RED é um dos programas que vem instalado na versão do sistema operacional disponibilizado pela Siemens.

Existem muitos outros nós disponíveis para *download*, permitindo implementar diversos protocolos de comunicação, e como já dito, nesta altura do projeto a ordem era para estudar as possibilidades que o IOT2040 permitia, portanto a próxima seção mostra os protocolos que foram cogitados para tirar a informação do IOT2040 e levar até um servidor na nuvem.

### 5.2.2 - Protocolos de Comunicação Testados no Node-RED

Tendo definido que a comunicação com o CLP da prensa será feita através dos nós de *S7 Connection*, esta seção tem por objetivo demonstrar as maneiras estudadas para enviar os dados coletados a partir do IOT2040 até um servidor de banco de dados na nuvem. Porém, a maneira selecionada só será revelada na próxima seção juntamente com a definição das tecnologias de armazenamento em nuvem.

#### 1) MQTT

A imagem do Linux Yocto disponibilizada pela Siemens fornece também um *broker* MQTT chamado *Mosquitto*.

MQTT ou *Message Queuing Telemetry Transport*, é um protocolo de comunicação da camada de aplicação do modelo OSI (Open System Interconnection) extremamente simples e leve. Sua arquitetura *publisher/subscriber* é projetada para ser aberta e fácil de implementar, com até milhares de clientes

remotos sendo suportados por apenas um servidor. Essas características fazem o MQTT ideal para uso em ambientes com restrições como largura de banda pequena, latência alta e dispositivos remotos com poder de processamento e memória limitados. [26]

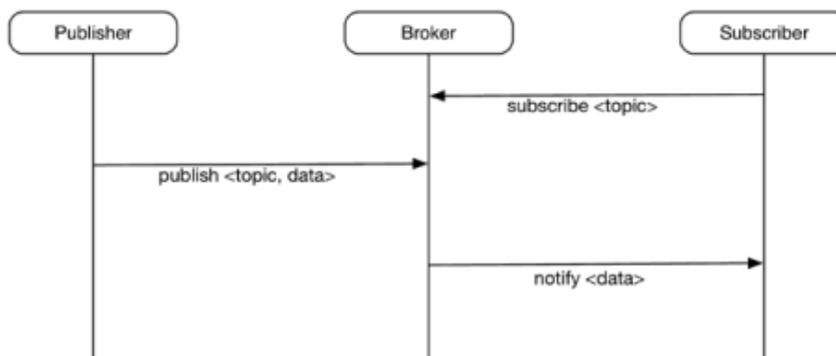
O protocolo MQTT inclui os seguintes benefícios: [26]

- Estende a conectividade além dos limites da empresa para dispositivos inteligentes.
- Oferece opções de conectividade otimizadas para sensores e dispositivos remotos.
- Entrega dados relevantes para qualquer ativo inteligente que possa usá-los.
- Permite escalabilidade massiva de implantação e gerenciamento de soluções.

MQTT minimiza os requisitos de largura de banda e recursos de dispositivos enquanto se esforça para garantir confiabilidade e entrega, o que faz do MQTT um protocolo adequado para comunicação *machine to machine* (M2M), que é um aspecto crítico do conceito emergente de uma Internet das Coisas. [26]

O paradigma publisher/subscriber implementa um *middleware* chamado *broker* que é responsável por receber, enfileirar e disparar as mensagens recebidas dos *publishers* para os *subscribers*. O *publisher* é responsável por se conectar ao *broker* e publicar mensagens, já o *subscriber* é responsável por se conectar ao *broker* e receber as mensagens que ele tiver interesse. Essas mensagens são enviadas aos seus destinos corretos pois são divididas em tópicos, assim os *publishers* publicam cada mensagem em seu tópico específico e os *subscribers* se inscrevem nos tópicos de seu interesse. A Figura 21 ilustra o funcionamento desse protocolo.

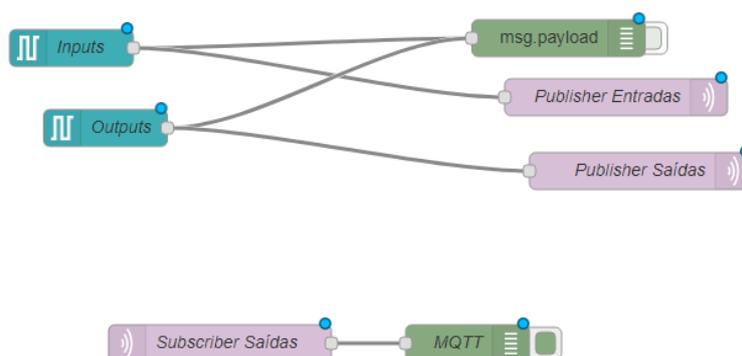
Figura 21 - Diagrama de Sequência do Paradigma Publisher/Subscriber



Além de o *broker* MQTT já vir instalado no IOT2040, a comunidade desenvolveu nós de *publisher*, *subscriber* e *broker* para o Node-RED e alguns testes foram feitos usando esse protocolo cogitando utilizá-lo no projeto, pois segundo a literatura ele é adequado à esta aplicação.

O aplicativo implementado utiliza um nó de entrada do S7 para ler um dado do CLP no laboratório da GreyLogix Brasil e esse dado é enviado ao nó de *publisher* no MQTT, que publica a informação em um determinado tópico. A partir disso essa informação foi enviada para todos os *subscribers* que assinaram esse tópico, como o nó de *subscriber* do Node-RED, dispositivos móveis com aplicativo para MQTT como o “MQTT Dash” e um aplicativo para o navegador de internet chamado “MQTT Lens”. A Figura 22 ilustra o fluxo deste teste.

Figura 22 - Fluxo de Node-RED Para Testar o MQTT

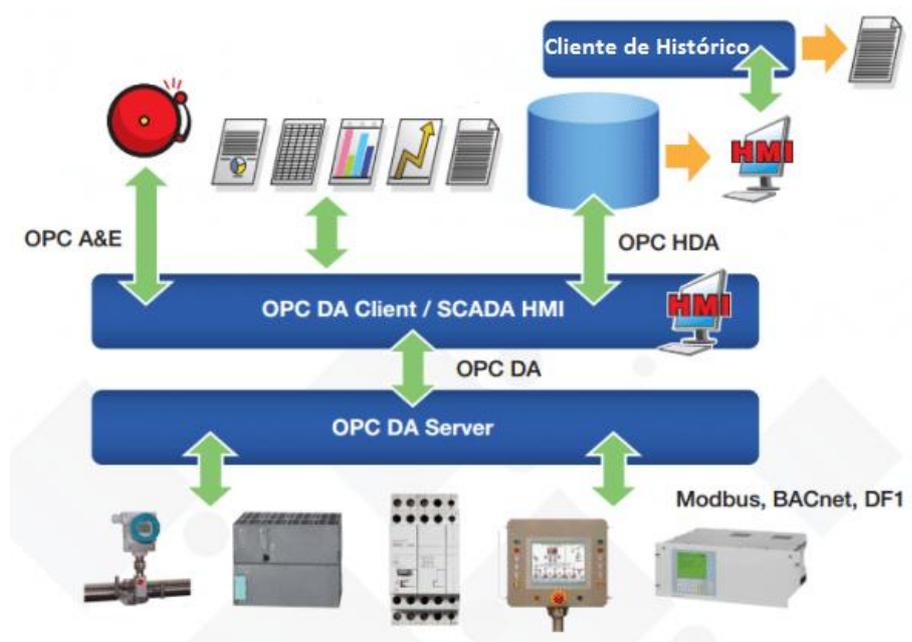


## 2) OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)

A possibilidade de usar um servidor OPC UA dentro do IOT2040, implementado através do Node-RED, também foi estudada e alguns testes foram feitos.

OPC Unified Architecture é a mais recente especificação OPC da Fundação OPC e difere significativamente de seus antecessores. O OPC clássico fornece as especificações OPC DA (Data Access), OPC A&E (Alarm & Event) e OPC HDA (Historical Data Access) com o objetivo de atingir a interoperabilidade entre equipamentos de automação. A Figura 23 mostra uma topologia genérica para o OPC clássico.

Figura 23 - Exemplo de Aplicação do OPC Clássico



Apesar de o OPC clássico ser largamente utilizado na indústria existem algumas restrições que veem principalmente do fato de ele ser baseado em tecnologia da Microsoft e, portanto, dependente do sistema operacional Windows para sua implementação. As principais limitações são:

- Dependência da plataforma Windows.
- Geração de pacotes complexos e difíceis de serem enviados pela internet devido a problemas com o *firewall*.
- Gerenciamento complexo dos diferentes servidores DA, HDA e A&E.

O OPC UA veio para resolver estes problemas, contendo todas as funcionalidades do OPC clássico e algumas novas em uma arquitetura unificada e independente de plataforma. [27]

Algumas características da nova especificação OPC são [27]:

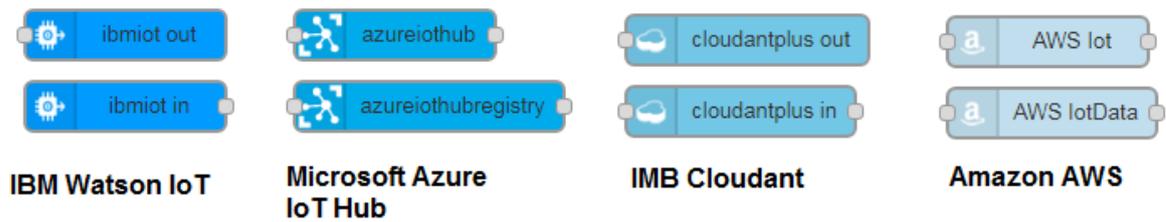
- Implementação multiplataforma incluindo implementações ANSI C, Java e .NET.
- Escalabilidade desde controladores embarcados até *mainframes*.
- Suporta operação *multi-thread* bem como *single-thread*, o que é necessário para portar o protocolo em dispositivos embarcados.
- Uma implementação de segurança própria, baseada em novos padrões.
- *Timeouts* configuráveis para cada serviço.
- Fragmentação de grandes datagramas.

A aplicação executada em laboratório na GreyLogix Brasil foi parecida com a do MQTT. Um dado é coletado do CLP S7-1200 através do nó de entrada do S7, um nó de cliente OPC UA envia este dado para o servidor OPC UA, que também é implementado por um nó. A partir disso este dado está disponível para ser acessado por outros clientes OPC UA, como outro nó de OPC UA ou um cliente externo, como foi utilizado o “UaExpert”.

### 3) Nós de Provedores de Serviços de Nuvem

Existem nós disponíveis que são específicos de cada um dos mais conhecidos serviços de nuvem do mercado, como Microsoft Azure, Amazon AWS, IBM Cloudant e IBM Watson entre outros, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Nós no Node-RED para Comunicação com Serviços de Nuvem



Portanto, uma possibilidade era usar um desses serviços em conjunto com seu nó específico para extrair o dado do chão de fábrica e armazenar no banco de dados do respectivo provedor. Porém essa abordagem foi logo descartada por decisão superior por apresentar a necessidade de pagar por algum desses serviços de nuvem e ficar dependente dele, o que não é interessante de nenhuma forma, mas principalmente se tratando do desenvolvimento de uma prova de conceito, como é o caso do sistema implementado neste projeto.

#### 4) Nós de Banco de Dados

Outros nós disponíveis para o Node-RED são nós de interface com Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBDs) específicos. Como exemplo, durante o estudo da ferramenta dois nós foram utilizados, um para acesso ao SQLite e outro ao MySQL, mas existem outros nós disponíveis para *download*. A Figura 25 mostra alguns exemplos de nós para acesso a alguns SGBDs conhecidos.

Figura 25 - Nós Para Comunicação com Bancos de Dados



Esses nós dão acesso básico ao banco de dados permitindo enviar comandos de linguagem SQL (*Structured Query Language*) de leitura e escrita à base de dados desejada de uma forma simples, apenas sendo necessário configurá-lo corretamente com os dados do servidor de banco de dados.

### 5.3 - Seleção de Tecnologias Para Armazenamento em Nuvem

Após estudar as possibilidades de uso do IOT2040 e do Node-RED, julgadas apropriadas ao projeto, o autor deste trabalho foi informado de que a GreyLogix Brasil já possuía um contrato com um provedor de nuvem não muito conhecido, cujo, além de outros serviços, havia disponíveis dois SGBDs, o MySQL e o Postgres. Portanto a escolha consistiu apenas em decidir qual banco de dados utilizar.

Por conta de uma familiaridade maior dos *players* da empresa envolvidos no projeto com o MySQL e pelo fato do desconhecimento do nó do Postgres para Node-RED no momento, a escolha foi pelo MySQL.

Com a imposição deste servidor de nuvem específico e a decisão de usar o banco de dados MySQL, a discussão da sessão anterior termina, pois é sensato que seja utilizado o nó específico do MySQL para fazer a conexão entre IOT2040 e o banco de dados.

### 5.4 - Ferramenta para Criação da Aplicação Web

Para desenvolver a aplicação Web e sua interface a GreyLogix também havia disponível uma licença da ferramenta Scriptcase, hospedada no mesmo servidor de nuvem que o banco de dados.

O Scriptcase é uma ferramenta de desenvolvimento que possibilita, através de uma interface amigável, criar aplicações PHP rapidamente. É possível criar inúmeras aplicações de consultas, gráficos, formulários, calendários entre outras aplicações que o Scriptcase possui, além de poder criar um sistema com *login* e níveis de permissão de acesso. Instalado em um servidor web, o Scriptcase pode ser usado através de um navegador de internet, permitindo o desenvolvimento remoto e colaborativo. [28]

O Scriptcase trabalha com geração de aplicações web em PHP relacionando sempre com a maioria dos bancos de dados presentes no mercado. Ele gera códigos-fonte (PHP, JavaScript, HTML e AJAX) totalmente independentes da ferramenta e pode ser publicado em um servidor Web que possua o PHP habilitado. A linguagem PHP é gratuita (GNU) e pode ser usada em Windows ou Linux. [28]



## 6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

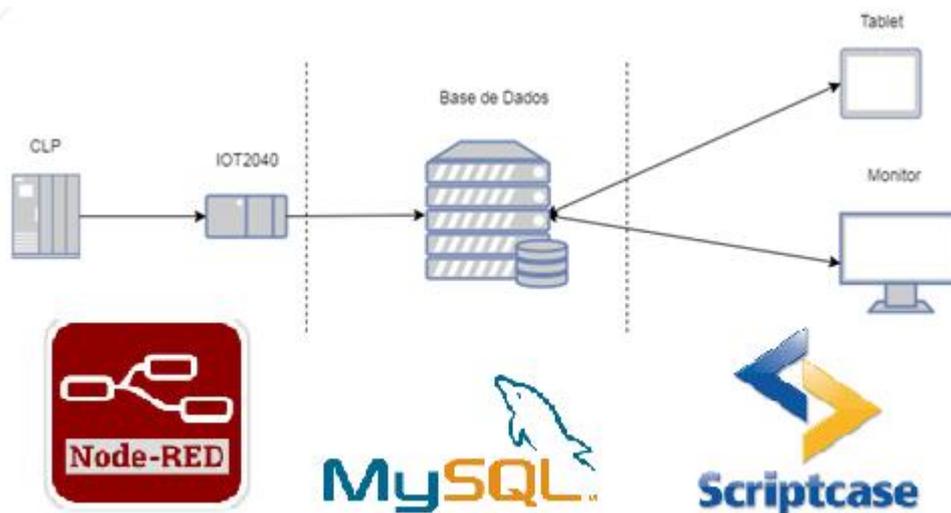
Este capítulo dedica-se a mostrar o que foi desenvolvido para atender os objetivos do trabalho, ou seja, como é o sistema desenvolvido. Ademais, mostra-se como foi o desenvolvimento da solução.

Desde o início do planejamento do sistema o diagrama superior na Figura 26 foi utilizado para demonstrar aos *stakeholders* como seria a organização e funcionamento do sistema, portanto ele está sendo utilizado neste relatório também por ser de fácil entendimento.

A imagem mostra os dispositivos envolvidos na solução final e o fluxo de informação indicado pelas setas. Portanto, o IOT2040 coleta a informação do CLP com a aplicação criada no Node-RED e a envia ao banco de dados MySQL em um servidor na nuvem. Este servidor também possui um servidor web que roda a aplicação. E, no lado direito da imagem estão representados os terminais de acesso que apresentam a interface e fazem tanto requisições, como envio de dados ao banco de dados através da aplicação. A interface e a aplicação foram criadas utilizando a ferramenta Scriptcase.

As linhas tracejadas segregam os subsistemas que estão fisicamente separados. O CLP e o IOT2040 ficam no chão de fábrica, próximos da prensa, enquanto que o servidor fica na nuvem e os terminais que acessam a aplicação podem estar em qualquer lugar do globo, inclusive podem ser *tablets* no chão de fábrica, como é pedido nos requisitos não funcionais. As setas de fluxo de informação que cruzam as linhas tracejadas indicam quais conexões utilizam a internet como rede de comunicação.

Figura 26 - Arquitetura Simplificada do Sistema e Ferramentas Utilizadas em Cada Subsistema



Assim como foi descrito no capítulo 4 e mostrado na imagem acima, o sistema foi organizado em três partes para seu desenvolvimento, a coleta de dados, o banco de dados e a aplicação web, e dessa maneira ele foi desenvolvido, uma parte por vez. Portanto este capítulo é organizado desta forma, mas antes é mostrado o protótipo que foi criado para testar a arquitetura proposta.

## 6.1 - Protótipo

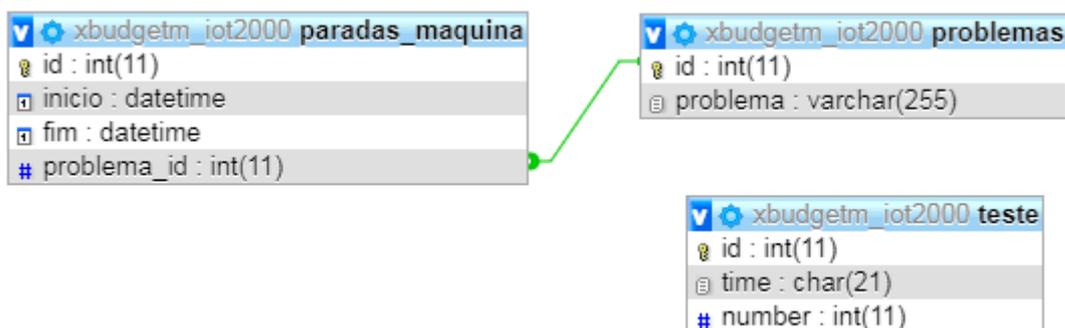
Com o intuito de verificar a factibilidade do sistema utilizando a arquitetura e tecnologias escolhidas e mostrar isso aos *stakeholders*, um protótipo foi criado. Este utiliza o mesmo conceito e as mesmas tecnologias, porém na forma mais simples possível.

