KELVIN LIBERT FERREIRA BATISTA

SISTEMA MES PARA MONITORAMENTO EM INDÚSTRIA 4.0

UNIFEV - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA

2025

KELVIN LIBERT FERREIRA BATISTA

SISTEMA MES PARA MONITORAMENTO EM INDÚSTRIA 4.0

Monografia apresentada à Unifev – Centro Universitário de Votuporanga – para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação sob a orientação do Prof. Dr. Fernando Kendy Aoki Rizzatto.

UNIFEV - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA
2025

Batista, Kelvin Libert Ferreira.
Sistema MES Para Monitoramento em Indústrias. / Kelvin Libert Ferreira Batista. - Votuporanga. Ed. do Autor, 2025.
51 p., 30cm. :il., tab.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Bacharelado) - UNIFEV - Centro Universitário de Votuporanga, Curso de Engenharia de Computação, 2025.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Kendy Aoki Rizzato.

1.Indústria 4.0. 2. MES. 3. OEE. 4. Automação. 5. Eficiência. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unifev.
Dados fornecidos pelo autor(a). Essa ficha não pode ser modificada.
Bibliotecária Responsável: Marcia Faria Cavalcante - CRB-8/ 10706

KELVIN LIBERT FERREIRA BATISTA

SISTEMA MES PARA MONITORAMENTO EM INDÚSTRIA 4.0

Monografia apresentada à Unifev Centro Universitário de Votuporanga para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Votuporanga, 02 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Fernando Kendy Aoki Rizzatoo
Centro Universitário de Votuporanga

_____
Prof. Me. Fernando Datorre
Centro Universitário de Votuporanga

_____
Prof. Me. Patrícia Salles Maturana de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço a instituição de ensino Unifev, por todo o ensino de qualidade proposto a todos os alunos com esses ótimos profissionais de cada matéria.

Ao meu orientador que acreditou em meu trabalho, que ouviu pacientemente as considerações partilhando comigo as suas ideias, conhecimento e experiências e que sempre motivou meu trabalho.

Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional, gratidão pela sua amizade, por ser um profissional extremamente qualificado e pela forma humana que conduziu nossa orientação.

Sou grato a todos que de forma direta e indireta, me ajudou a realizar este trabalho. Gostaria de agradecer a todos os professores e a todos os funcionários da Unifev que acompanhou essa trajetória.

Aos professores que foi passado um pouco dos seus conhecimentos, cada um em sua área, deixando sua experiência e incentivando a ir em busca de novos objetivos.

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um software, voltado para otimizar operações na indústria 4.0, por meio da aplicação dos indicadores de OEE (Overall Equipment Effectiveness). O objetivo principal do sistema é criar um sistema MES (Manufacturing execution system) estruturado em três módulos integrados para facilitar a gestão e o planejamento das etapas produtivas. A justificativa reside na necessidade de aumentar a eficiência operacional e a tomada de decisões estratégicas nas indústrias modernas. A metodologia adotada envolveu o desenvolvimento modular do software, com uma visão administrativa para monitoramento de indicadores e geração de relatórios, e uma visão operacional destinada aos operadores para registro de paradas e ordenamento das ordens de produção. A comunicação entre máquinas e sistema foi garantida por controladores programáveis, assegurando uma integração robusta dos sinais dos equipamentos. Como resultado, o sistema melhora a analise das paradas, o apontamento das ordens e a eficiência geral do processo produtivo. Conclui-se que a aplicação dos conceitos da indústria 4.0 neste software proporciona uma ferramenta completa para a gestão e otimização dos processos indústrias, promovendo ambientes produtivos mais inteligentes e eficazes.

Palavras – chave: Indústria 4.0. MES. OEE. Automação. Eficiência.

ABSTRACT

This paper addresses the development of an innovative software aimed at optimizing operations in Industry 4.0 through the application of OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicators. The main objective of the system is to create an MES (Manufacturing Execution System) structured into three integrated modules to facilitate the management and planning of production stages. The rationale lies in the need to increase operational efficiency and strategic decision-making in modern indústries. The methodology adopted involved the modular development of the software, with an administrative view for monitoring indicators and generating reports, and an operational view intended for operators to record downtime and organize production orders. Communication between machines and the system was ensured by programmable controllers, providing robust integration of equipment signals. As a result, the system improves the analysis of downtime, the tracking of work orders, and the overall efficiency of the production process. It is concluded that applying Industry 4.0 concepts in this software provides a comprehensive tool for managing and optimizing industrial processes, promoting smarter and more effective productive environments.