### 6.1.1 - Camada de Dados do Protótipo

A base de dados do protótipo possui três tabelas, mostradas da Figura 27:

- Problemas: armazena os possíveis motivos de parada de máquina.
- Paradas\_maquina: registra paradas de máquina com hora de início e fim e relaciona o motivo da parada.
- Teste: armazena medições de grandezas coletadas pelo IOT2040 registrando hora e valor da medição.

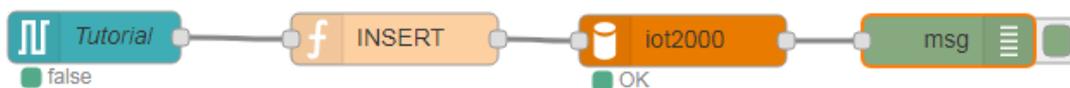
Figura 27 - Base de Dados do Protótipo



### 6.1.2 - Coleta de Dados do Protótipo

A extração dos dados do CLP para o IOT2040 e, posteriormente, seu envio ao banco de dados MySQL é executado pelo fluxo do Node-RED ilustrado na Figura 28. Neste caso o nó de conexão S7, chamado “Tutorial”, está lendo ciclicamente uma entrada digital do CLP S7-1200 do laboratório da GreyLogix e repassando esse dado ao nó de função chamado “INSERT”.

Figura 28 - Fluxo de Coleta de Dados do Protótipo



O nó “INSERT” executa o código em linguagem javascript mostrado a seguir, no qual se usa do fato de o IOT2040 possuir um relógio de tempo real (RTC) em seu *hardware* para obtenção do *timestamp* (data hora) atual. Depois, uma *query* SQL para inserção na tabela teste do banco de dados é construída, preenchendo o campo “time” com o *timestamp* e o campo “number” com o valor da carga da mensagem vinda do nó anterior. Essa *string* é passada ao nó seguinte, “iot2000”.

```

var today = new Date();
var y = today.getFullYear();
var m = today.getMonth()+ 1;
var d = today.getUTCDate();
var h = today.getHours();
var min = today.getMinutes();
var s = today.getSeconds();

```

```
// Constrói uma string com data e hora formatadas como YYYY-MM-DDHH:MM:SS
var time = y + "-" + m + "-" + d + " " + h + ":" + min + ":" + s;
// Constrói uma query SQL como uma string , insere uma nova tupla na tabela
msg.topic = "INSERT INTO teste(TIME,NUMBER)
VALUES('" + time + "'" + "," + msg.payload + "));";
return msg;
```

O nó “iot2000” é um nó do MySQL, configurado para enviar as *queries* recebidas, ao banco de dados “iot2000”, na porta e endereço IP (*Internet Protocol*) especificados pelo provedor do serviço de nuvem. E por fim, o nó “msg” mostra na tela de *debug* do Node-RED a resposta do SGBD.

### 6.1.3 - Aplicação Web do Protótipo

Com os dados sendo persistidos na base de dados é possível, então, apresentá-los em uma aplicação Web.

A aplicação desenvolvida para o protótipo também é bastante simples e rústica, pois a preocupação foi apenas verificar a factibilidade. Ela é composta por duas abas, sendo a primeira, mostrada na Figura 29, um *dashboard* com alguns índices, um gráfico mostrando as paradas de máquina registradas separadas por seus motivos e uma tabela mostrando as paradas registradas. E a segunda aba, mostrada na Figura 30, um formulário para o registro das paradas das prensas.

Figura 29 - Aba de Dashboard do Protótipo

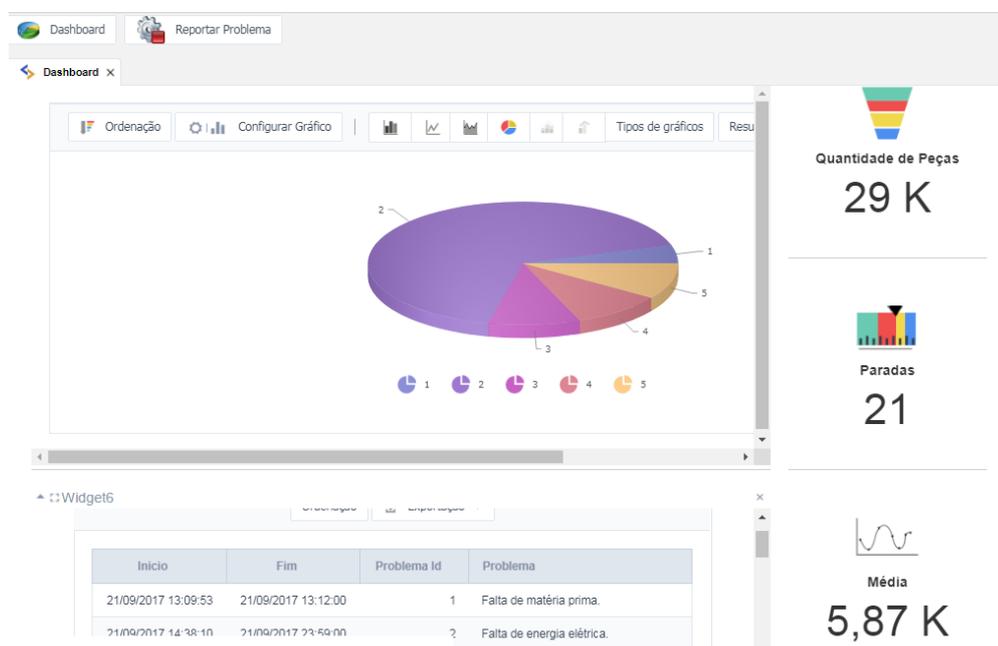


Figura 30 - Formulário de Registro de Paradas do Protótipo

Dashboard Reportar Problema

Dashboard x Reportar Problema x

INCLUSÃO - PARADAS\_MAUQUINA 09/10/2017

Incluir

Início \* 09/10/2017 21:00:42

Fim \*  dd/mm/aaaa  hh:mm:ss

Problema Id \* Falta de energia elétrica.

\* Campo de preenchimento obrigatório

## 6.2 - Camada de Dados do Sistema

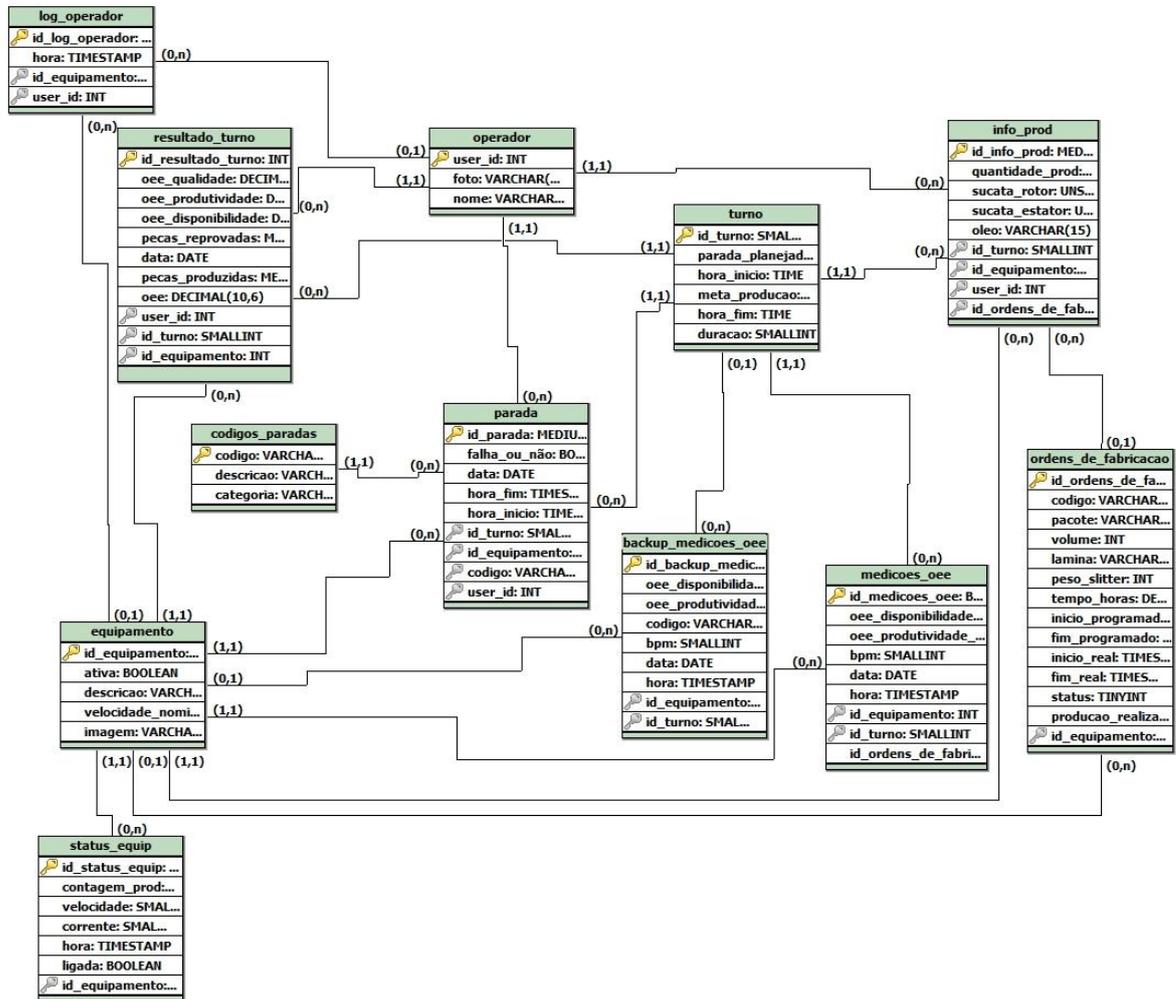
Nesta seção será mostrada como está implementada a camada de dados do sistema e como foi o processo de projeto desta através de suas versões.

### 6.2.1 - Versão Final da Base de Dados

O desenvolvimento da base de dados passou por um refinamento levando a três versões, acompanhado de uma discussão sobre como deveria ser o processo e quais dados seriam importantes. A discussão sobre as primeiras versões pode ser vista no apêndice A.

A Figura 31 mostra o diagrama lógico na versão final da base de dados e a seguir cada tabela é explicada.

Figura 31 - Diagrama Lógico da Versão Final do Banco de Dados



- Turno: mantém registro sobre os turnos de trabalho com seus horários. Neste caso são três turnos identificados pelos números 100, 200 e 300.
- Equipamento: mantém registradas os equipamentos avaliados pelo sistema, neste caso as dez prensas da Embraco, identificadas por seus códigos. Porém outros equipamentos, que não prensas, podem ser incluídos, conforme um dos requisitos não funcionais.
- Códigos\_paradas: mantém registrados os códigos das possíveis paradas de máquina com uma descrição, classificados em categorias como mecânica, elétrica, ferramentaria, etc. A relação de motivos de parada foi fornecida pela Embraco.
- Operador: mantém registrados os operadores das prensas.

- Parada: armazena os registros de paradas de máquina relacionando o motivo, o equipamento, o operador, o turno e o horário de início e fim, além de um indicador para determinar se deve ou não ser levada em conta no cálculo do OEE.
- Ordens\_de\_fabricação: mantém registro da programação de produção.
- Infro\_prod: registra informações sobre a produção que costumavam ser anotadas nas fichas pelos operadores.
- Log\_operador: registra os acessos dos operadores aos equipamentos.
- Status equip: recebe do IOT2040 os valores das variáveis para monitoramento das prensas.
- Medições\_oe: recebe valores de velocidade de cada prensa vindas do IOT2040 a cada minuto e calcula a taxa de produtividade (desempenho) e a disponibilidade de cada minuto através de gatilhos (*triggers*) para posterior uso desses dados no cálculo do OEE do turno.
- Backup\_medições\_oe: armazena as medições de oee antigas provindas da tabela citada anteriormente.
- Resultado\_turno: armazena registros que sumarizam e totalizam os dados de produção e OEE de cada turno.

### 6.2.2 - Pré e Pós Processamento no Banco de Dados

Com o objetivo de distribuir o processamento, tanto entre os subsistemas como temporalmente, dando preferência para que a carga maior ficasse com o servidor para que a aplicação Web fosse leve e rápida, fez-se uso de recursos de processamento do MySQL. Assim, foi possível deixar os dados de produção e OEE, na tabela “resultado\_turno”, prontos para o uso da aplicação, sem a necessidade de fazer requisições complexas no momento do acesso dos usuários, além de registrar paradas de máquina na tabela de paradas baseando-se na medição de velocidade das prensas. Portanto, é usado o poder computacional do servidor na nuvem, no

momento da coleta de dados e fim de turnos, deixando os dados prontos para um acesso rápido da aplicação, conforme será explicado a seguir.

### 1) Gatilho da tabela “medições\_oee”

A tabela “medições\_oee” recebe as medições minuto a minuto de cada prensa com o sistema de coleta de dados automático, com os campos “data”, “hora”, “id Equipamento” e “bpm” (batidas por minuto) preenchidos. Essa tabela tem um gatilho associado, configurado para disparar antes de cada inserção e executa o código em linguagem SQL mostrado a seguir. Este gatilho implementa duas funções, a primeira de preencher os dados que faltam no próprio registro a ser inserido na tabela “medições\_oee” calculando as taxas de produtividade e de disponibilidade daquele minuto. E a segunda é de registrar o início de paradas de máquina na tabela de paradas quando a velocidade entre um registro e outro varia de um valor alto para um valor perto de zero, e atualizar esse registro com a hora de fim da parada quando a variação é inversa, faltando o apontamento posterior do motivo da parada da prensa, que será adicionado pelo operador. Essa segunda função atende ao requisito funcional de detectar e registrar paradas de máquina automaticamente.

#### **BEGIN**

```
-- Calcula a disponibilidade do equipamento no minuto atual
IF NEW.bpm > 0 THEN
    SET NEW.oeo_disponibilidade_min = 100.00;
ELSEIF NEW.bpm = 0 THEN
    SET NEW.oeo_disponibilidade_min = 0;
END IF;
-- Determina em qual turno aconteceu esta medição
IF (SELECT (time_to_sec(hora_fim)-time_to_sec(hora_inicio))FROM turno
WHERE hora_inicio <= TIME(NEW.hora) AND hora_fim >=TIME(NEW.hora))
IS NOT NULL THEN
    SET NEW.id_turno = (SELECT id_turno FROM turno
WHERE hora_inicio <= TIME(NEW.hora) AND hora_fim >=TIME(NEW.hora));
ELSE
    SET NEW.id_turno = (SELECT id_turno FROM turno
WHERE (time_to_sec(hora_fim)-time_to_sec(hora_inicio))<0);
END IF;
```

```

-- Cálculo da desempenho no minuto atual utilizando a velocidade nominal da máquina
SET NEW.oeo_produtividade_min = 100*( SELECT NEW.bpm/velocidade_nominal
FROM equipamento WHERE id_equipamento = NEW.id_equipamento);
-- Determinação da ordem de fabricação referente
SET NEW.id_ordens_de_fabricacao = (SELECT id_ordens_de_fabricacao
FROM ordens_de_fabricacao WHERE id_equipamento = NEW.id_equipamento
AND status = 1);

-- Detecção de paradas de máquina e seu registro na tabela de paradas
SET @velocidade_anterior = (SELECT bpm FROM medicoes_oeo
WHERE id_equipamento = NEW.id_equipamento
ORDER BY id_medicoes_oeo DESC LIMIT 1);

IF (@velocidade_anterior >= 30) AND (NEW.bpm < 30) THEN
  --Registro do início da parada
  INSERT INTO parada (hora_inicio, id_equipamento, data)
  VALUES ( CURRENT_TIMESTAMP, NEW.id_equipamento, CURRENT_DATE );
ELSEIF (@velocidade_anterior <= 30) AND (NEW.bpm > 30) THEN
  -- Registro do fim da parada
  UPDATE parada SET hora_fim = CURRENT_TIMESTAMP, codigo = 0
  WHERE id_equipamento = NEW.id_equipamento
  ORDER BY id_parada DESC LIMIT 1;
END IF;
END

```

## 2) Eventos de resultado do turno

Ao fim de cada turno estão agendados eventos que calculam a quantidade de peças produzidas, a taxa de desempenho (ou produtividade) e a disponibilidade de cada equipamento no turno finalizado e inserem os atributos na tabela “resultado\_turno” utilizando como base para cálculo os dados colhidos minuto a minuto da tabela medições\_oeo durante todo o turno.

O código do evento para o turno 100 é mostrado a seguir, sendo que para os outros turnos a única mudança no código é o identificador do turno que pode ser 200 ou 300.

```

INSERT INTO resultado_turno ( `data`, `oeo_produtividade`, `oeo_disponibilidade`, `pecas_pr
oduzidas`, `id_turno`, `id_equipamento` )
SELECT CURRENT_DATE, A.soma_oeo_produtividade_min/B.tempo_produzindo AS oeo_produkti

```

vidade,

A.ooe\_disponibilidade,  
 A.pecas\_produzidas,  
 A.id\_turno,  
 A.id Equipamento

**FROM**

**(SELECT CURRENT\_DATE, SUM(ooe\_produtividade\_min) AS soma\_ooe\_produtividade\_min, SUM(ooe\_disponibilidade\_min)/(COUNT(ooe\_disponibilidade\_min) -**

**(SELECT parada\_planejada FROM turno WHERE id\_turno=100)) AS ooe\_disponibilidade, SUM(bpm) AS pecas\_produzidas,**

id\_turno,

id Equipamento

**FROM** medicoes\_ooe

**WHERE** id\_turno=100 **AND** hora > SUBTIME(CURRENT\_TIMESTAMP, '23:59:00')

**GROUP BY** id Equipamento)

**AS** A

**INNER JOIN**

**(SELECT** id Equipamento, count(ooe\_disponibilidade\_min) **AS** tempo\_produzindo

**FROM** `medicoes\_ooe`

**WHERE** id\_turno = 100

**AND** hora > SUBTIME(CURRENT\_TIMESTAMP, '23:59:00')

**AND** ooe\_disponibilidade\_min != 0 **GROUP BY** id Equipamento)

**AS** B

**ON** A.id Equipamento = B.id Equipamento

O cálculo da disponibilidade ocorre somando-se as taxas de disponibilidade de cada minuto e dividindo-se pela subtração do tempo de parada planejada do turno no tempo total trabalhado neste turno em minutos.

$$Disponibilidade = \frac{\sum disponibilidade\_min}{minutos\ do\ turno - minutos\ de\ parada\ planejada}$$

O cálculo da produtividade soma a taxa de produtividade de todos os minutos do turno e divide essa soma pela quantidade de minutos em que a disponibilidade não é nula.

$$Produtividade = \frac{\sum produtividade\_min}{minutos\ com\ máquina\ ativa}$$

### 3) Gatilho na inserção do “resultado\_turno”

Como mencionado no objetivo do trabalho e nos requisitos do sistema, deve-se permitir a entrada de dados sobre produção manualmente para as prensas que não tiverem o subsistema de coleta automática, pois esta prova de conceito será aplicada a apenas uma das prensas, porém objetiva-se abranger todas as dez prensas do setor com o sistema. Portanto, existem duas maneiras de entrada de dados, a manual e a automática, e na tabela “resultado\_turno” elas recebem o tratamento distinto adequado através de um gatilho antes da inserção, cujo código está a seguir.

#### **BEGIN**

-- Se a entrada for manual

**IF NEW.oeo\_disponibilidade IS NULL THEN**

-- declara variável com a duração do turno

**SET @duracao\_turno :=**

**(SELECT duracao FROM turno WHERE id\_turno=NEW.id\_turno);**

-- declara variável com a duração da parada planejada para o turno

**SET @parada\_planejada := (SELECT parada\_planejada FROM turno  
WHERE id\_turno=NEW.id\_turno);**

-- soma o tempo das paradas registradas neste turno

**SET @paradas := (SELECT SUM(TIMESTAMPDIFF(MINUTE,hora\_inicio, hora\_fim))  
FROM parada WHERE id\_turno= NEW.id\_turno AND id Equipamento =  
NEW.id Equipamento AND data >= DATE(SUBTIME(CURRENT\_TIMESTAMP,  
SEC\_TO\_TIME(@duracao\_turno\*60))));**

-- Calcula a disponibilidade

**IF NEW.pecas\_produzidas > 0 THEN**

**SET NEW.oeo\_disponibilidade = (100\*((@duracao\_turno -  
IFNULL(@paradas,0))/(@duracao\_turno-@parada\_planejada)));**

**ELSE**

**SET NEW.oeo\_disponibilidade = 0;**

**END IF;**

-- calcula a produtividade

**SET NEW.oeo\_produtividade = (100\*(NEW.pecas\_produzidas/  
((@duracao\_turno - IFNULL(@paradas,0))\*  
(SELECT velocidade\_nominal FROM equipamento  
WHERE id Equipamento = NEW.id Equipamento))));**

-- Se a entrada for da coleta automática

**ELSE**

```
-- Preenche o operador usando a tabela log_operador
SET NEW.user_id = (SELECT user_id from log_operador where id_log_operador =
(SELECT max(id_log_operador) FROM log_operador
WHERE id Equipamento = NEW.id Equipamento));
```

**END IF;****END**

Quando a entrada de dados é manual o cálculo de disponibilidade é efetuado utilizando-se dos registros de parada de máquina, por este motivo é interessante que os operadores das prensas sem o IOT2040 possam também usar um *tablet* para apontar as paradas de máquina durante o expediente, pois elas devem ser registradas antes da entrada de dados manualmente na tabela de resultados do turno.

O cálculo de produtividade também leva em conta as paradas de máquina e a quantidade de peças produzidas, que deve ser inserida ao fim do turno.

A fórmula utilizada para a disponibilidade neste caso é o tempo trabalhado dividido pelo tempo planejado:

$$Disponibilidade = \frac{\text{duração do turno} - \text{paradas}}{\text{duração do turno} - \text{paradas planejadas}}$$

E a fórmula para a produtividade é a quantidade produzida dividida pela quantidade possível de ser produzida enquanto a máquina está disponível e operando em velocidade nominal:

$$Produtividade = \frac{\text{Peças produzidas}}{(\text{duração do turno} - \text{paradas}) * \text{velocidade nominal}}$$

#### 4) Gatilho na atualização da tabela “resultado\_turno”

Até então, tanto com entrada de dados automática, quanto manual, só foi demonstrado como é feito o cálculo da disponibilidade e da produtividade, mas não o OEE propriamente dito. Isso se deve ao fato de que é necessário saber a quantidade de peças com defeito para obter-se a taxa de qualidade e por fim calcular o OEE e fica

inviável determinar automaticamente quantas peças foram reprovadas em uma aplicação com quantidades produzidas tão elevadas e peças de baixo valor agregado, portanto este dado deverá ser inserido manualmente após o fim do turno e os cálculos de disponibilidade e produtividade.

Um gatilho associado à operação de atualização dos registros da tabela “resultado\_turno” calcula a taxa de qualidade e, finalmente, o OEE, caso o dado inserido seja a quantidade de peças reprovadas. O código do gatilho que faz esse processamento é mostrado a seguir.

**BEGIN**

-- Se o dado atualizado for a quantidade de peças reprovadas

**IF NEW.pecas\_reprovadas IS NOT NULL THEN**

-- Calcula a taxa de qualidade

**SET NEW.oeq\_qualidade =**

**((OLD.pecas\_produzidas - NEW.pecas\_reprovadas)/OLD.pecas\_produzidas)\*100;**

-- Calcula o OEE do turno

**SET NEW.oeo =**

**(OLD.oeo\_produtividade\*OLD.oeo\_disponibilidade\*NEW.oeq\_qualidade)/10000;**

**END IF;**

**END**

A fórmula utilizada para o cálculo da taxa de qualidade é a seguinte.

$$Qualidade = \frac{\text{peças produzidas} - \text{peças reprovadas}}{\text{peças produzidas}}$$

E finalmente, a fórmula clássica do OEE pode ser aplicada.

$$OEE = Produtividade * Disponibilidade * Qualidade$$

A estrutura da base de dados, mais as funções implementadas mostradas nos itens 1 a 4 acima, atendem ao primeiro requisito funcional: calcular OEE dos equipamentos.

### 5) Evento de *backup* das medições

Os dados utilizados para auxílio na gestão da produção e apresentados na aplicação Web são aqueles armazenados nas tabelas de resultado do turno e de paradas, portanto os dados da tabela “medições\_oe” são intermediários para o cálculo do resultado do turno, porém optou-se por armazená-los mesmo assim, pensando na hipótese de fazer novas análises no futuro e com o intuito de manter um histórico com os dados brutos, buscando com isso atender o requisito de permitir a adição de novas análises com facilidade. Portanto, para não deixar a tabela “medicoes\_oe” crescer infinitamente, criou-se uma tabela chamada “backup\_medicoes\_oe” para armazenar medições antigas e excluí-las da tabela primária através de um evento diário. O código do evento de *backup* é mostrado a seguir.

#### BEGIN

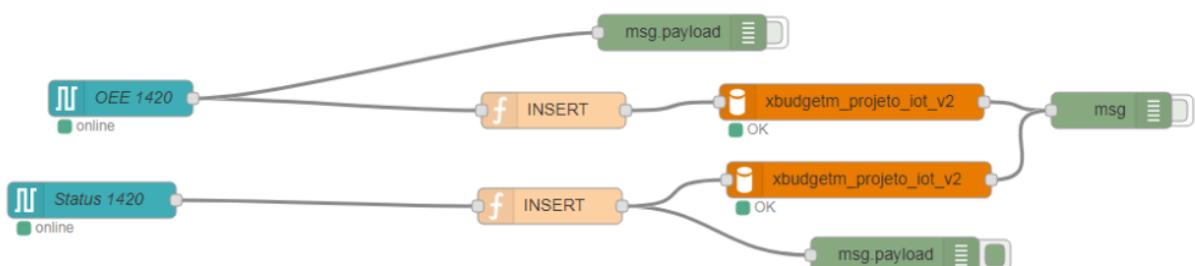
```
INSERT INTO backup_medicoes_oe
SELECT * FROM medicoes_oe
WHERE hora < SUBTIME(CURRENT_TIMESTAMP, '720:00:00');
DELETE FROM medicoes_oe
WHERE hora < SUBTIME(CURRENT_TIMESTAMP, '720:00:00');
```

#### END

## 6.3 - Coleta de Dados do Sistema

O programa para aquisição de dados feito com Node-RED e executado no IOT2040 é bastante parecido com aquele já testado no protótipo, mostrado na seção 6.1, porém agora são dois fluxos, como mostra a Figura 32 ilustrando o fluxo para a prensa identificada como 1420.

Figura 32 - Fluxo de Coleta de Dados do Sistema Para Uma Prensa



O fluxo superior na imagem coleta dados de velocidade a cada minuto, conforme feito no protótipo, enviando-os à tabela “medicoes\_oe” do banco de dados. Portanto, a variável é lida do CLP pelo nó de conexão S7 e seu valor é passado ao nó chamado “INSERT” que executa o código em linguagem javascript mostrado a seguir, passando ao nó do MySQL uma *string* contendo a *query* para inserção dos novos dados na tabela.

```
//Busca a data e hora do relógo interno
var today = new Date();
var y = today.getFullYear();
var m = today.getMonth()+ 1;
var d = today.getUTCDate();
var h = today.getHours();
var min = today.getMinutes();
var s = today.getSeconds();
// Constrói uma string com data e hora formatadas como YYYY-MM-DDHH:MM:SS
var time = y + "-" + m + "-" + d + " " + h + ":" + min + ":" + s;
var date = y + "-" + m + "-" + d;

// Constrói uma query SQL como uma string , insere uma nova tupla na tabela
msg.topic = "INSERT INTO medicoes_oe(bpm, data, hora, id Equipamento)
VALUES(" + msg.payload.Velocidade_Prensa_1 + "," + date + "," + time + ", 1420 );";
return msg;
```

O segundo fluxo é utilizado para coleta dos dados de monitoramento da prensa, que são corrente, contagem de batidas, velocidade e indicação de se a prensa está ligada, acontecendo a cada segundo. Neste caso a *query* não é para inserção, e sim para atualização, pois a tabela “status equip” mantém uma linha para cada equipamento, atualizada a cada segundo. O código do nó INSERT do segundo fluxo é mostrado a seguir.

```
msg.topic = "UPDATE status_equip SET hora = CURRENT_TIMESTAMP, contagem_prod
=" + msg.payload.Contador_de_batidas + ", velocidade
=" + msg.payload.Velocidade_prensa_1 + ", corrente = "+msg.payload.Corrente_motor+",
ligada = "+ msg.payload.Liga_prensa_1 + " WHERE id_equipamento = 1420;";

return msg;
```

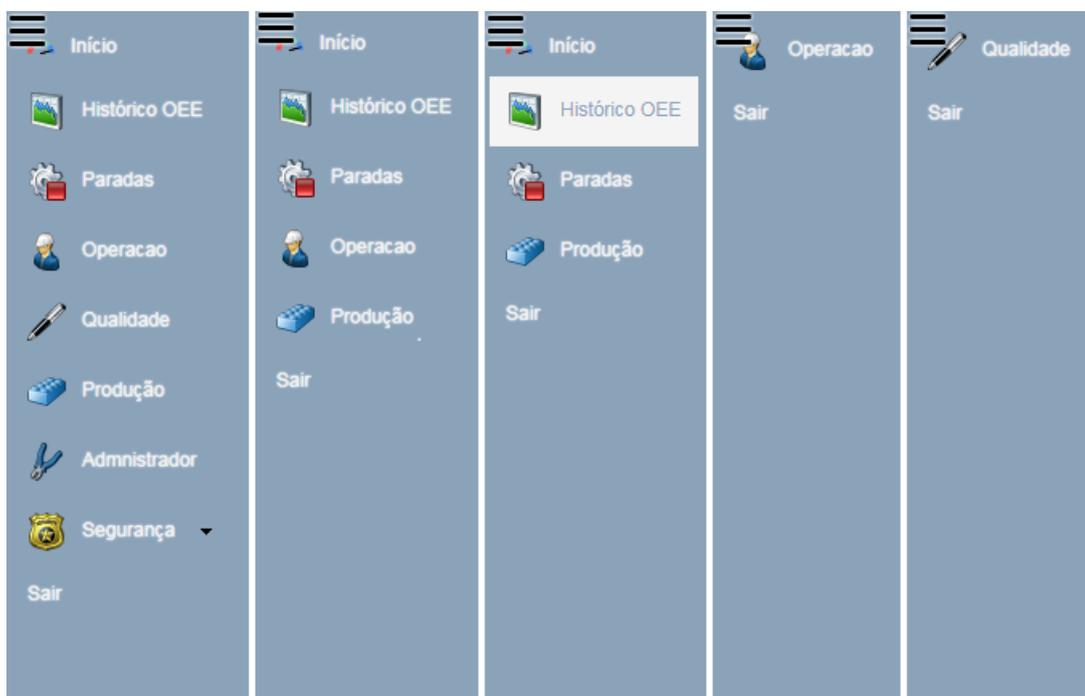
Os nós verdes da direita são para fins de debug.

## 6.4 - Aplicação Web do Sistema

Nesta seção serão apresentados os recursos desenvolvidos para a aplicação e disponibilizados aos usuários, através, principalmente, de imagens da interface gráfica.

A navegação está organizada, no primeiro nível, por um menu lateral dinâmico que varia seus itens dependendo do grupo do usuário que faz *login* no sistema, pois há diferentes permissões de acesso para operadores, funcionários do controle de qualidade, gerentes, monitores (telas de visualização) e administradores, atendendo a um dos requisitos não funcionais. A Figura 33 mostra as diferentes apresentações do menu dependendo do grupo do usuário, sendo da esquerda para a direita o menu dos grupos administrador, gerente, monitor, operador e qualidade.

Figura 33 - Diferenças do Menu Lateral em Função do Grupo do Usuário



Ao clicar em algum item do menu, o segundo nível da navegação é feito por abas, que por sua vez podem apresentar *dashboards*, gráficos, tabelas ou formulários. Esta construção da interface permite adicionar facilmente novas análises adicionando novas abas, atendendo a um dos requisitos de sistema.

Esta seção demonstrará a aplicação seguindo sua lógica de navegação, separando os itens do menu em subseções e detalhando cada aba dentro delas.

#### 6.4.1 - Início

A ideia deste item é de apresentar informações rápidas e de fácil visualização, para aparecer em uma tela exposta na sala de gerência.

##### 1) OEE (Gauge)

Esta aba, mostrada na Figura 34, apresenta um *gauge* grande indicando o OEE das prensas, cada uma representada por um ponteiro. Neste gráfico é possível selecionar para serem exibidos apenas os ponteiros desejados, a fim de comparar apenas algumas das prensas.

Apresenta também três *gauges* pequenos indicando os três eixos do cálculo de OEE, qualidade, produtividade e disponibilidade, ao lado dos índices referentes, que contém a comparação do indicador no mês atual em relação ao mês anterior.

O gráfico do tipo *gauge* não permite uma visualização clara dos valores, mas é muito bom para fazer comparação entre os equipamentos, pois é bastante visível quando um equipamento está tendo resultados um pouco diferenciados dos demais.

Figura 34 - Aba OEE (Gauge)



### 2) OEE (Barras)

Esta aba, mostrada na Figura 35, apresenta um *dashboard* bastante similar ao descrito acima, apenas mudando o tipo de gráfico de *gauge* para gráfico de barras com o objetivo de permitir uma melhor visualização dos dados.

Nestes gráficos cada barra representa uma prensa e os gráficos podem ser maximizados para melhorar a visualização.

Figura 35 - Aba OEE (Barras)



### 3) Maiores paradas

Esta aba apresenta uma tabela com as paradas de máquina dos últimos sete dias, ordenadas pela duração, da maior para a menor. Ela é mostrada na Figura 36.

Figura 36 - Maiores Paradas

Duração	Descrição	Categoria	Id Equipamento	Operador	Id Turno	Data
20	Travamento do martelo [ELETRONICA]	Eletrónica	1.420	Mateus	200	28/11/2017
2	Endretadeira [MECÁNICA]	Mecánica	1.420	Dean	200	28/11/2017
2	Carro bobina [MECÁNICA]	Mecánica	1.420	Mateus	100	29/11/2017

#### 6.4.2 - Histórico OEE

Neste item do menu ficam todas as análises históricas de OEE, atendendo o requisito funcional de converter informações em gráficos de OEE por equipamento, turno, operador e histórico. Também será visto que aqui é atendido outro requisito, o de filtrar informações de OEE em gráficos e tabelas por período, equipamento, operador, turno.

##### 1) OEE Turno

Esta aba apresenta um gráfico com o OEE no eixo vertical e unidades de tempo no eixo horizontal, que podem ser personalizadas. A Figura 37 mostra o gráfico de OEE por semanas do ano e representa cada turno por uma linha do gráfico. Já a Figura 38 faz a análise de OEE dos turnos por dia.

Há outras possibilidades de personalização dos eixos. Para o eixo vertical pode-se selecionar OEE, disponibilidade, produtividade ou qualidade. E para o eixo horizontal as possibilidades são trimestre, mês, semana do ano, data e dia da semana.

Há ainda a possibilidade de selecionar um período para análise, como pode ser visto na barra de ferramentas do gráfico da Figura 37. Outros recursos da barra de ferramentas são alterar o tipo do gráfico, fazer um resumo em forma de tabela, impressão e ordenação, além da personalização dos eixos já citada.

A aba ainda apresenta três índices que mostram o OEE de cada turno em relação ao mês anterior.