Keywords: Industry 4.0. MES. OEE. Automation. Efficiency.

LISTA DE ABREVIATURAS

MES *Manufacturing Execution System*
MRP *Material Requirement Planning*
ERP *Enterprise Resource Planning*
OEE *Overall Equipment Effectiveness*
MESA *Manufactuing Enterprise Solutions Association*
AMR *Advanced Manufacturing Research.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quando das revoluções indústrias, Fonte: DW (2016) 15
Figura 2 – Tear Mecânico e Máquina de Fiar: Fonte: Cardoso (2018) 16
Figura 3 – Mapa mental, Fonte: Autoria Própria (2025) 23
Figura 4 – Diagrama de Classe, Fonte: Autoria Própria (2025) 24
Figura 5 – Diagrama de Caso de Uso, Fonte: Autoria Própria (2025) 25
Figura 6 – Diagrama de Sequência (Usuário), Fonte: Autoria Própria (2025) 32
Figura 7 – Diagrama de Sequência (Grupo de Máquina), Fonte: Autoria Própria (2025) 33
Figura 8 – Diagrama de Sequência (Máquina), Fonte: Autoria Própria (2025) 34
Figura 9 – Diagrama de Sequência (Ordem de Produção), Fonte: Autoria Própria (2025) 34
Figura 10 – Tela de *Login*, Fonte: Autoria Própria (2025) 36
Figura 11 – Tela de *Login* com mensagem de erro, Fonte: Autoria Própria (2025) 36
Figura 12 – Tela Inicial, Fonte: Autoria Própria (2025) 37
Figura 13 – Menu, Fonte: Autoria Própria (2025) 38
Figura 14 – Controle de Usuários, Fonte: Autoria Própria (2025) 38
Figura 15 – Cadastro de Ordens, Fonte: Autoria Própria (2025) 39
Figura 16 – Cadastro de Máquinas, Fonte: Autoria Própria (2025) 39
Figura 17 – Cadastro de Grupo de Máquinas, Fonte: Autoria Própria (2025) 40
Figura 18 – Cadastro de Operadores, Fonte: Autoria Própria (2025) 40
Figura 19 – Motivos de Paradas, Fonte: Autoria Própria (2025) 41
Figura 20 – Motivos de Refugos, Fonte: Autoria Própria (2025) 41
Figura 21 – *Dashboard*, Fonte: Autoria Própria (2025) 42
Figura 22 – Detalhe de Eventos, Fonte: Autoria Própria (2025) 42
Figura 23 – Relatórios OEE, Fonte: Autoria Própria (2025) 43
Figura 24 – Relatórios Quantitativos, Fonte: Autoria Própria (2025) 43
Figura 25 – Abertura de Ordens, Fonte: Autoria Própria (2025) 44
Figura 26 – Tela Inicial Operacional (Parada), Fonte: Autoria Própria (2025) 45
Figura 27 – Registro de Paradas, Fonte: Autoria Própria (2025) 45
Figura 28 – Setup, Fonte: Autoria Própria (2025) 46
Figura 29 – Registro de Refugos, Fonte: Autoria Própria (2025) 47
Figura 30 – Contabilizando Produção, Fonte: Autoria Própria (2025) 47
Figura 31 – Apontamento, Fonte: Autoria Própria (2025) 48
Figura 32 – Encerramento, Fonte: Autoria Própria (2025) 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caso de Uso Expandido (Fazer *Login*), Fonte: Autoria Própria (2025) 26
Tabela 2 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Grupo de Máquina), Fonte: Autoria Própria (2025) 26
Tabela 3 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Máquina), Fonte: Autoria Própria (2025) 27
Tabela 4 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Ordens), Fonte: Autoria Própria (2025) 28
Tabela 5 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Operadores), Fonte: Autoria Própria (2025)..... 28
Tabela 6 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Motivos de Paradas/Refugo), Fonte: Autoria Própria (2025) 29
Tabela 7 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Usuário), Fonte: Autoria Própria (2025)..... 30
Tabela 8 – Caso de Uso Expandido (Relatório), Fonte: Autoria Própria (2025) 31
Tabela 9 – Caso de Uso Expandido (Executar Ordem de Produção), Fonte: Autoria Própria (2025)..... 31