Figura 37 - Aba de histórico do OEE dos Turnos Mostrando no Gráfico o OEE por semana

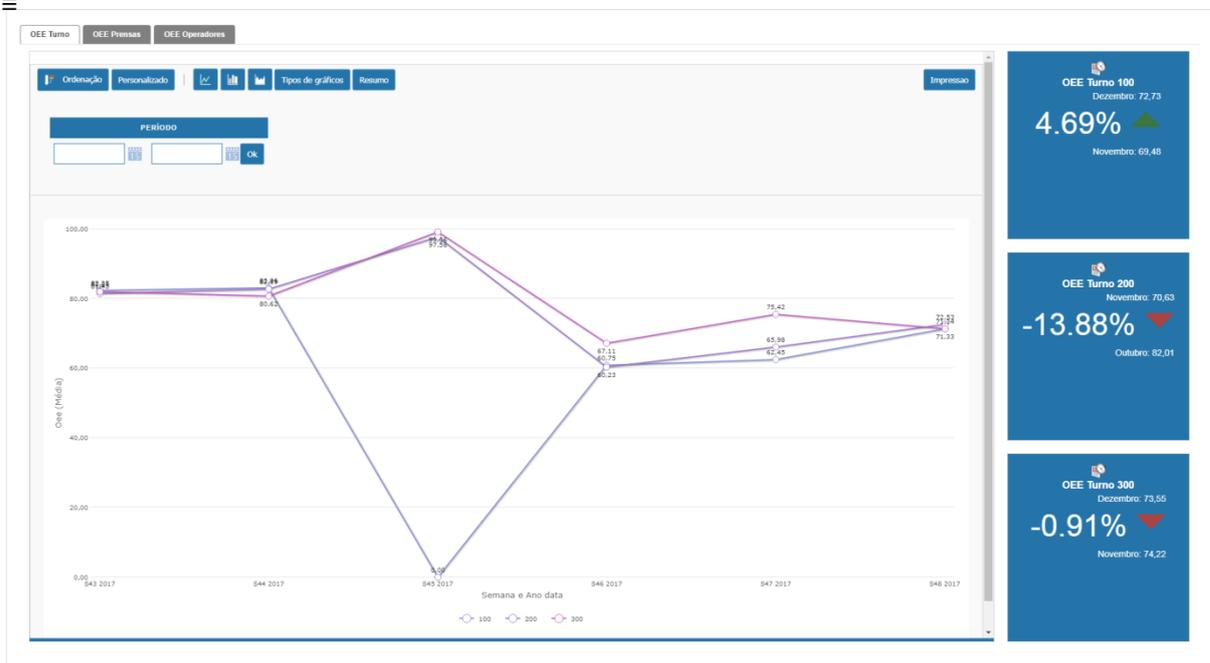
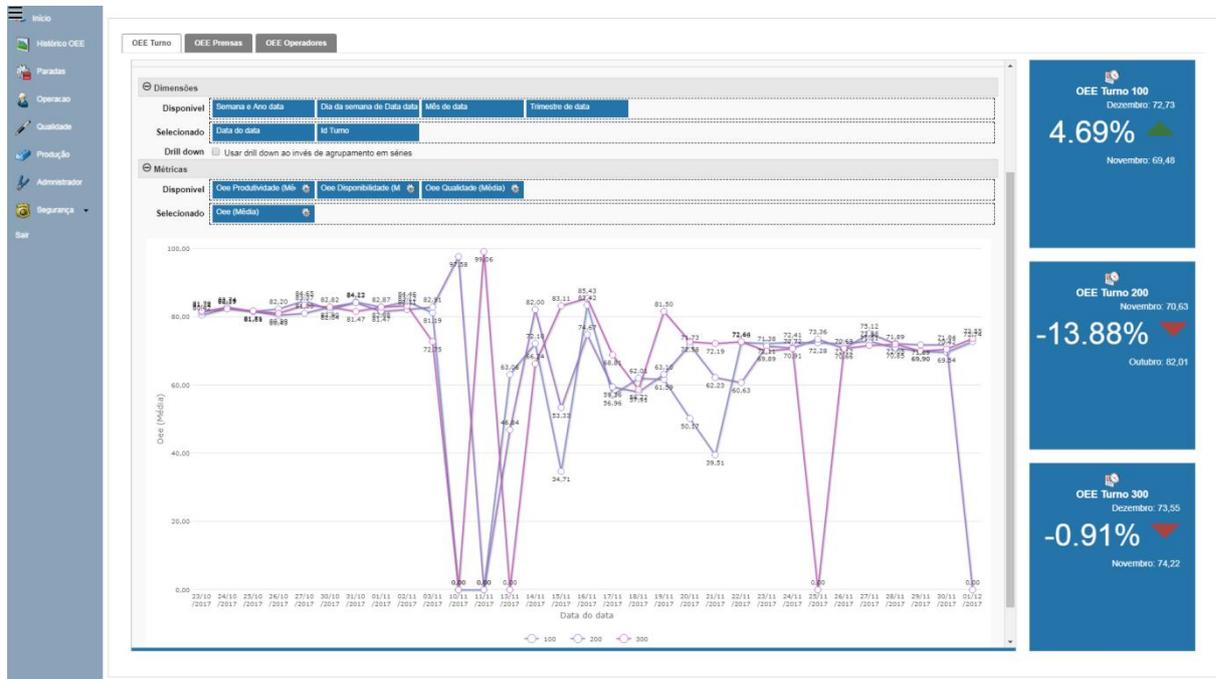


Figura 38 - Aba de Histórico de OEE dos Turnos Mostrando Recurso de Personalização do Gráfico



## 2) OEE Prensas

Nesta aba é feita uma análise histórica de cada uma das prensas utilizando um recurso disponibilizado pelo Scriptcase chamado *drilldown*, que nada mais é do que a navegação no gráfico para refinar a análise. A sequência de figuras a seguir vai ilustrar como é feita a análise utilizando o *drilldown*.

A Figura 39 mostra o gráfico no nível inicial, com as dez prensas do eixo horizontal e o OEE e suas três componentes no eixo vertical, portanto é possível fazer uma comparação entre as prensas neste nível. Contudo, ao clicar em alguma barra da prensa 1420 o gráfico da Figura 40 será carregado, mostrando os indicadores de OEE desta prensa em cada mês. Ao clicar no mês de novembro as métricas da prensa 1420 serão mostradas para cada dia do mês de novembro, conforme a Figura 41. E por fim, clicando-se em um dia os indicadores da prensa 1420 serão mostrados em relação aos turnos daquele dia, como mostra a Figura 42.

Este gráfico possui os mesmos recursos na barra de ferramentas do que o gráfico da aba OEE Turnos, porém com o recurso *drilldown* ativo, ao personalizar variáveis para o eixo horizontal o usuário está selecionando os níveis de navegação no gráfico. Como exemplo, no caso ilustrado acima as variáveis selecionadas para o eixo horizontal foram prensa, mês, dia e turno, nesta ordem.

Figura 39 - Gráfico Mostrando OEE, Disponibilidade, Produtividade e Qualidade das Prensas.

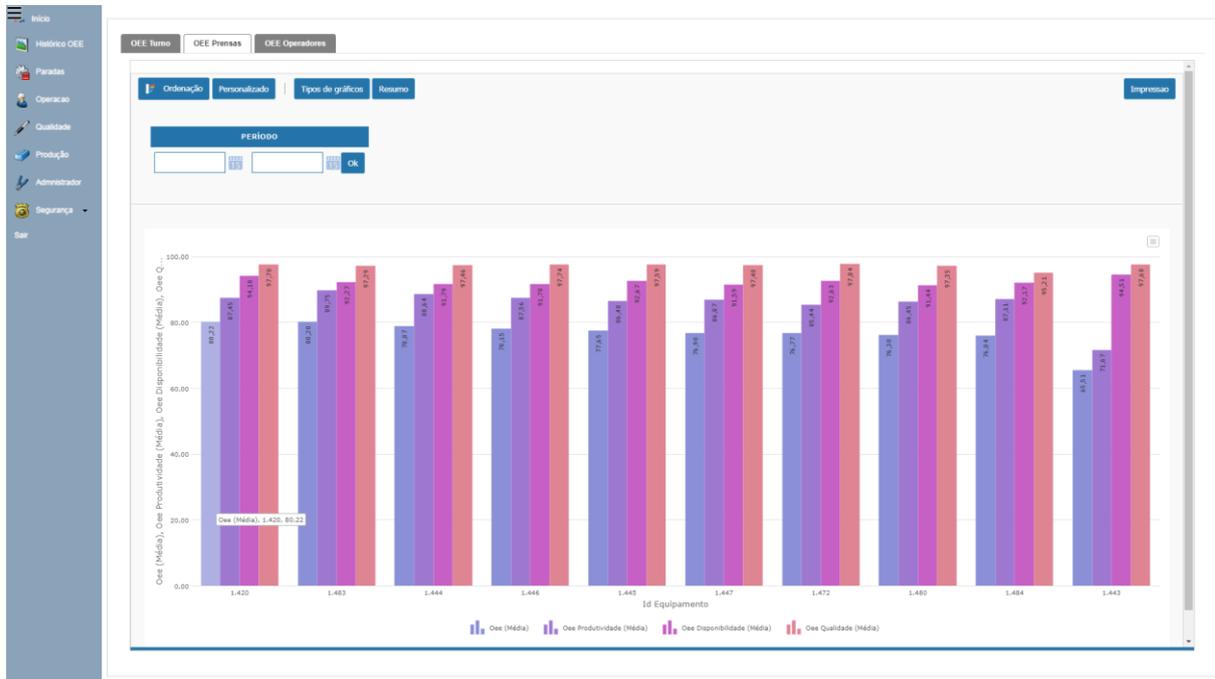


Figura 40 - Indicadores da Prensa 1420 Analisados por Mês

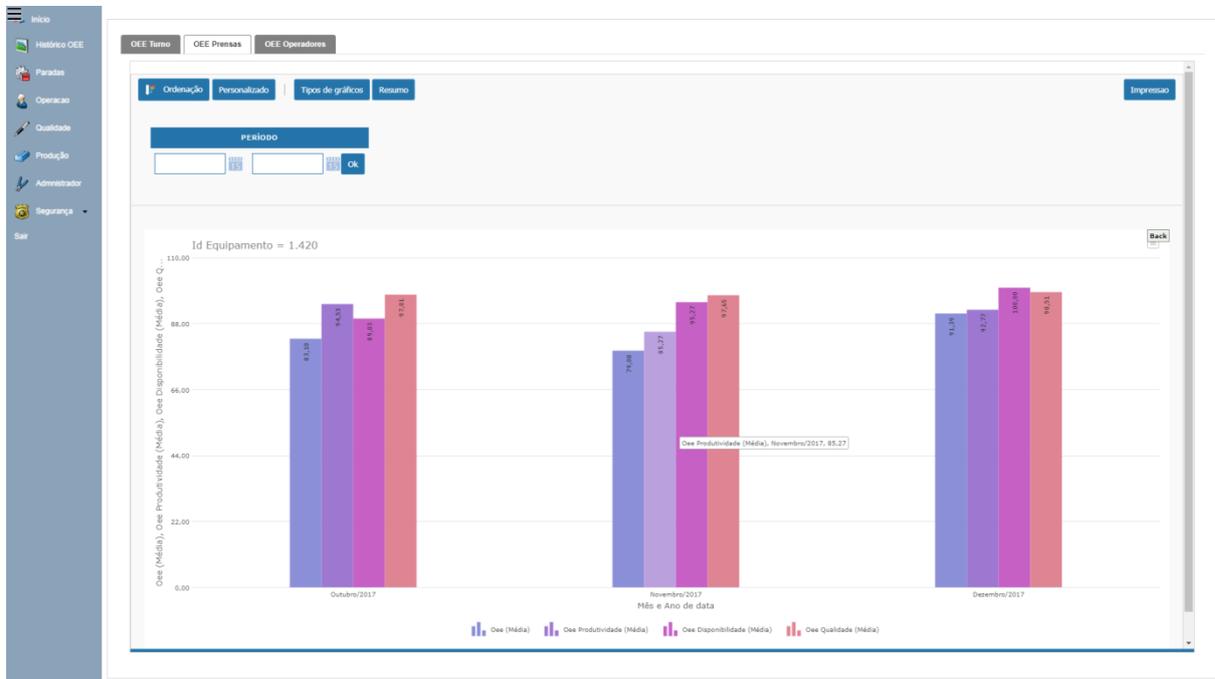


Figura 41 - Indicadores da Prensa 1420 Analizados por Dia do Mês de Novembro.

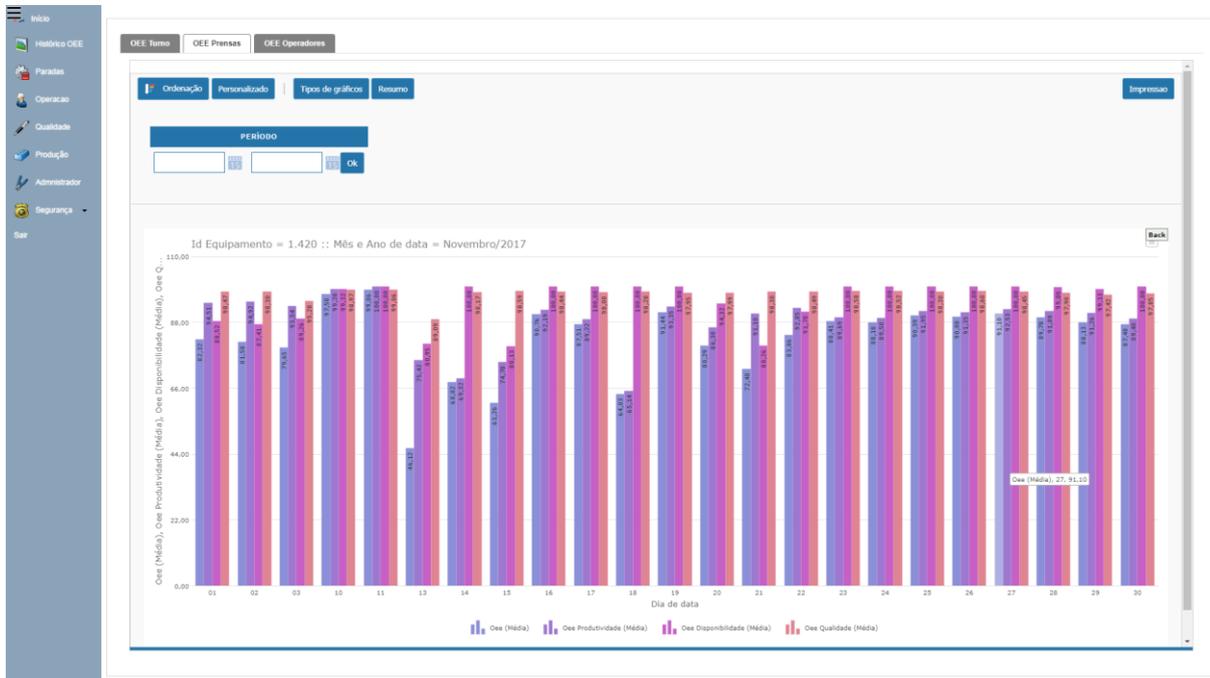
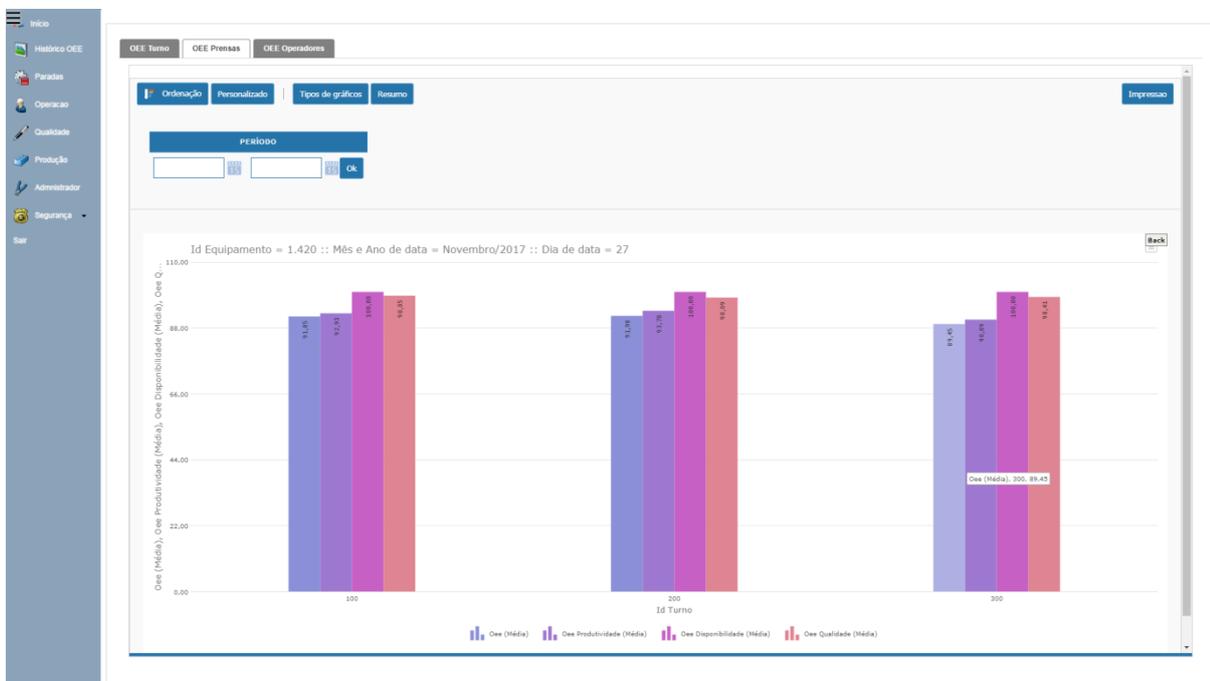


Figura 42 - Indicadores da Prensa 1420 por Turno do Dia 27 do Mês de Novembro.



### 3) OEE Operadores

A análise possibilitada nesta aba é bastante similar à da aba OEE Prensas, mostrada acima, porém o primeiro nível de navegação no gráfico tem no seu eixo horizontal os operadores das prensas.

Para determinar o OEE atingido por um operador a aplicação faz a média do OEE dos turnos que ele trabalhou. As Figuras 43, 44 e 45 mostram este gráfico e a sequência de navegação nele, usando o *drilldown*.