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO....13
1.1. OBJETIVOS....14
1.1.1. OBJETIVO GERAL....14
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS....14
1.1.3. Justificativa....14
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA....16
2.1.INDÚSTRIA 4.0 E SEUS PILARES....16
2.1.1.INTERNET DAS COISAS (IOT)....16
2.1.2.SISTEMAS CIBER-FÍSICOS (CPS)....17
2.1.3.BIG DATA E ANALYTICS....17
2.1.4.MANUFATURA ADITIVA....17
2.1.5.INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)....17
2.1.6.ROBÓTICA COLABORATIVA....18
2.1.7.REFERENCIAL HISTÓRICO....18
2.1.8.PRIMEIRA E SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL....19
2.2.MES....20
3.METODOLOGIA....23
3.1.PLATAFORMA E FERRAMENTAS UTILIZADAS....23
3.1.1.VISUAL STUDIO CODE....23
3.1.2.HTML....23
3.1.3.CSS....24
3.1.4.BOOTSTRAP....24
3.1.5.PYTHON....24
3.1.6.SQL SERVER....24
3.1.7.XMIND....24
3.1.8.ASTAH....25
3.2.DIAGRAMA UML....25
3.3.DIAGRAMA DE ESTADO....25
3.4.MAPA MENTAL....26
3.5.DIAGRAMA DE CLASSES....28
3.6.CASO DE USO GERAL....28
3.7.CASO DE USO EXPANDIDO....29
3.7.1.CASO DE USO EXPANDIDO: FAZER *LOGIN*....29
3.7.2.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR GRUPO DE MÁQUINAS....30
3.7.3.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR MÁQUINA....31
3.7.4.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR ORDENS....32
3.7.5.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR OPERADORES....32
3.7.6.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR MOTIVOS DE PARADAS/REFUGO....33
3.7.7.CASO DE USO EXPANDIDO: CADASTRAR USUÁRIO....34
3.7.8.CASO DE USO EXPANDIDO: RELATÓRIO....35
3.7.9.CASO DE USO EXPANDIDO: EXECUTAR ORDEM DE PRODUÇÃO....35
3.8.DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA....36
3.8.1.DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: USUÁRIO....36
3.8.2.DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: GRUPO DE MÁQUINA....37
3.8.3.DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: MÁQUINA....38
3.8.4.DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: ORDEM DE PRODUÇÃO....39
4.RESULTADOS....41
4.1.DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA....41

4.1.1.*LOGIN* 42
4.1.2.*LOGIN* – MENSAGEM DE ERRO 42
4.1.3.TELA INICIAL 43
4.1.4.MENU 44
4.1.5.TELA ADMINISTRATIVA 45
4.1.6.ORDENS 46
4.1.7.MÁQUINAS 46
4.1.8.GRUPO DE MÁQUINAS 47
4.1.9.OPERADORES 47
4.1.10.PARADAS 48
4.1.11.REFUGOS 48
4.1.12.*DASHBOARD* 49
4.1.13.EVENTOS 50
4.1.14.RELATÓRIOS 50
4.1.15.ABERTURA DE ORDENS 52
4.1.16.TELA INICIAL OPERACIONAL 52
4.1.17.REGISTRO DE PARADAS 53
4.1.18.SETUP 54
4.1.19.REGISTRO DE REFUGOS 54
4.1.20.PRODUZINDO 55
4.1.21.APONTAMENTO 56
4.1.22.ENCERRANDO PROCESSO 56
5.CONCLUSÃO 58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

1. INTRODUÇÃO

O conceito de indústria 4.0 está sendo aplicado cada dia mais nas indústrias, a adoção de tecnologias e práticas no mercado tem sido progressiva e variada, com diferentes setores e empresas adotando práticas diferentes. Conhecida como a Quarta Revolução Industrial, está sendo representada como uma nova etapa da manufatura, marcada pela interação de tecnologias digitais avançadas aos processos indústrias (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016, p. 2).

As principais características da indústria 4.0 são suas conectividades em tempo real entre máquina e sistema, automação avançada, coleta e análise massiva de dados e a rapidez na tomada de decisões assertiva com os relatórios gerados (CGEE, 2021, p. 11). Com isso, ela representa uma profunda mudança de paradigma em relação as revoluções indústrias anteriores, o foco deixa de ser apenas o aumento de escala e eficiência e passa a incorporar a inteligência digital na produção, possibilitando fabricas mais inteligentes, flexíveis e autónomas (LEE; BAGHERI; KAO, 2015, p. 18).

De acordo com o CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos) O termo indústria 4.0, surgiu pela primeira vez em 2011, na Feira de Hannover, na Alemanha (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2021, p. 11). O conceito proposto na ocasião, foi recomendado estrategicamente ao governo alemão, com o objetivo em soluções tecnológicas, dois anos mais tarde, em 2013 (ACATECH, 2013), a indústria 4.0 passou a contar com uma estratégia elaborada na Alemanha, concebida como um movimento essencial para impulsionar a inovação e promover mudanças estruturais na forma de produção industrial (BMWi, 2019a).

Com o conceito de indústria 4.0 aplicado, podendo promover todos esses benefícios, somando com a utilização do sistema MES (*Manufacturing Execution System*), ou sistema de execução de manufatura, que é um software que coleta e centraliza dados do chão de fábrica em tempo real, permitindo medições precisas utilizando indicadores como OEE. Por exemplo, ao integrar sensores IoT a um MES, pode-se monitorar paradas não programadas automaticamente, sem depender de relatórios manuais. Indicadores como OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

ou Eficiência Global de Equipamentos, é um indicador que quantifica a eficácia operacional de equipamentos, combinando disponibilidade, performance e qualidade.

1.1.OBJETIVOS

Neste subcapítulo será apresentado uma visão do objetivo, específico e a justificativa referente ao projeto desenvolvido.

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sistema MES para gerenciamento e planejamento de operações na Indústria 4.0, integrando a coleta de dados das máquinas e a geração de relatórios para apoiar a tomada de decisão.

1.1.2. Objetivos específicos

Implementar a captura de sinais digitais via controladores programáveis, como CLP ou Arduíno, para monitoramento em tempo real da execução das máquinas.

Gerar relatórios detalhados que avaliem a eficiência das máquinas e identifiquem as principais causas de parada, contribuindo para a melhoria contínua da produção.

Permitir o registro e análise das paradas das máquinas, fornecendo ao operador informações para justificativas e intervenções rápidas.

1.1.3. Justificativa

Com o sistema MES, a visibilidade do problema torna-se instantânea, possibilitando respostas ágeis que reduzem custos de produção e melhoram a tomada de decisões.

O sistema MES atua como uma ponte entre os sistemas de planejamento empresarial (ERP) e o controle de chão de fábrica, proporcionando visibilidade e controle sobre os processos produtivos. Com sua capacidade de coletar, analisar e disponibilizar dados em tempo real, o MES permite uma tomada de decisão mais ágil e informada, reduzindo desperdícios, melhorando a

qualidade dos produtos e aumentando a produtividade (KLETTI, 2007).

> *"o desenvolvimento de sistemas MES permite a padronização das atividades operacionais e proporciona um aumento na confiabilidade das informações geradas, o que é vital para ambientes industriais complexos" (CATTARUZZI; CHICAROLI, 2004, p. 12).*

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão dos conceitos de indústria 4.0 e MES para uma melhor compreensão deste projeto.

2.1. Indústria 4.0 e seus pilares

A Indústria 4.0 representa uma nova era da manufatura, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas aos sistemas produtivos (CGEE, 2021, p. 11). Ainda segundo o CGEE (2021), o termo surgiu oficialmente em 2011 na Feira de Hannover, na Alemanha, como parte de uma estratégia nacional voltada à modernização do setor industrial. Essa quarta revolução industrial combina tecnologias físicas e digitais para transformar radicalmente os processos de produção, promovendo um novo paradigma de automação inteligente.

De acordo com Hermann, Pentek e Otto (2016), a Indústria 4.0 é sustentada por diversos pilares tecnológicos que permitem a criação de sistemas produtivos mais autônomos, adaptativos e eficientes. Entre os principais pilares, serão abordados alguns tópicos representando a mesma.

2.1.1. Internet das Coisas (IoT)

A IoT é o alicerce para a comunicação em tempo real entre máquinas, sensores e sistemas, permitindo o monitoramento contínuo e a coleta automática de dados. “A IoT na indústria cria redes de objetos interconectados que interagem com o ambiente e entre si” (XU et al., 2014), permitindo ações corretivas imediatas com base em dados coletados.