Figura 43 - Gráfico com OEE Alcançado por Cada Operador

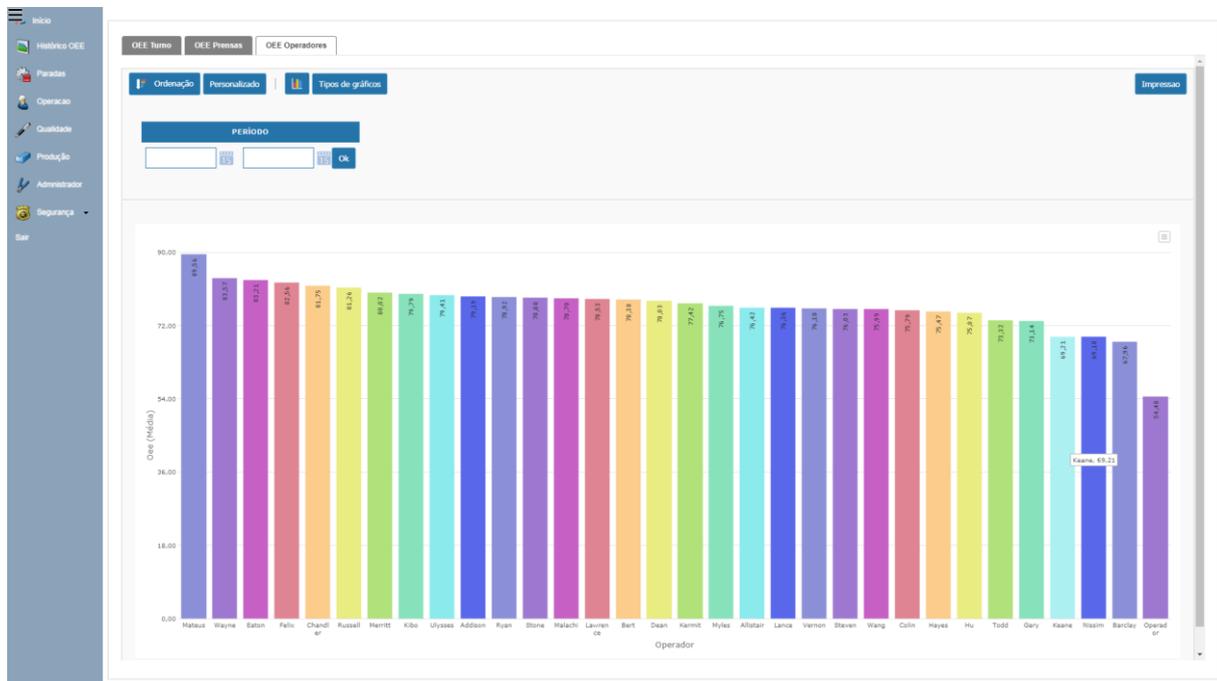


Figura 44 - Gráfico do OEE Alcançado Pelo Operador Keane em Cada Mês

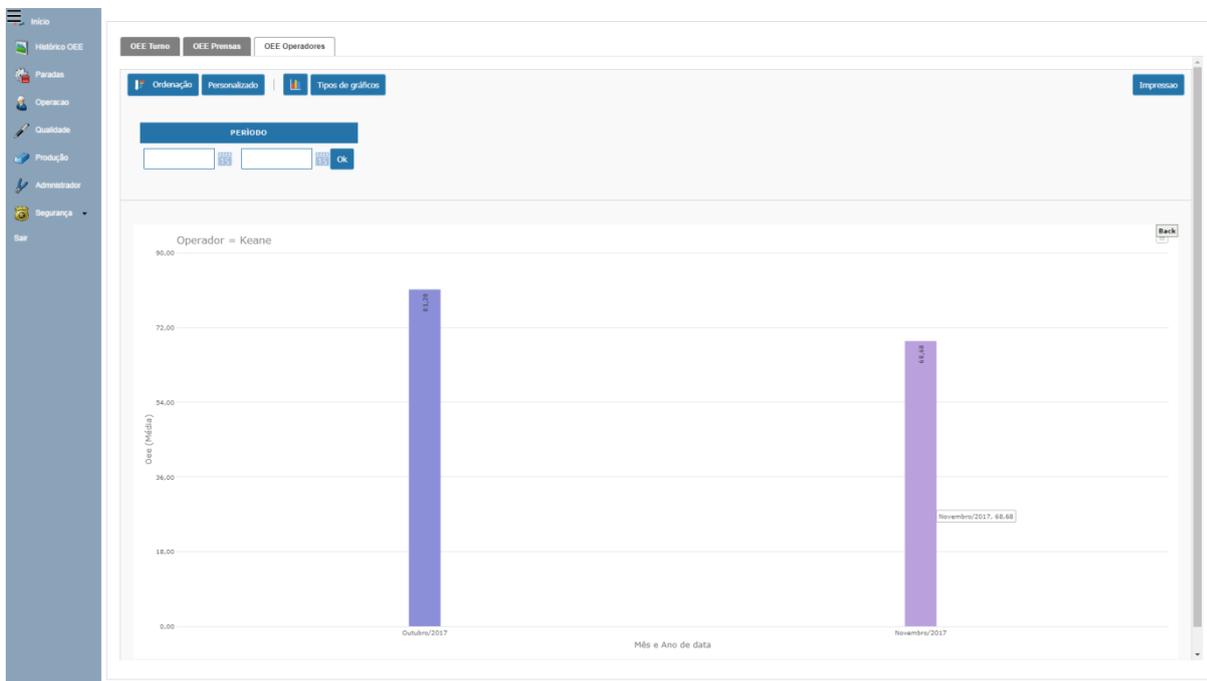


Figura 45 - Gráfico do OEE Alcançado Pelo Operador Keane em Cada Dia do Mês de Novembro



#### 4) OEE Hoje

Esta aba mostra a disponibilidade e a produtividade das prensas com medição automática em cada minuto do dia atual. A Figura 46 apresenta o primeiro nível do gráfico, onde disponibilidade e produtividade médias do dia são mostradas para cada prensa. Ao selecionar uma das prensas o gráfico mostra minuto a minuto, como na Figura 47.

*Figura 46 - Disponibilidade e Produtividade Médias no Dia Para as Prensas com Medição Automática*

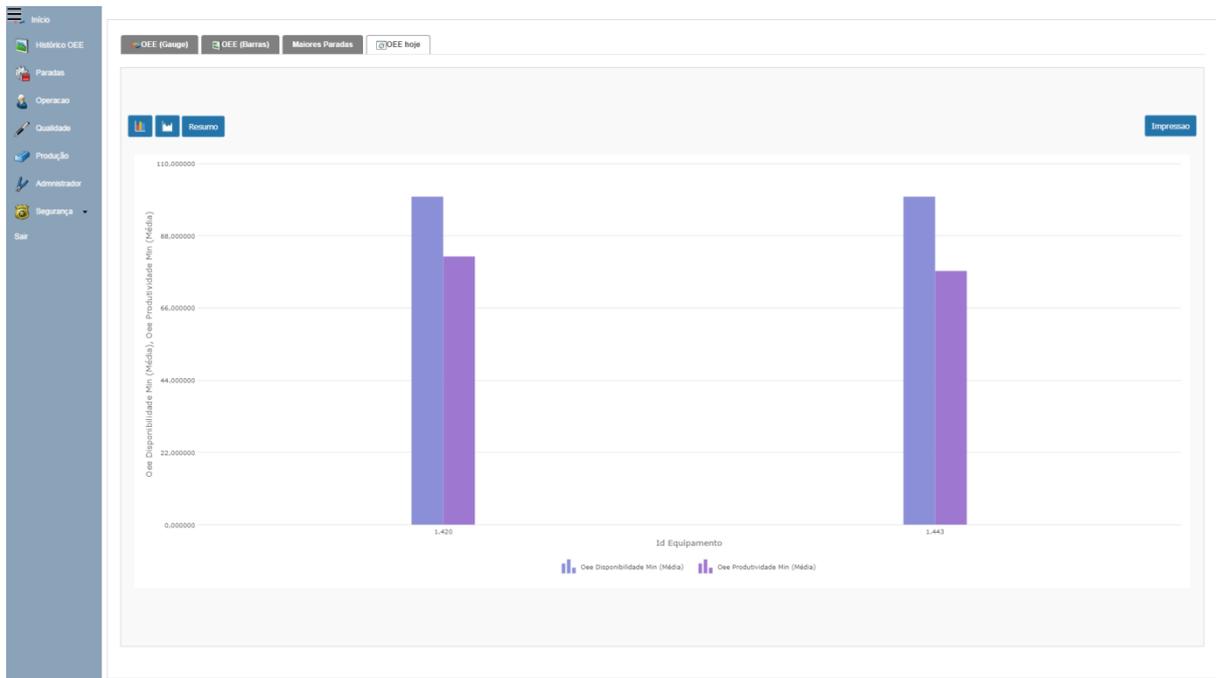




Figura 48 - Tabela com o Resultado dos Turnos

The screenshot shows a software interface with a sidebar on the left containing navigation icons for Inicio, Histórico OEE, Paradas, Operação, Qualidade, Produção, Administrador, and Segurança. The main area displays a table titled 'RESULTADOS DOS TURNOS' for the date 01/12/2017. The table has columns: Data, Equipamento, Turno, Nome, Peças Produzidas, Peças Reprovadas, Qualidade, Produtividade, Disponibilidade, and OEE. The table is filtered by 'Data' (01/12/2017) and 'Equipamento' (1.443). The table contains 20 rows of data. Above the table, there are buttons for 'Colunas', 'Ordenação', 'Quebras', 'Exportação', and 'Adicionar Resultados'. A search bar is also present.

Data	Equipamento	Turno	Nome	Peças Produzidas	Peças Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee
01/12/2017	1.443	100	Operador	90.885	500	99 %	54 %	100 %	53 %
01/12/2017	1.420	100	Mateus	154.494	1.000	99 %	92 %	100 %	91 %
01/12/2017	1.443	300	Operador	80.092	3.000	96 %	58 %	100 %	55 %
01/12/2017	1.420	300	Mateus	128.623	3.000	97 %	93 %	100 %	91 %
30/11/2017	1.443	200	Operador	96.426	3.000	96 %	57 %	100 %	55 %
30/11/2017	1.420	200	Mateus	150.426	3.000	98 %	89 %	100 %	87 %
30/11/2017	1.443	100	Operador	90.276	3.000	96 %	54 %	100 %	52 %
30/11/2017	1.420	100	Mateus	147.498	3.000	97 %	88 %	100 %	86 %
30/11/2017	1.443	300	Barclay	76.195	3.000	96 %	55 %	100 %	53 %
30/11/2017	1.420	300	Mateus	124.087	3.000	97 %	89 %	100 %	87 %
29/11/2017	1.443	200	Barclay	93.581	3.000	96 %	55 %	100 %	54 %
29/11/2017	1.420	200	Mateus	153.772	4.000	97 %	91 %	100 %	89 %
29/11/2017	1.443	100	Barclay	89.747	3.000	96 %	54 %	100 %	52 %
29/11/2017	1.420	100	Mateus	146.065	4.000	97 %	91 %	100 %	86 %
29/11/2017	1.443	300	Barclay	74.114	3.000	95 %	53 %	100 %	51 %
29/11/2017	1.420	300	Mateus	124.729	3.000	97 %	90 %	100 %	88 %
29/11/2017	1.443	200	Barclay	90.776	3.000	96 %	54 %	100 %	52 %
29/11/2017	1.420	200	Mateus	156.329	3.000	98 %	93 %	99 %	91 %
29/11/2017	1.443	100	Barclay	92.301	3.000	96 %	55 %	100 %	53 %
29/11/2017	1.420	100	Mateus	150.322	3.000	98 %	90 %	100 %	88 %
29/11/2017	1.443	300	Barclay	77.906	3.000	96 %	56 %	100 %	54 %
29/11/2017	1.420	300	Mateus	126.411	3.000	97 %	91 %	100 %	89 %
27/11/2017	1.443	200	Barclay	92.062	3.000	96 %	55 %	100 %	53 %
27/11/2017	1.420	200	Mateus	156.900	3.000	98 %	93 %	100 %	91 %
27/11/2017	1.443	100	Barclay	102.510	2.000	98 %	54 %	100 %	53 %

A Figura 48 também mostra que pode ser utilizado um filtro, localizado do lado esquerdo da tabela, para refinar a análise buscando os resultados de determinados meses, equipamentos, operadores ou turnos. Além disso, as opções na barra de ferramentas são de ocultar colunas, ordenar as linhas, quebras, exportação em formatos como PDF, DOC, XLS entre outros, e adicionar resultados de turno manualmente.

Pode-se notar que todas as tabelas têm a opção de serem exportadas e a maioria dos gráficos também tem, porém as opções do gráfico só aparecem ao passar o cursor do mouse sobre o botão, conforme Figura 45. Isso atende ao requisito funcional de exportar tabelas e gráficos para uso em relatórios.

As quebras são análises em formato de tabela que agrupam os registros relacionados a determinados objetos e neste caso duas delas foram elaboradas. Para ilustrar, a Figura 49 apresenta uma quebra que agrupa os dados por mês e por turno e a quebra da Figura 50 agrupa os registros por mês e equipamento.

É utilizando o botão “Adicionar Resultados” que se pode adicionar os dados das prensas que não possuem medição automática. Ao clicar neste botão o usuário é direcionado ao formulário da Figura 51, onde preenche os campos que são necessários para o cálculo de disponibilidade e produtividade. A taxa de qualidade e o OEE só são calculados mais tarde, quando o dado de peças reprovadas é

inserido. Este formulário de adição manual de resultados, mais o gatilho na inserção da tabela “resultado\_turno” mostrado no item 3 da seção 6.2.4 atendem parte do primeiro requisito não funcional, de permitir usar o sistema para analisar também as prensas sem aquisição automática de dados.

Figura 49 - Quebra dos Dados de Resultado dos Turnos por Mês e por Turno

Data	Equipamento	Turno	Nome	Pecas Produzidas	Pecas Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee
Mês e Ano de Data => Janeiro/2018									
Turno => 100									
03/01/2018	1.443	100	Operator	134.729	3.000	97 %	80 %	100 %	79 %
03/01/2018	1.420	100	Mateus	136.949	3.000	97 %	82 %	100 %	80 %
02/01/2018	1.443	100	Operator	89.847	3.000	98 %	100 %	100 %	97 %
01/01/2018	1.443	100	Operator	196.046	3.000	98 %	99 %	100 %	97 %
									88 %
Turno => 200									
03/01/2018	1.443	200	Operator	131.101	3.000	97 %	78 %	100 %	76 %
03/01/2018	1.420	200	Mateus	134.950	3.000	97 %	80 %	100 %	79 %
02/01/2018	1.443	200	Operator	89.825	3.000	98 %	83 %	100 %	80 %
02/01/2018	1.420	200	Mateus	88.162	3.000	96 %	80 %	100 %	77 %
01/01/2018	1.443	200	Operator	188.754	3.000	98 %	100 %	100 %	99 %
									82 %
Turno => 300									
04/01/2018	1.443	300	Operator	113.916	3.000	97 %	82 %	100 %	80 %
04/01/2018	1.420	300	Mateus	112.013	3.000	97 %	81 %	100 %	79 %
03/01/2018	1.443	300	Operator	110.982	3.000	97 %	80 %	100 %	78 %
03/01/2018	1.420	300	Mateus	104.635	3.000	97 %	76 %	100 %	74 %
02/01/2018	1.443	300	Operator	138.882	3.000	97 %	100 %	100 %	98 %
01/01/2018	1.443	300	Operator	134.676	3.000	97 %	98 %	100 %	96 %
									84 %
Mês e Ano de Data => Dezembro/2017									
Turno => 100									
Data	Equipamento	Turno	Nome	Pecas Produzidas	Pecas Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee

Figura 50- Quebra dos Dados de Resultado dos Turnos por Mês e por Prensa

**RESULTADOS DOS TURNOS** 04/01/2018

Busca rápida

Colunas Ordenação Quebras Exportação Adicionar Resultados Resumo

⊗ Mês e Ano de Data => 01/2018

⊗ Id Equipamento => 1.420

Data	Equipamento	Turno	Nome	Peças Produzidas	Peças Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee
04/01/2018	1.420	300	Mateus	112.013	3.000	97 %	81 %	100 %	79 %
03/01/2018	1.420	200	Mateus	134.950	3.000	97 %	80 %	100 %	79 %
03/01/2018	1.420	100	Mateus	136.049	3.000	97 %	82 %	100 %	80 %
03/01/2018	1.420	300	Mateus	104.636	3.000	97 %	78 %	100 %	74 %
02/01/2018	1.420	200	Mateus	88.182	3.000	98 %	80 %	100 %	77 %
									77 %

⊗ Id Equipamento => 1.443

Data	Equipamento	Turno	Nome	Peças Produzidas	Peças Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee
04/01/2018	1.443	300	Operador	113.616	3.000	97 %	82 %	100 %	80 %
03/01/2018	1.443	200	Operador	131.101	3.000	97 %	78 %	100 %	78 %
03/01/2018	1.443	100	Operador	134.729	3.000	97 %	80 %	100 %	78 %
03/01/2018	1.443	300	Operador	110.982	3.000	97 %	80 %	100 %	78 %
02/01/2018	1.443	200	Operador	89.825	3.000	98 %	83 %	100 %	80 %
02/01/2018	1.443	100	Operador	89.047	3.000	98 %	100 %	100 %	97 %
02/01/2018	1.443	300	Operador	138.882	3.000	97 %	100 %	100 %	98 %
01/01/2018	1.443	200	Operador	168.754	3.000	98 %	100 %	100 %	99 %
01/01/2018	1.443	100	Operador	166.046	3.000	98 %	99 %	100 %	97 %
01/01/2018	1.443	300	Operador	134.678	3.000	97 %	98 %	100 %	96 %
									88 %
									84 %

⊗ Mês e Ano de Data => 12/2017

⊗ Id Equipamento => 1.420

Data	Equipamento	Turno	Nome	Peças Produzidas	Peças Reprovadas	Qualidade	Produtividade	Disponibilidade	Oee
21/12/2017	1.420	300	Mateus	20.500	3.000	85 %	14 %	100 %	12 %

Figura 51 - Formulário Para Inserção de Dados das Prensas Que Não Possuem o Módulo de Medição Automática.

Produção Turnos Informações da Produção Ordens de Fabricação

Inserir Cancelar Voltar

	Data	Turno	Equipamento	Peças Produzidas	Operador
1	<input type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1420	100.000	2 - Todd
2	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1443	110.000	12 - Chandler
3	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1444	120.000	15 - Vernon
4	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1445		30 - Ulysses
5	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1447		25 - Ryan
6	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1472		5 - Kermit
7	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1480		28 - Nissim
8	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1483		9 - Kibo
9	<input checked="" type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1484		26 - Lawrence
10	<input type="checkbox"/> 01/12/2017	100	1420		1 - Dean

## 2) Informações da Produção

Nesta aba o gestor pode analisar uma tabela com dados da produção que são preenchidos pelos operadores ao fim de um turno ou lote. A Figura 52 mostra como é esta tabela.

Figura 52 - Tabela de Informações da Produção

Data	Turno	Equipamento	Quantidade Prod	Sucata Rotor	Sucata Estator	Oleo	Operador	Ordem De Fabricação
15/11/2017	200	1.443	50.000	3	3		Wayne	1
14/11/2017	200	1.420	90.000	2	2		Malachi	2
0000-00-00	100	1.420	100.000	5	4		Mateus	2

## 3) Ordens de Fabricação

Esta aba, mostrada na Figura 53 é usada pelo supervisor da produção para registrar as ordens de fabricação no sistema.

Figura 53 - Aba para Visualizar e Inserir Ordens de Fabricação

ID	Código	Pacote	Volume	Lamina	Peso Slitter	Tempo Horas	Inicio Programado	Fim Programado	Inicio Real	Fim Real	Status	Producao Realizada	Id Equipamento
2	213332029	EM28 48.0 E230 (C)	2.500	1133433008 e230c4iv8	12.500	10.5	24/11/2017 13:25:03	21/10/2017 00:01:00	20/10/2017 13:30:00	0000-00-00 00:00:00	1	190.000	1.445
1	213332029	EM28 48.0 E230 (C)	2.500	1133433008 e230c4iv8	12.500	10.5	27/11/2017 10:16:41	21/10/2017 00:01:00	20/10/2017 13:30:00	27/11/2017 10:16:41	0	50.002	1.445

#### 6.4.4 - Paradas

Este Item do menu apresenta os registros de paradas de máquina em forma de gráficos e uma tabela e atende ao requisito funcional de converter informações em gráficos de tempo e ocorrência de paradas das máquinas por categoria, equipamento, turno e operador. Também atende ao requisito de filtrar informações de OEE em gráficos e tabelas por período, equipamento, operador, turno.

A tela apresenta muitas abas, como pode ser visto na Figura 54, porém as análises são similares, então apenas três delas serão apresentadas com imagens e as outras serão explicadas apenas com texto.

##### 1) Duração/Paradas

O gráfico apresentado nesta aba estratifica a soma da duração das paradas registradas separando-as por categoria, como na Figura 54. Ademais, fazendo uso do *drilldown*, ao clicar em uma das categorias o usuário verá a duração das paradas daquela categoria separadas por causas, como na Figura 55, em que a categoria “mecânica” foi selecionada.