2.1.2. Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

Os sistemas ciber-físicos são responsáveis pela conexão entre os mundos físico e virtual. Eles consistem em dispositivos integrados com sensores, atuadores e softwares inteligentes que monitoram e controlam processos físicos por meio de redes computacionais (LEE; BAGHERI; KAO, 2015, p. 18). Lee et al. (2015) afirmam que os CPS são "a espinha dorsal da Indústria 4.0", pois possibilitam a automação distribuída e a tomada de decisão local nas fábricas.

2.1.3. Big Data e Analytics

A enorme quantidade de dados gerados por sensores e sistemas precisa ser analisada de forma inteligente. O uso de Big Data e Analytics permite extrair resultados relevantes e valiosos em tempo real, otimizando processos, prevendo falhas e melhorando a produtividade (WAMBA et al., 2017, p. 356). Segundo Wamba et al. (2015), "o valor do Big Data na manufatura está na sua capacidade de transformar dados em conhecimento operacional".

2.1.4. Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva, ou impressão 3D, permite a criação de peças diretamente a partir de modelos digitais, sem a necessidade de moldes ou ferramentas convencionais. Isso reduz tempo, custo e desperdício na produção (FORD; DESPEISSE, 2016, p. 1575). Para Ford e Despeisse (2016), "a manufatura aditiva habilita novas formas de customização em massa, atendendo às demandas de flexibilidade da Indústria 4.0".

2.1.5. Inteligência Artificial (IA)

A IA desempenha um papel crucial na automação inteligente de processos industriais, por meio de algoritmos capazes de aprender com dados e otimizar decisões de forma autônoma (RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter, 2013, p. 27). Segundo Russel e Norvig (2013), a IA permite "a criação de sistemas que percebem seu ambiente e tomam decisões que maximizam suas chances de sucesso".

2.1.6. Robótica Colaborativa

A robótica colaborativa, ou cobots, representa a evolução dos robôs industriais tradicionais. São projetados para trabalhar lado a lado com operadores humanos, em ambientes compartilhados, de forma segura e eficiente (HAAG, Sebastian; ANDERL, Reiner, 2015, p. 64–66). Segundo Haag e Anderl (2015), "a colaboração homem-máquina será um dos principais diferenciais da produção inteligente".

2.1.7. Referencial Histórico

A Revolução Industrial representou um marco histórico ao promover profundas mudanças na indústria, transformações que alteraram de maneira significativa o sistema de produção e impactaram diretamente a sociedade e a economia. Para Francisco Iglesias, esse processo teve início com a introdução das máquinas, que passaram a substituir o trabalho humano em vez de apenas servir como apoio às atividades produtivas. Assim, surge a chamada "maquinofatura", em substituição à manufatura tradicional (IGLÉSIAS, 1984).

Francisco Iglesias destaca que a Revolução Industrial marcou o início de uma nova etapa produtiva, caracterizada pela substituição do trabalho manual pelas máquinas, inaugurando a chamada "maquinofatura". Essa mudança não se limitou ao campo técnico, mas abriu caminho para transformações mais amplas que repercutiram diretamente na organização social e econômica. Nesse sentido, Hobsbawm reforça a dimensão desse processo ao afirmar:

> *" A Revolução Industrial assinala a mais radical transformação da vida humana já registrada e não foi uma mera aceleração do crescimento econômico, mas uma aceleração de crescimento em virtude da transformação econômica e social" (HOBSBAWM, 2000).*

Francisco Iglesias comenta que a consolidação da revolução industrial aconteceu por conta da introdução do conceito de produção em série voltado ao grande consumo e ao abastecimento de mercados consumidores, conforme foi comentado pelo mesmo:

> *"Enquanto antes se produzia para certo mercado, constituído por pessoas conhecidas, agora se produz para um mercado anônimo; enquanto antes o artigo era feito por um artesão, uma pessoa, agora o é pela máquina ou por várias pessoas, que dividem as tarefas de modo a tornar o labor mais racional e rentável" (IGLÉSIAS, 1984).*

Pasquini (2020, p. 45) reforça que a segunda Revolução Industrial foi marcada pela linha de produção contínua, enquanto Martins Cara (2019, p. 12) contextualiza esse processo como base para compreender a Indústria 4.0.

Ao longo de sua trajetória, a indústria atravessou diferentes fases marcadas por profundas transformações. Conforme ilustrado na Figura 1, o processo de industrialização desenvolveu-se em três grandes momentos: a 1ª, a 2ª e a 3ª Revolução Industrial. Atualmente, o setor vive uma nova etapa de mudanças, conhecida como 4ª Revolução Industrial, ou simplesmente Indústria 4.0.

Figura 1 – Revoluções industriais.

Fonte: DW (2016).

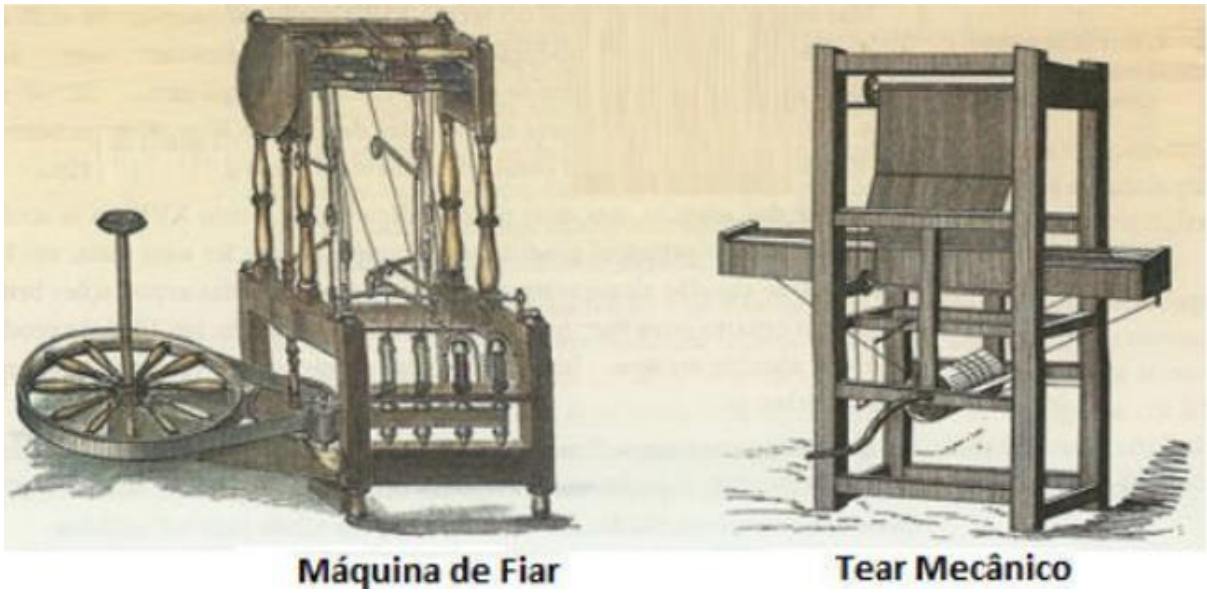
2.1.8. PRIMEIRA E SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Primeira Revolução Industrial teve início na segunda metade do século XVIII, na Inglaterra, e ficou marcada pela introdução das máquinas no processo produtivo, substituindo gradualmente a força de trabalho humano. Nesse contexto, ocorreu a passagem do modelo manufatureiro para o sistema de “maquinofatura” (IGLÉSIAS, 1984).

As primeiras fábricas a incorporarem essas inovações pertenciam ao setor têxtil, que

utilizou o tear mecânico e a máquina de fiar, ganhando ainda mais dinamismo após os avanços trazidos pelo aperfeiçoamento da máquina a vapor (IGLÉSIAS, 1984). A Figura 2 mostra uma breve ilustração destas máquinas que eram utilizadas na época.

Figura 2 – Tear Mecânico e Máquina de Fiar.



Fonte: Cardoso (2018).

2.2.MES

O conceito de MES (*Manufacturing Execution System*) surgiu em 1990, introduzido pela empresa AMR (*Advanced Manufacturing Research*), com o objetivo de atender necessidades operacionais que os sistemas ERP não conseguiam suprir integralmente. O MES atua como uma ponte entre o planejamento corporativo, conduzido pelo ERP, e as operações em tempo real do chão de fábrica. Ele coleta, analisa e distribui dados essenciais para que gestores tomem decisões mais assertivas e baseadas em informações atualizadas (KLETTI, 2007, p. 15).