A aba Ocorrência/Paradas faz a mesma análise, porém medindo a quantidade de paradas, ao invés da duração.

Todos os gráficos deste item do menu permitem filtrar os dados por um período em dias, conforme mostram as imagens a seguir.

Figura 54 - Gráfico de Paradas por Categoria

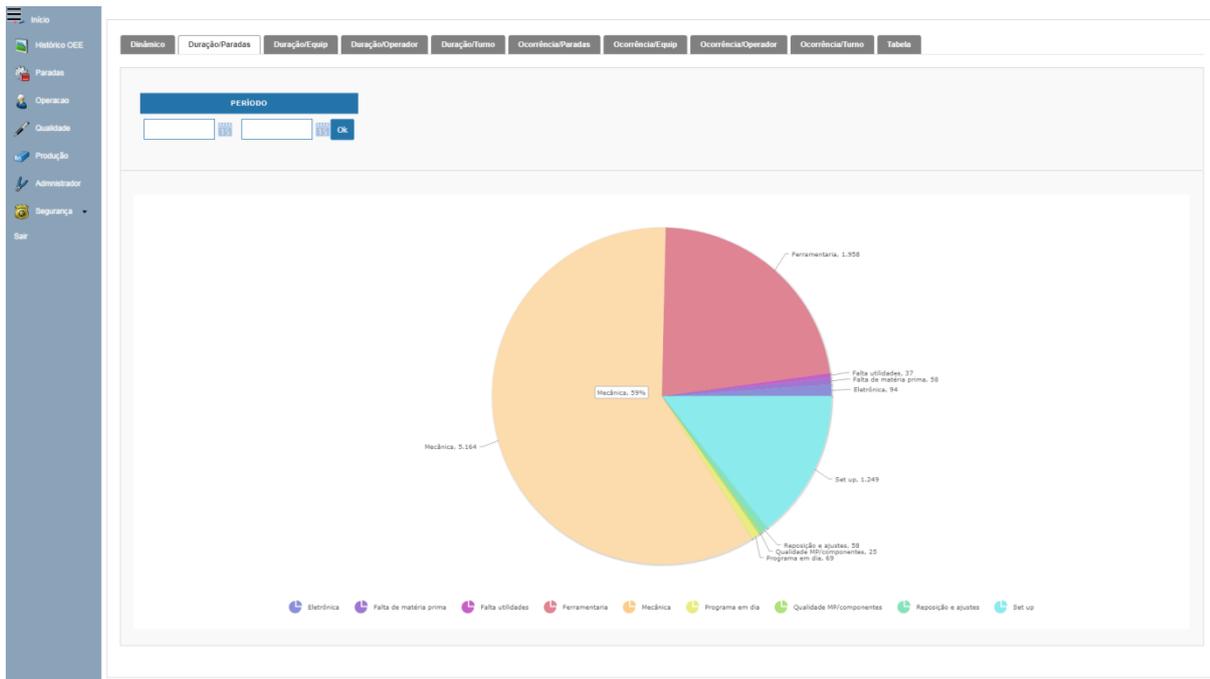
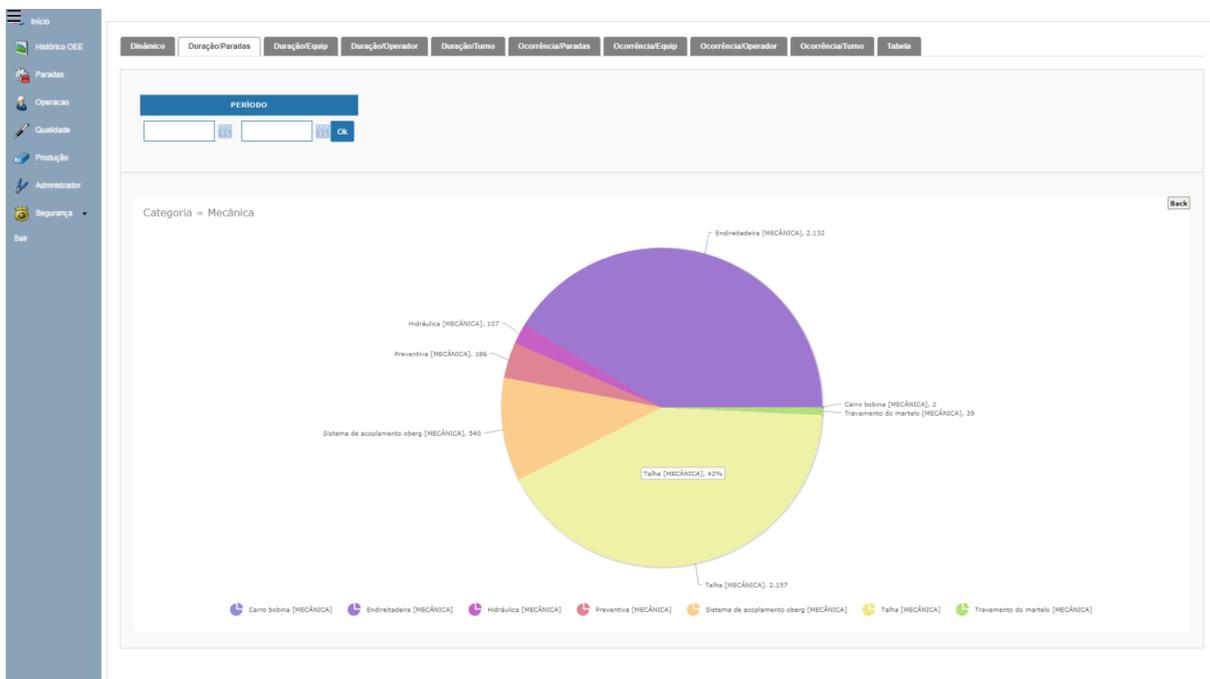


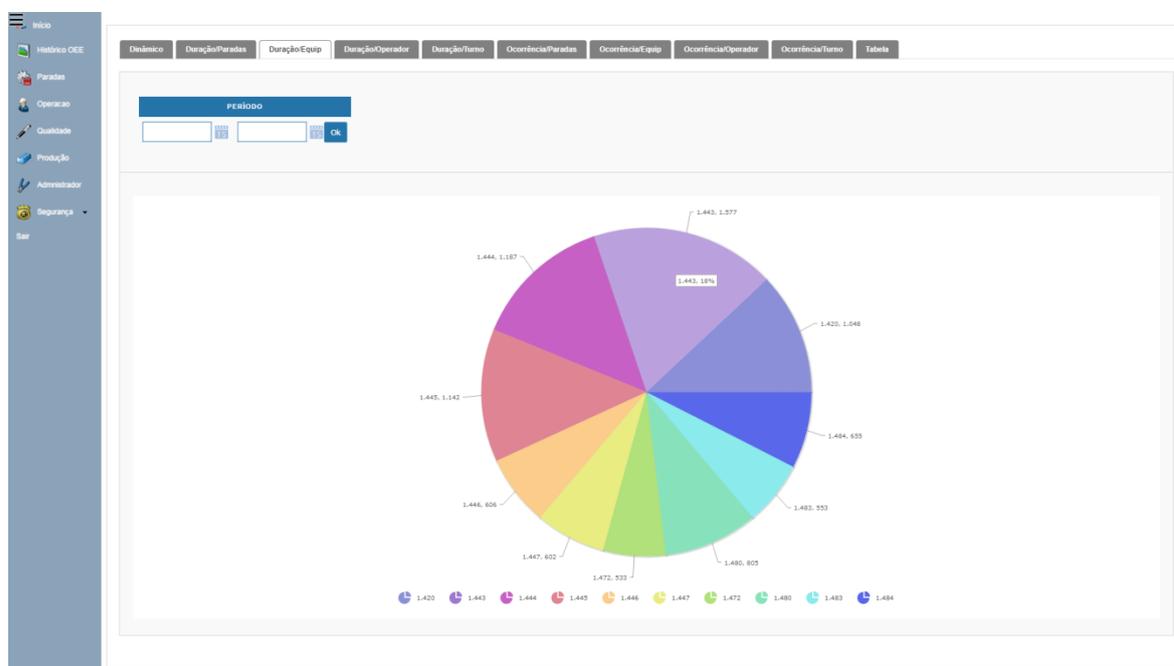
Figura 55 - Gráfico com as Paradas da Categoria "Mecânica" Separadas Pelas Causas



## 2) Duração/Equip

Esta aba apresenta um gráfico parecido com o citado no item acima, porem no primeiro nível da navegação no gráfico ela mostra a soma da duração das paradas estratificada por prensa, ou seja, quantos minutos cada prensa ficou parada. No segundo nível o gráfico mostra a soma da duração das paradas da prensa selecionada separada por categoria, e no terceiro nível, separada por motivo dentro da categoria selecionada. A Figura 56 mostra o primeiro nível do gráfico.

Figura 56 - Gráfico Mostrando o Tempo de Paradas Pelas Prensas



## 3) Tabela

Esta aba apresenta uma planilha com os registros da tabela “paradas” do banco de dados, que são as paradas registradas. Ela possui um filtro para refinar a análise, do lado esquerdo, e a possibilidade de exportação para os formatos mais comuns como mostrado na Figura 57.

Figura 57 - Tabela de Paradas Registradas

Data	Turno	Id Equipamento	Duração	Categoria	Exportação	Código	Descrição	Nome
29/11/2017	100	1.420	2	Mecânica	PDF	A11	Carro bobina [MECÂNICA]	Mateus
28/11/2017	200	1.420	20	Elétrica	XML	I9	Tratamento do martelo [ELETROCNICA]	Mateus
28/11/2017	200	1.420	2	Mecânica	CSV	A2	Endretadeira [MECÂNICA]	Dean
27/11/2017	100	1.443	24	Elétrica	RTF	I5	Esteira copack [ELETROCNICA]	Keane
16/11/2017	100	1.446	92	Mecânica		A25	Preventiva [MECÂNICA]	Lance
16/11/2017	100	1.446	93	Mecânica		A25	Preventiva [MECÂNICA]	Lance
10/11/2017	100	1.484	58	Falta de matéria prima		E2	Falta de siller cortado	Wang
10/11/2017	100	1.483	69	Programa em dia		X2	Reunão não Planejada	Wang
10/11/2017	100	1.480	37	Falta utilidades		O3	Falta de utilidades (ar, agua, energia e vapor)	Lance
10/11/2017	100	1.472	39	Mecânica		A13	Tratamento do martelo [MECÂNICA]	Steven
10/11/2017	100	1.447	42	Reposição e ajustes		D2	Ajuste - Sensor penetração	Wayne
10/11/2017	100	1.446	76	Set up		C2	Programado (troca de tipo)	Felix
10/11/2017	100	1.445	36	Mecânica		A2	Endretadeira [MECÂNICA]	Stone
10/11/2017	100	1.444	16	Reposição e ajustes		D8	Ajuste - Regulagem planicidade	Lawrence
10/11/2017	100	1.443	50	Elétrica		I13	Lubrificação [ELETROCNICA]	Colin
10/11/2017	100	1.420	47	Mecânica		A21	Hidráulica [MECÂNICA]	Malachi
09/11/2017	100	1.445	60	Mecânica		A21	Hidráulica [MECÂNICA]	Chandler
23/11/2017	300	1.446	25	Qualidade MP/Componentes		N4	Sillers com óleo	Keane
24/10/2017	100	1.445	60	Ferramentaria		b2	Falta de ferramenta	Chandler
24/10/2017	100	1.444	60	Mecânica		a2	Endretadeira [MECÂNICA]	Merritt

#### 4) Outras Abas

As abas que tem “duração” no título têm como métrica a soma dos tempos de parada, e as que tem “ocorrência”, tem como métrica a quantidade de paradas.

Todas as abas, menos a “tabela”, estratificam as paradas por categoria e por motivo dentro da categoria. A mudança de uma aba para a outra é o primeiro nível do *drilldown*. Como no item 2, que o primeiro nível separa as paradas pelas prensas, as abas com “operador” no nome, separam primeiramente por operador, e consequentemente, as abas com “turno” no nome, separam as paradas por turno.

A aba “Dinâmico” permite fazer todas as análises das outras abas com gráficos, em um só, utilizando o recurso de personalizar os eixos do gráfico.

#### 6.4.5 - Operação

Este item do menu é o ambiente dos operadores, o único que eles tem acesso, através de seus *tablets*. Mas a gerência também tem acesso.

Ao entrar nesta página o usuário verá a tela da Figura 58, para selecionar uma das prensas ( ou equipamento, em outras aplicações).

Figura 58 - Tela de Seleção da Prensa



### 1) Aba de monitoramento

Após selecionar a prensa a janela de monitoramento desta abrirá. Como mostrado na Figura 59, ela apresenta dois *gauges* e dois índices mostrando a velocidade da prensa e a corrente do motor principal, além de outro índice mostrando o contador de batidas. Isso atende ao requisito funcional de monitorar variáveis importantes para operação da máquina. Ainda, na parte de baixo tem uma tabela com as paradas registradas para esta prensa.

É necessário recordar que o banco de dados detecta e armazena as paradas de máquina analisando os dados vindos do IOT2040. Portanto estas paradas aparecem na tabela com o motivo “Não informado” e é papel do operador editar este registro, clicando no ícone de lápis no lado esquerdo da linha, indicando o motivo como na Figura 60. Nos casos em que não há a medição automática, existe um botão para abrir um formulário de registro de parada, atendendo parte do primeiro requisito não funcional, porém nesses casos a precisão dos dados inseridos depende do operador, como era antes do sistema.

Figura 59 - Tela de Monitoramento de Prensa

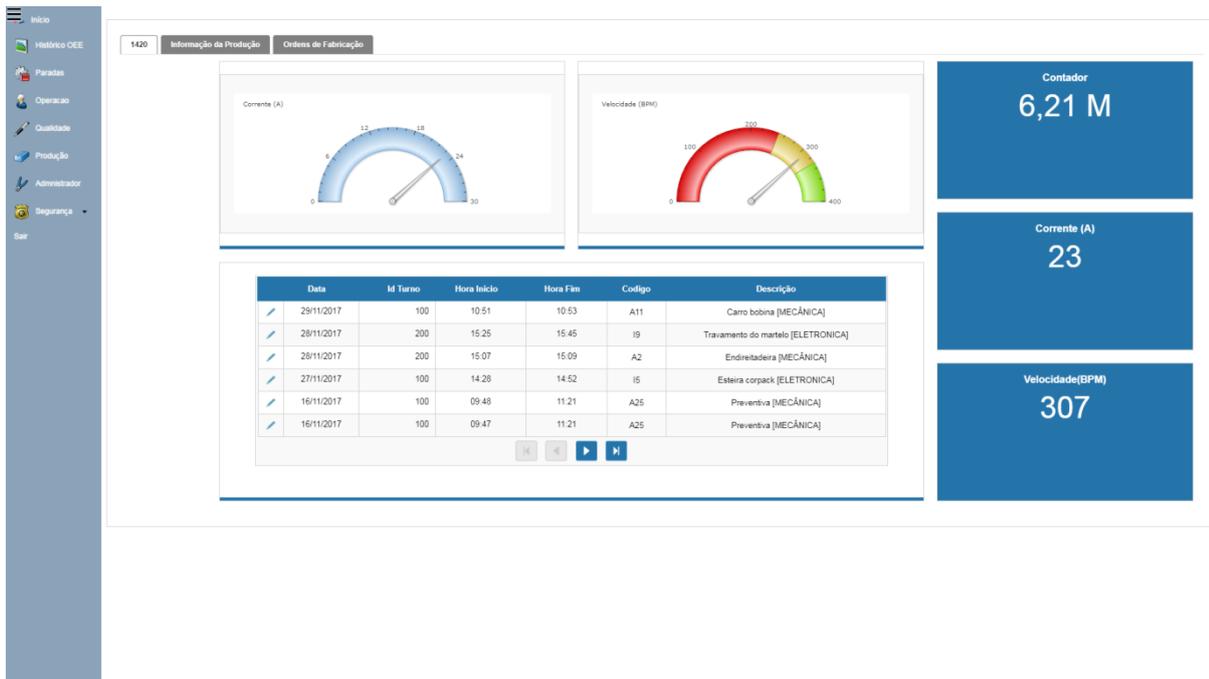
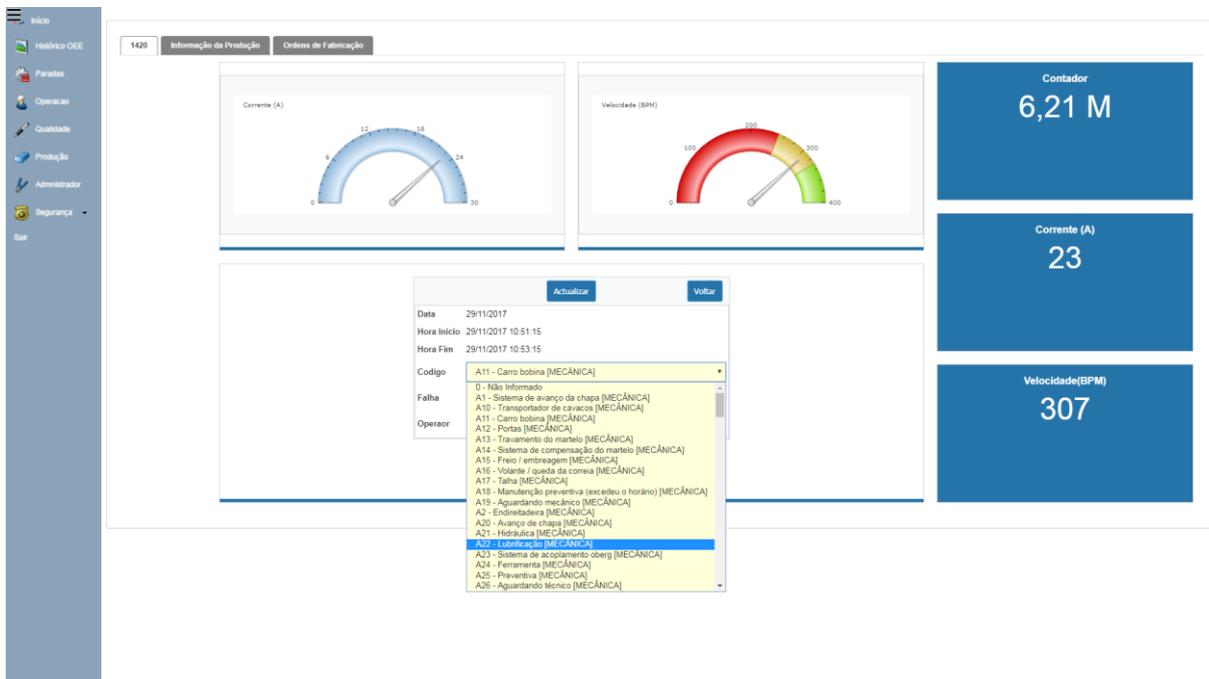


Figura 60 - Formulário Para Informação do Motivo da Parada



## 2) Informações da produção

É nesta aba que os operadores informam dados sobre a produção ao fim do turno ou do lote, para posterior visualização dos gestores no item “Produção” do menu.