Sua principal função é promover a integração entre os setores produtivo e administrativo, garantindo maior visibilidade sobre as atividades industriais. Isso se traduz em vários benefícios, como a capacidade de identificar, em tempo real, a necessidade de manutenção de equipamentos, rastrear a atuação de colaboradores em máquinas específicas, controlar o consumo de matéria-

prima e monitorar a produtividade de forma eficiente (MESA INTERNATIONAL, 2004, p. 22).

Com o suporte da Indústria 4.0, o MES torna-se ainda mais relevante ao integrar tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem, o que possibilita um controle remoto e instantâneo da produção. Gestores podem acessar relatórios detalhados de qualquer lugar, permitindo decisões ágeis e embasadas (LEE; BAGHERI; KAO, 2015, p. 20).

O sistema também é capaz de reduzir significativamente tempos de ciclo, espera, transporte e armazenamento, contribuindo para a otimização logística e administrativa. A redução do tempo gasto com registros manuais e a melhora no planejamento de pedidos também estão entre os ganhos mais relevantes apontados por pesquisas como a realizada pela MESA (1997).

Outros aspectos valorizados incluem a confiabilidade na previsão de prazos de entrega, melhoria da qualidade do produto por meio da rastreabilidade total do processo, e aumento da produtividade, já que os operadores passam a ter acesso direto a dados críticos da produção. Mesmo com tantos benefícios, é essencial destacar a importância de uma gestão da mudança eficiente para garantir a adesão da equipe e evitar a rejeição à nova tecnologia (CATTARUZZI; CHICAROLI, 2004, p. 33).

A seguir, são apresentados alguns dos principais benefícios proporcionados pela implantação do sistema MES, acompanhados de uma breve contextualização para facilitar a compreensão de sua relevância no ambiente industrial: Transparência unificada dos dados, em muitos casos, é difícil obter uma visão consolidada das informações de produção. O MES atua como uma ferramenta que integra e disponibiliza dados de forma estruturada, possibilitando uma análise mais eficaz da situação operacional (KLETTI, 2007, p. 45).

Integração de registros e desempenho, esse sistema possibilita a coleta automática e sistemática de dados de produção, permitindo um controle mais preciso do desempenho dos processos. Redução no tempo de planejamento, com o MES, mesmo demandas complexas e de grande escala podem ser organizadas de maneira confiável e rápida, reduzindo significativamente o tempo necessário para essa etapa. Dificuldade de mensuração dos ganhos isolados, os efeitos positivos do MES costumam ser interdependentes, tornando inviável a mensuração individual. Por isso, a visão integrada proporcionada pelo sistema é essencial (MESA INTERNATIONAL, 2004, p. 28).

Diminuição dos ciclos de produção, pesquisas como a da MESA (1997), indicam que é possível reduzir consideravelmente os tempos de ciclo ao adotar um MES, especialmente quando

se utilizam técnicas otimizadas de planejamento. Redução do tempo destinado às configurações, a sequência produtiva pode ser ajustada de forma mais eficiente, levando em conta aspectos de custo e produtividade. Minimização da necessidade de registros manuais, segundo dados da MESA (1997), “muitas empresas relataram uma redução de até 50% no tempo dedicado à inserção manual de dados”.

Redução dos tempos de espera, a indisponibilidade de recursos no momento certo é uma das principais causas de ineficiência. O MES contribui para mitigar esse problema ao coordenar melhor os insumos e recursos. Diminuição de estoques intermediários, embora os estoques não possam ser totalmente eliminados, o MES permite uma gestão mais eficaz dos mesmos, reduzindo o tempo e o custo com armazenagem (MESA INTERNATIONAL, 2004, p. 30).

Otimização da logística interna, a integração das etapas de transporte no ciclo de produção permite que as atividades logísticas sejam planejadas com maior eficácia (KLETTI, 2007, p. 52). Redução de tempo total de processamento e custos administrativos, a automação das operações administrativas e produtivas gera ganhos expressivos de eficiência. Melhoria no atendimento ao cliente, a previsibilidade das entregas e o acompanhamento detalhado do status dos pedidos são otimizados, fortalecendo a relação com o consumidor (CATTARUZZI; CHICAROLI, 2004, p. 41).