## 3) Ordens de Fabricação

Nesta aba os operadores podem visualizar a programação de produção que foi inserida pelos supervisores, para saber quais lotes já foram produzidos, qual está em produção e os futuros.

### 6.4.6 - Qualidade

Este item do menu apresenta apenas uma aba com o formulário para entrar as quantidades de peças defeituosas produzidas por cada prensa em cada turno. Aqui o funcionário do setor de qualidade atualiza os registros da tabela “resultado\_turno” do banco de dados, que já foram gravados automaticamente ou manualmente, e só então a taxa de qualidade e o OEE são calculados. A Figura 61 mostra o formulário.

*Figura 61 - Formulário Para Informação da Quantidade de Peças Reprovadas de Cada Turno*

	Peças Reprovadas	Peças Produzidas	Data	Turno	Equipamento
1	<input type="text"/>	90.885	01/12/2017	100	1443
2	<input type="text"/>	154.494	01/12/2017	100	1420
3	<input type="text" value="3.000"/>	80.092	01/12/2017	300	1443
4	<input type="text" value="3.000"/>	128.823	01/12/2017	300	1420
5	<input type="text" value="3.000"/>	96.426	30/11/2017	200	1443
6	<input type="text" value="3.000"/>	150.426	30/11/2017	200	1420
7	<input type="text" value="3.000"/>	90.276	30/11/2017	100	1443
8	<input type="text" value="3.000"/>	147.496	30/11/2017	100	1420
9	<input type="text" value="3.000"/>	76.195	30/11/2017	300	1443
10	<input type="text" value="3.000"/>	124.087	30/11/2017	300	1420

#### 6.4.7 - Administrador

Neste item do menu é feita a manutenção do sistema através de tabelas e formulários da interface gráfica, permitindo ações como adicionar, modificar ou excluir turnos, equipamentos, operadores e motivos de parada de máquina, atendendo um dos requisitos de sistema: permitir a ampliação do sistema para atender mais máquinas.



## 7 RESULTADOS

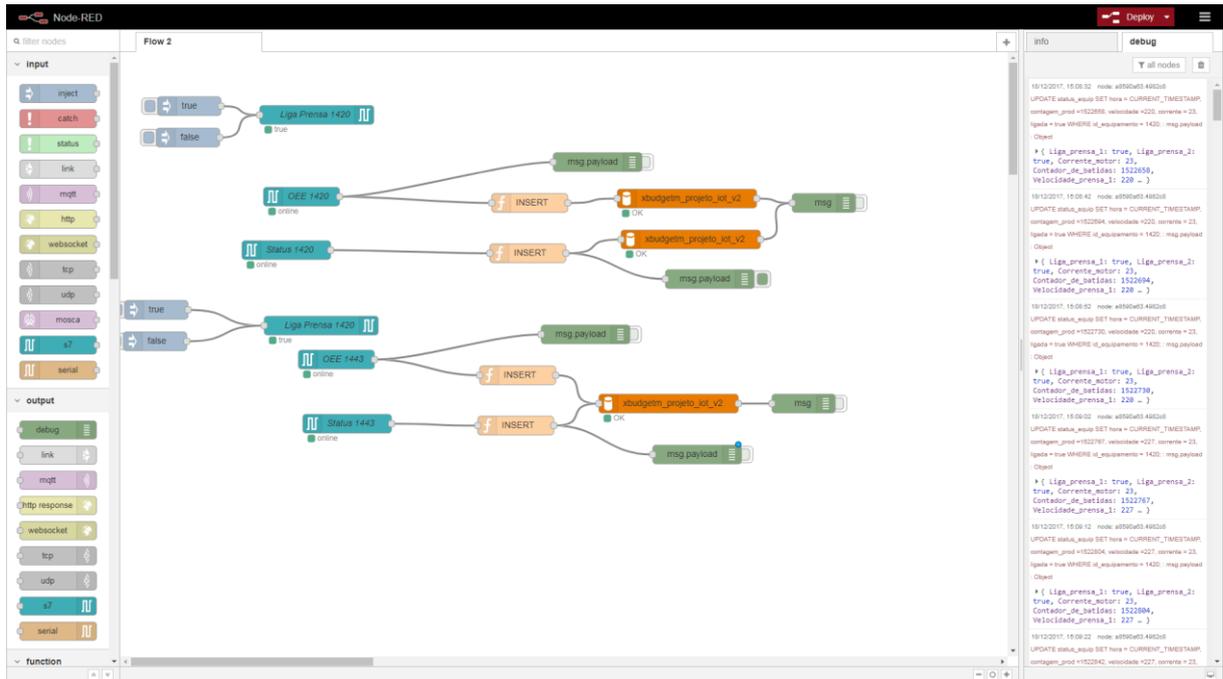
Para testar o sistema o autor deste trabalho contou com a ajuda de um colega que desenvolveu um programa para o CLP do laboratório que emula o comportamento de duas prensas, utilizando a ferramenta TIA Portal da Siemens. Este programa gera valores para simular a corrente do motor da prensa, a velocidade, com variações pequenas a cada minuto e variações grandes a cada hora, um contador de batidas que leva em conta a velocidade da prensa, além das possibilidades de ligar e desligar a prensa, para simular paradas, e zerar o contador. A Figura 62 mostra as variáveis do programa e seus endereços de memória.

*Figura 62 - Variáveis do Programa de CLP que Emula o Comportamento de Uma Prensa*

Name	Data type	Offset	Start value	Snapshot	Monitor v...
1	Static				
2	Velocidade Prensa_1	Int	0.0	0	330
3	Erro_min_prensa_1	Int	2.0	0	2
4	Erro_hora_prensa_1	Int	4.0	0	20
5	Corrente Motor Prens...	Int	6.0	0	0
6	Batidas_Prensa_1	Dint	8.0	0	0
7	Velocidade	Int	12.0	0	0
8	Velocidade Prensa_2	Int	14.0	0	330
9	Erro_min_prensa_2	Int	16.0	0	2
10	Erro_hora_prensa_2	Int	18.0	0	20
11	Corrente Motor Prens...	Int	20.0	0	0
12	Batidas_Prensa_2	Dint	22.0	0	0
13	Velocidade_2	Int	26.0	0	0

Para coletar os dados das prensas emuladas no CLP o programa do IOT2040 utilizando o Node-RED é este mostrado na Figura 63. Onde os fluxos pequenos servem para ligar e desligar as prensas e os fluxos grandes são de coleta de dados.

Figura 63 - Programa do IOT2040 Para Coletar Dados das Duas Pressas Emuladas



A configuração dos nós de conexão S7 é feita como mostra a Figura 64, enquanto que a declaração das variáveis a serem lidas deve conter o tipo e endereço, conforme mostra a Figura 65.

Figura 64 - Configuração da Conexão do IOT2040 com o CLP S7 - 1200

s7 in > Edit s7 endpoint node

Delete Cancel Update

---

**Connection** Variables

IP Address  Port

Mode

Rack  Slot

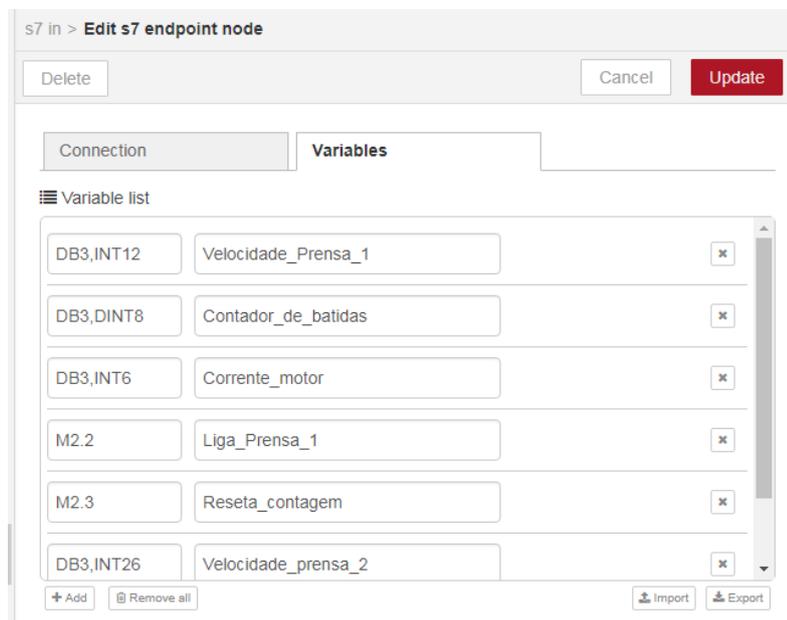
Cycle time  ms

Timeout  ms

Debug

Name

*Figura 65 - Declaração das Variáveis a Serem Lidas Pelo Nó de Conexão S7 no Node-RED*



O resto do sistema é como já foi mostrado nas seções anteriores. Inclusive, as imagens da interface mostradas na seção anterior utilizam os dados obtidos no teste descrito acima, portanto para analisar visualmente os resultados deve-se rever as imagens da seção 6.4.

Durante os testes o sistema se mostrou bastante estável, com o IOT2040 coletando valores por semanas sem apresentar problemas.

A verificação da validade dos dados de monitoramento obtidos pôde ser feita comparando-se os dados gerados no programa do CLP através do TIA Portal com os valores lidos pelo IOT2040 através da interface do Node-RED, com os valores armazenados no banco de dados e os mostrados na interface web. Verificou-se que eles eram iguais em todos estes subsistemas.

Para os dados que são resultados de cálculos, como taxa de disponibilidade, taxa de produtividade, taxa de qualidade, OEE e outros, a verificação dos resultados foi feita comparando-se os dados armazenados no banco de dados e os resultados obtidos efetuando-se os cálculos “na mão”, utilizando uma calculadora ou comandos SQL no próprio MySQL.

A detecção automática de paradas de máquina foi testada simulando o desligamento e religamento das prensas simuladas através dos fluxos do Node-RED

já mostrados ou através do TIA Portal. O sistema respondeu bem aos testes, pois registrou todas as paradas, porém, como o ciclo de leitura é de um minuto, no pior caso o registro da parada pode ter um erro de praticamente um minuto na duração.

Durante o período de testes o autor do trabalho utilizou o sistema simulando o uso pelos usuários reais, como operadores e gerentes, observando os valores do monitoramento, preenchendo os motivos das paradas registradas, adicionando informações da produção, adicionando dados para cálculo de OEE das outras oito prensas que não estavam sendo simuladas, analisando gráficos, indicando o número de peças reprovadas etc. O sistema comportou-se como esperado, sem apresentar maiores problemas. No máximo de vez em quando um gráfico não carregou corretamente, porém ao atualizá-lo no navegador ele voltou ao normal.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo dedica-se a fazer uma síntese dos resultados obtidos com a solução desenvolvida, tanto em relação aos requisitos de projeto, como em relação aos objetivos do trabalho.

### 8.1 - Aos Requisitos de Projeto

Todos os requisitos funcionais foram atendidos pela solução final. Sobre os requisitos não funcionais, alguns deles são bastante relativos, portanto não é possível ter certeza absoluta se a solução os atendeu bem. Em termos gerais, os requisitos básicos do sistema eram:

- Construção de um sistema que permitisse a adição de novas análises com facilidade.
- O sistema deveria ser preparado para aceitar qualquer tipo de equipamento, não apenas prensas, como poucas alterações.

Para o primeiro buscou-se manter os dados brutos das medições minuto a minuto da tabela “medições\_oe”, inclusive fazendo *backup* deles, além dos outros dados, como de paradas, assim é possível fazer facilmente novas análises, porém elas ficam limitadas aos dados que são obtidos pelo sistema. Para fazer análises muito diferentes seria necessário coletar outros dados, o que acarretaria em um incremento no sistema, o que não é considerado fácil.

Para o segundo requisito, pode-se dizer que é muito difícil desenvolver um sistema totalmente genérico, ainda mais com o tempo disponível para o PFC e que se tratava de uma prova de conceito. Além disso, a Embraco esperava um sistema dedicado ao problema dela, portanto esta solução apresenta características que são específicas para aplicação em prensas, principalmente na parte de monitoramento de equipamentos. No entanto, as alterações necessárias para atender um caso que não seja de prensas não são tantas e são de baixa complexidade.

## 8.2 - Aos Objetivos do Trabalho

Em relação ao objetivo do trabalho, citado na introdução, considerou-se que a solução desenvolvida atende bem a necessidade de um sistema para obtenção do OEE, eliminando o trabalho dos supervisores de passar todos os dados anotados pelos operadores para a planilha eletrônica. Do ponto de vista de TI em si, isto também não era adequado, pois a planilha estava sendo utilizada como base de dados e já estava extremamente pesada, com mais de 130.000 linhas. Com a nova forma os gestores agora podem ter acesso a gráficos e tabelas mais sintetizados e com maior rapidez, já que o processamento da planilha era demorado e muitas das novas análises não estavam implementadas naquela planilha.

O operador teve sua folha de anotações substituída pelo *tablet*, podendo agora informar os motivos das paradas das máquinas e informações sobre a produção. Agora ele não anota mais a duração das paradas, pois o sistema detecta automaticamente, o que dá um ganho na precisão das informações e diminui o trabalho em anotação e transcrição destes dados para a planilha.

Outro item atendido é que os usuários podem monitorar as principais variáveis da prensa em uma interface gráfica com índices e *gauges*, na tela de operação do sistema. Ainda que seja o ambiente do operador, os gestores também podem acompanhar a situação atual da prensa.

O objetivo de desenvolver um sistema genérico, que atenda outros equipamentos que não prensas foi cumprido em parte, pois a parte de gestão da eficiência utilizando OEE atende qualquer equipamento de manufatura. Porém, na parte de monitoramento, é bastante difícil atender a qualquer aplicação, já que não se pode prever quais variáveis serão importantes nas próximas aplicações do sistema.

Quanto ao objetivo de atender todas as prensas, mesmo que a meta para a fase atual do programa Conexão Startup Indústria era desenvolver uma prova de conceito em uma prensa apenas foi plenamente atendido. O sistema permite que sejam avaliados, tanto equipamentos com o subsistema de aquisição de dados automático, quanto equipamentos que tem seus dados anotados pelo operador e inseridos manualmente. Portanto, o cenário que se constrói para implantação do sistema é de uma prensa com medição automática e as outras nove com coleta manual dos dados.

Na verdade são quatro as possibilidades imaginadas para a coleta dos dados, e todas podem ser utilizadas ao mesmo tempo em equipamentos diferentes, fazendo desta solução um sistema híbrido entre automático e manual:

- Usar apenas o sistema, sem coleta automática nem *tablets* para os operadores: este cenário seria a substituição da planilha eletrônica apenas, pois os dados ainda seriam coletados de forma manual nas fichas de papel e todo o trabalho de transcrição teria que ser feito, porém a planilha pesada e ineficiente seria abandonada.
- Usar o sistema sem coleta automática, mas com o *tablet*: este cenário permite que os operadores apontem diretamente no sistema as paradas de máquina, sem detecção automática. Assim, ao entrar com os valores de peças produzidas e peças reprovadas ao fim do turno as análises gerenciais estarão disponíveis. Este cenário diminui um pouco mais o trabalho para o supervisor, pois não é necessário transcrever os dados sobre paradas de máquina.
- Usar o sistema com coleta automática da velocidade através de um transmissor e o *tablet*: neste cenário a única variável medida na prensa seria a velocidade, o que permite fazer todos os cálculos de OEE e detectar as paradas, assim o único trabalho necessário é de o operador indicar o motivo das paradas de máquina no *tablet*. Por outro lado ainda não seria possível fazer o monitoramento de variáveis que não seja a velocidade.
- Usar o sistema com coleta automática da velocidade e outras variáveis para monitoramento, mais o *tablet*: este é o cenário da prensa principal atendida por este sistema. Ela foi retrofitada e está instrumentada para ser controlada pelo CLP. No caso em questão os dados são coletados do CLP, porém seria possível colocar um sensor para cada variável e modificar o programa do IOT2040 pra coletar os valores de cada sensor. Este cenário permite usar tudo que o sistema oferece, cálculo de OEE, análises gerenciais, monitoramento, detecção automática de paradas e elimina quase todo o trabalho de entrada manual de dados, restando apenas a tarefa do operador informar o motivo das paradas detectadas.

Em se tratando de uma prova de conceito entende-se que este conceito foi provado e a solução apresentou muito mais do que atender a especificação inicial do cliente, buscando elaborar uma ferramenta mais completa para atender todo o setor e com a possibilidade de ser aplicado em outros cenários, podendo tornar-se inclusive um produto ou um serviço da empresa GreyLogix Brasil.

Infelizmente não foi possível, no tempo de elaboração deste trabalho, implantar o sistema no cenário real na prática. Porém, o cenário criado em laboratório imita relativamente bem a aplicação real, pois nos dois casos a interface do sistema para coleta de dados é com um CLP S7 da Siemens e a comunicação ocorre na mesma forma, extraindo os valores de variáveis do CLP.

## REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, José Pedro Amorim Rodrigues da. **OEE – A Forma de Medir a Eficácia dos Equipamentos**, 2013.
- [2] PROENÇA, Edgar Telles de; TUBINO, Dalvio Ferrari. **Monitoramento Automático e em Tempo Real da Eficácia Global dos Equipamentos (OEE) Como Prática de Apoio à Manufatura Enxuta: Um Estudo de Caso**. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 30., 2010, São Carlos, SP. Florianópolis: UFSC, 2010.
- [3] MARQUES, Jefferson Rafael dos Santos; MELLO, Andrea Justino Ribeiro. **Perdas no Processo Produtivo: Um Estudo de Caso Numa Indústria de Laminados Plásticos**. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 33., 2013, Salvador, Ba. Rio de Janeiro: CEFET, 2013.
- [4] ANDRADE, Alex Junior Gonçalves de. **Desenvolvimento de Sistema Computacional para Avaliação de Desempenho de uma empresa de Mídia Programática**. 2017. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- [5] PINTELON, Liliane M-Y A; MUCHIRI, Peter Nganga. **Desempenho measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion**. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, 2008, 46 (13), pp.3517-3535.
- [6] NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Portland, OR: Productivity Press, Inc., 1988.
- [7] LESSHAMMAR, Patrik Jonsson Magnus. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems: the role of OEE. **International Journal Of Operations & Production Management**. [S.l], p. 55-78. 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/01443579910244223>>. Acesso em: 05 jan. 2018.
- [8] GROOTE, P. de. Maintenance performance analysis: a practical approach. **Journal Of Quality In Maintenance Engineering**. Ghent, p. 4-24. 1995.
- [9] LJUNGBERG, Örjan. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal Of Operations & Production Management**. Gothenburg, p. 495-507. 1998.
- [10] VON PRITZELWITZ, Philip. **Investigação do Desgaste de Feios e Embreagens em Prensas Mecânicas**. 2010. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

[11] SCHULER GMBH (Alemanha). **Metal Forming Handbook**. Berlin: Springer, 1998.

[12] MICHELS, Lucas Boeira et al. Uma visão geral sobre os equipamentos utilizados no processo de forjamento. **Revista Ferramental**, Ano VII, n° 49, Setembro/Outubro, 2013.

[13] Brito, Alberto Moreira Guerreiro et al. Processos de pré-formas na produção de forjados em matriz - **Revista Ferramental**, p.15 – 21, Janeiro/Fevereiro, 2009

[14] CRUZ, Ricardo Gil Padrão. **Sistemas de acionamento de precisão em prensas mecânicas**. 2012. 32 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

[15] CERNA, Paulo Cesar Flores. **Retrofitting de Uma Prensa Mecânica Excêntrica de Acionamento por Engate de Chaveta**. 2013. 29 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

[16] SOMMERVILLE, I. Engenharia de software. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

[17] BUSCHMANN, F. *et al.* Pattern-oriented software architecture. Chichester: Wiley, 1996.

[18] JOAQUIN, Ricardo Cezar. **Novas Tecnologias para Comunicação Entre o Chão de Fábrica e o Sistema Corporativo**. 2006. 34 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

[19] BRANDL, Dennis. **Business to Manufacturing (B2M) Collaboration Between Business and Manufacturing Using ISA-95**. Cary, NY. [2004].

[20] INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ISA 95.00.01- CDV3: Enterprise-Control System Integration: Part 1: Models and Terminology**. Durham: Isa, 2008.

[21] MARDEGAN, Ronaldo; AZEVEDO, Rodrigo Cambiaghi; OLIVEIRA, Prof. Dr. João Fernando Gomes de. **Os Benefícios da Coleta Automática de Dados do Chão-de-Fábrica Para o Processo de Negócio Gestão da Demanda**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. . São Carlos: Usp, 2002. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR14\\_0753.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR14_0753.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2018.

[22] SIEMENS. **Datasheet: 6ES7647-0AA00-1YA2, SIMATIC IOT2040, 2x 10/100 MBit/s Ethernet RJ45; 1x USB2.0, 1x USB-Client; SD-CARD-Slot; DC 24V Industrial power supply**. 2017.

[23] SIEMENS. **Product Datasheet: SIMATIC IOT2040**. 2016.

[24] SIEMENS. **SIMATIC IOT2020, SIMATIC IOT2040 Operating Instructions**. 2016.

[25] JS FOUNDATION. **Node-RED Documentation**. Disponível em: <<https://nodered.org/about/>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

[26] IBM Redbooks. **Building Smarter Planet Solutions with MQTT and IBM WebSphere MQ Telemetry**. [s.l.]: International Technical Support Organization, 2012.

[27] STOPPER, Markus; KATALINIC, Branko. **Service-oriented Architecture Design Aspects of OPC UA for Industrial Applications**. In: International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol II, 4. Hong Kong: International Association of Engineers, 2009.

[28] SCRIPTCASE. **Documentação Scriptcase**. Disponível em: <[http://www.scriptcase.com.br/aprendizagem/documentacao/pt\\_br/v9/manual/01-introducao/01-visao-geral/](http://www.scriptcase.com.br/aprendizagem/documentacao/pt_br/v9/manual/01-introducao/01-visao-geral/)>. Acesso em: 05 jan. 2018.



## APÊNDICE A – VERSÕES INTERMEDIÁRIAS DO BANCO DE DADOS

### A.1 - Primeira Versão

Na primeira versão da base de dados pensou-se em concentrar as informações nas ordens de fabricação, chamadas erroneamente de ordens de serviço no modelo entidade relacionamento (ER) da Figura 66 e no modelo lógico da Figura 67, calculando-se o OEE para os turnos e um indicador análogo ao OEE para as ordens de fabricação. Contudo, após a resposta de dúvidas sobre o processo, enviadas à Embraco, entendeu-se que não se faz uso de ordens de fabricação, apenas uma programação de produção indicando o modelo, quantidade e tempo previsto para fabricação em cada prensa, pois o produto do setor é para uso da própria Embraco, e não o produto final.

Figura 66 - Modelo Conceitual da Primeira Versão do Banco de Dados

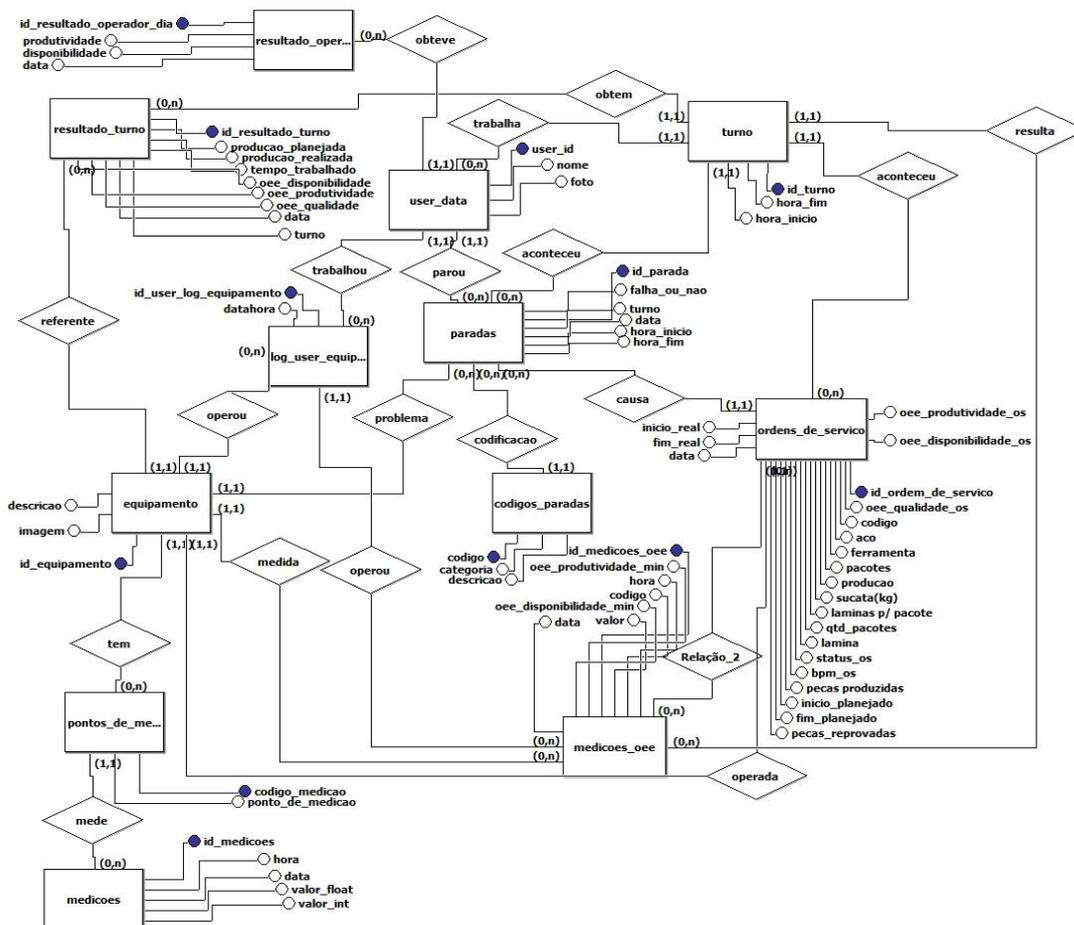
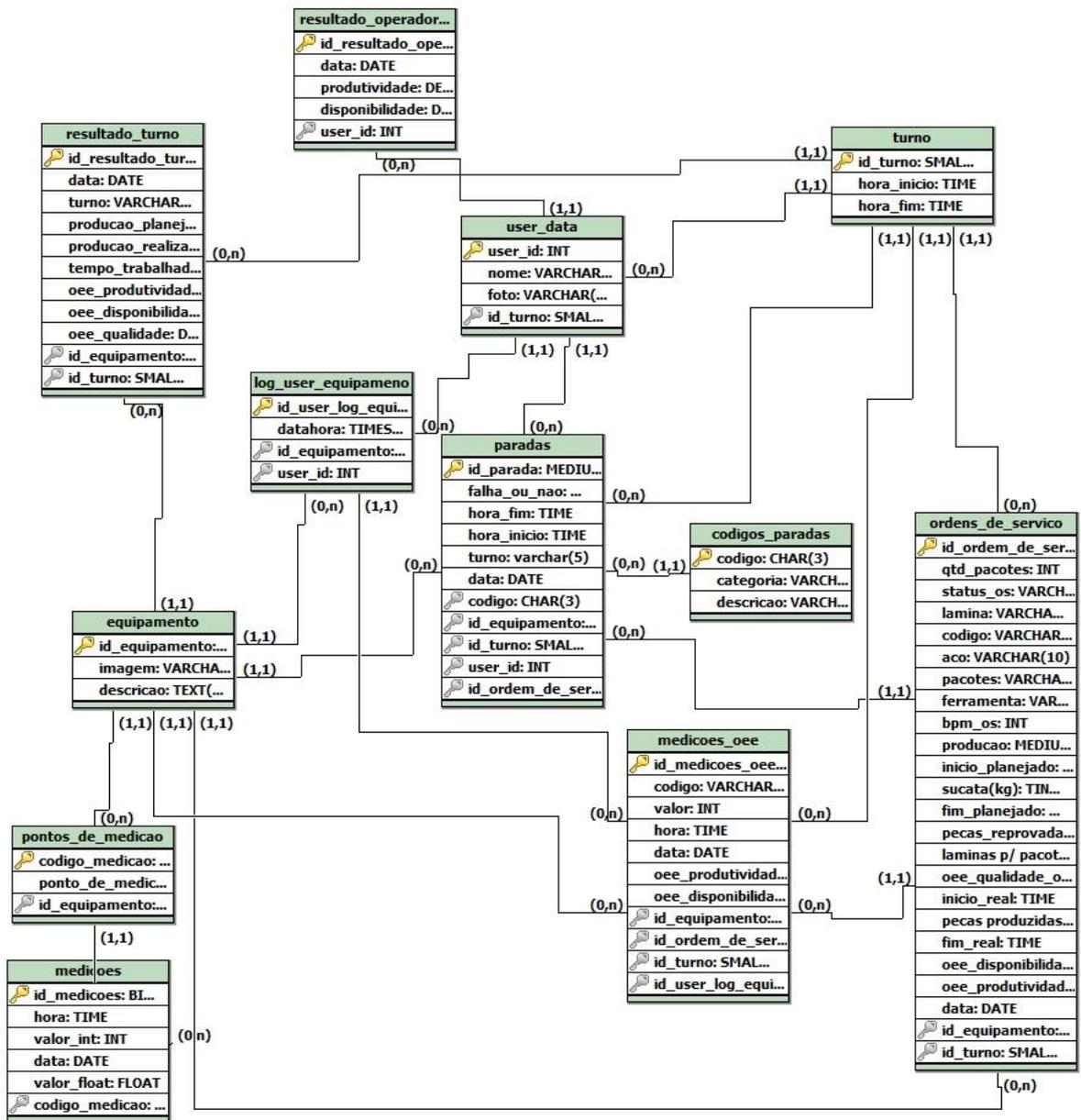


Figura 67 - Modelo Lógico da Primeira Versão do Banco de Dados



## A.2 - Segunda Versão

Após a primeira versão, levando em conta as respostas obtidas da Embraco, um novo projeto de banco de dados foi elaborado, excluindo-se a tabela de ordens de produção e distribuindo seus campos relevantes em outras tabelas, como “info\_prod” e “equipamento” conforme o modelo ER da Figura 68 e o modelo lógico da Figura 69. Neste novo banco de dados a informação de OEE fica relacionada

apenas aos turnos, como a Embraco já costumava a trabalhar em suas planilhas eletrônicas.

Figura 68 - Modelo Conceitual da Segunda Versão do Banco de Dados

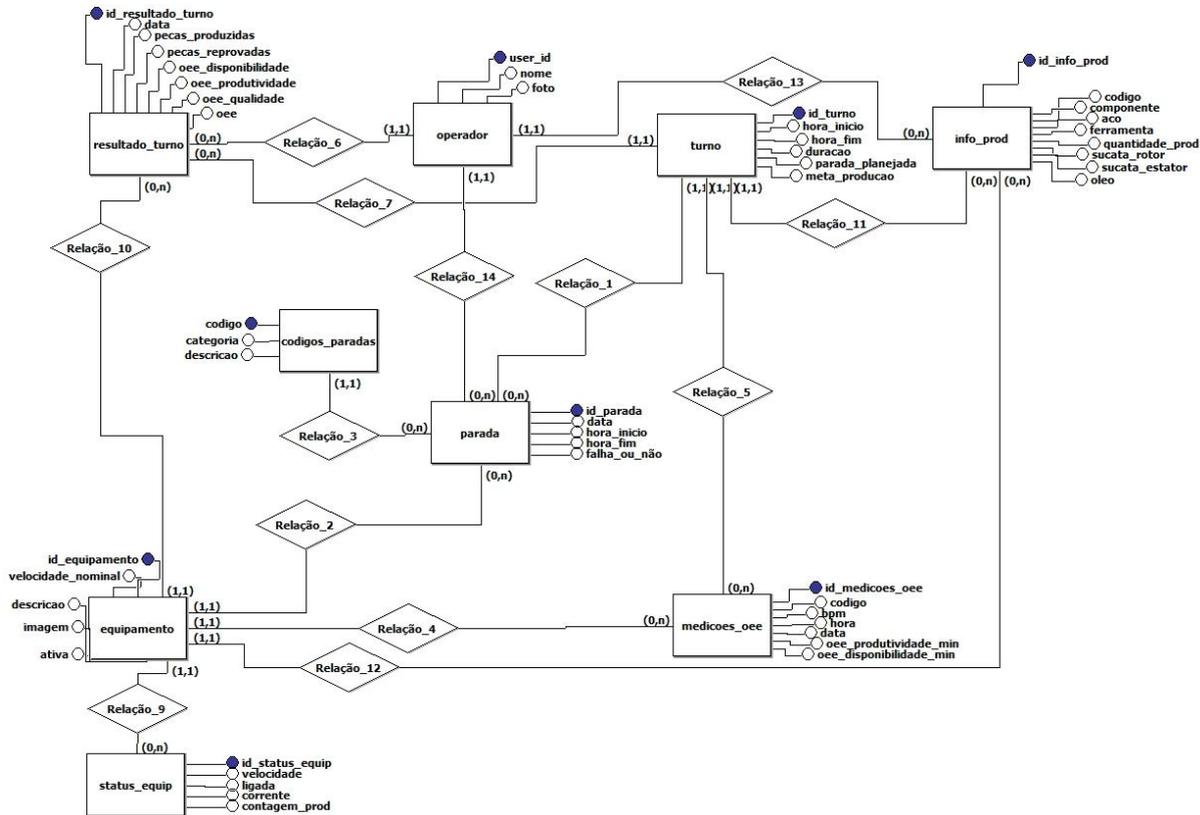
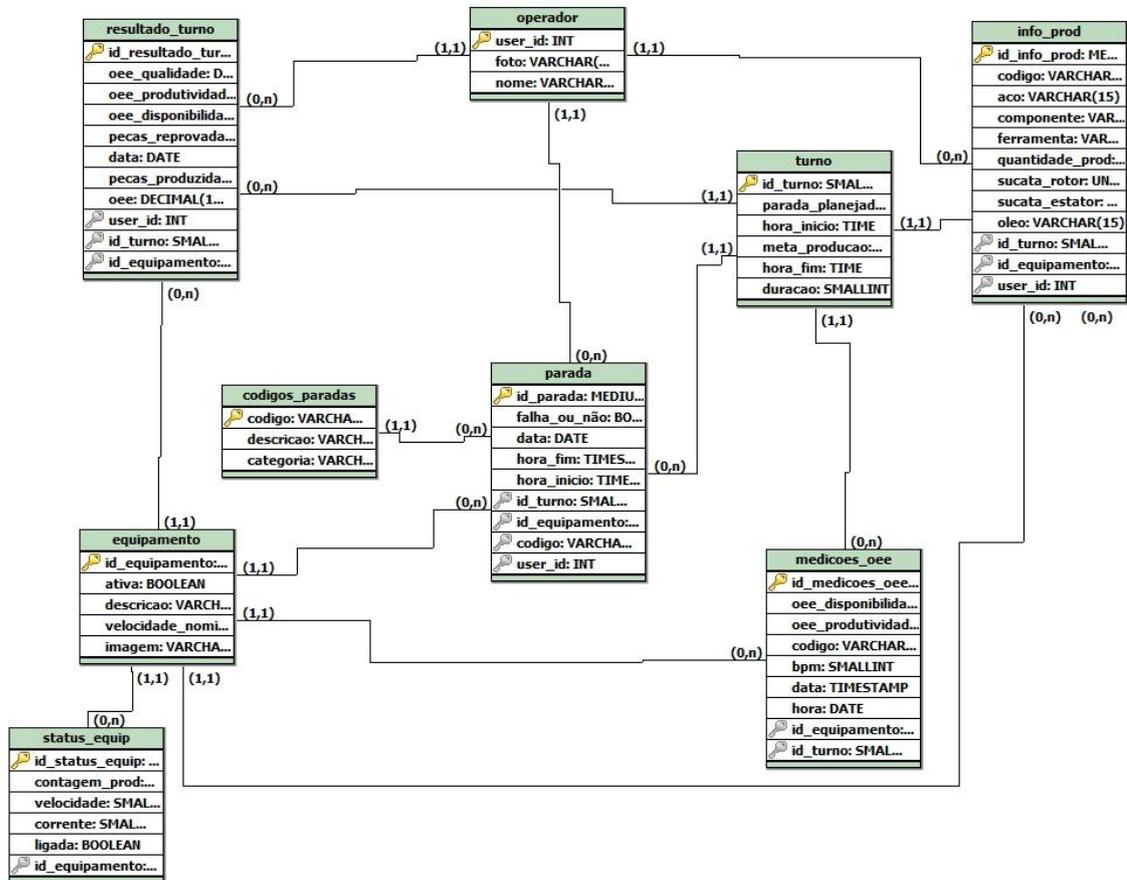


Figura 69 - Modelo Lógico da Segunda Versão do Banco de Dados



Com o intuito de tentar fazer o sistema genérico para aplicações em outras empresas no futuro, e também de permitir o rastreamento das peças produzidas, foi decidido em reunião com os superiores que é importante implementar a tabela de ordens de fabricação. Então, no fim, manteve-se essa tabela, porém não com um papel central como na primeira versão. E o cálculo do OEE é feito referente aos turnos, como na segunda versão.