Elevação da qualidade do produto, a documentação e o controle dos processos são fatores-chave para garantir a qualidade e a rastreabilidade dos produtos entregues. Sistema de alerta e controle de custos em tempo real, possibilita a identificação imediata de desvios e falhas, viabilizando ações corretivas rápidas. Estímulo à produtividade da equipe, os operadores passam a contar com informações em tempo real e de forma eletrônica, o que reduz erros e potencializa o rendimento. A MESA (1997) evidenciou a alta valorização desse aspecto pelas empresas entrevistadas.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseia-se em métodos não empíricos, através de pesquisas em livros, artigos, revistas, jornais e *websites*. O método dedutivo também é aplicado, já que auxilia no raciocínio lógico através de conhecimentos adquiridos, onde através desses conhecimentos, podem-se organizar as ideias do projeto.

Neste capítulo será apresentado as plataformas e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste projeto.

3.1. Plataforma e ferramentas utilizadas

O projeto desenvolvido utilizou o editor de código fonte Visual Studio Code, em conjunto com as linguagens HTML, CSS, Python e Frameworks. O banco de dados será o SQL Server.

3.1.1. Visual Studio Code

Lançado em 2015 o Visual Studio *Code* ou *VS Code* é um *software open source* desenvolvido pela Microsoft para edição de códigos fontes com foco no desenvolvimento de aplicações *web* (MICROSOFT CORPORATION, 2025).

3.1.2. HTML

HTML é um acrônimo para *HyperText Markup Language*, é uma linguagem utilizada para criar páginas *web* utilizando *tags* e elementos sendo assim o navegador saberá o que é um título,

subtítulo, onde um parágrafo começa e onde termina. (DUCKETT, 2011).

3.1.3. CSS

A sigla CSS significa *Cascading Style Sheets* (em português Folha de Estilo em Cascatas), é utilizado para estilizar um documento HTML, deixando-o mais bonito e agradável, possui uma curva de aprendizado pequena. (DUCKETT, 2011).

3.1.4. Bootstrap

É uma biblioteca *front-end* criada pelo *Twitter* com finalidade de criar aplicações *web* responsivas de forma rápida e fácil, para este projeto foi utilizado a versão 5.3.0-alpha3 (BOOTSTRAP, 2020).

3.1.5. Python

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada e com sintaxe simples e legível, amplamente utilizada nas áreas de análise de dados, automação e desenvolvimento web. Criada por Guido van Rossum e lançada em 1991, ela prioriza a legibilidade do código e a produtividade do programador. (LUTZ, 2013).

3.1.6. SQL Server

SQL Server é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional desenvolvido pela Microsoft. Foi lançado em 1989 com o objetivo de atender às demandas de armazenamento e gerenciamento eficiente de dados corporativos. (ROB; CORONEL, 2007).

3.1.7. Xmind

XMind é uma ferramenta voltada para a criação de mapas mentais e fluxos de processos,

permitindo organizar ideias de forma visual e estruturada. Sua aplicação em projetos acadêmicos e industriais facilita a análise de problemas, o planejamento de soluções e a comunicação entre equipes. Além disso, o software oferece recursos de exportação e integração com outras plataformas, tornando-se útil para documentar processos e apoiar metodologias ágeis (XMIND LTD., 2025).

3.1.8. Astah

Astah é uma ferramenta de modelagem visual utilizada para a criação de diagramas UML, ER e outros modelos gráficos aplicados ao desenvolvimento de software. Ele auxilia na especificação, documentação e análise de sistemas, permitindo que equipes de engenharia de software representem de forma clara a estrutura e o comportamento de aplicações. Sua interface intuitiva e suporte a diferentes tipos de diagramas tornam o Astah uma solução prática para projetos acadêmicos e profissionais (CHANGE VISION INC., 2025).

3.2. Diagrama UML

UML (Unified Modeling Language) é uma linguagem de modelagem padrão usada para especificar, visualizar, construir e documentar os artefatos de sistemas de software complexos. Foi criada para auxiliar no desenvolvimento e design de sistemas orientados a objetos. UML proporciona uma forma padrão de visualizar o design de um sistema, sendo útil tanto para a análise quanto para a documentação (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2005, p. 12).

3.3. Diagrama de estado

Um diagrama de estado (ou diagrama de máquina de estados) é um dos diagramas comportamentais da UML que descreve os estados pelos quais um objeto ou um sistema pode passar durante seu ciclo de vida, bem como os eventos que causam essas mudanças de estado. Ele é particularmente útil para modelar sistemas que têm comportamento dinâmico ou que reagem a eventos externos (CÉ, 2013, p.1, apud BLAHA; RUMBAUGH, 2006). A Figura 3 representa os estados na interface de iteração do usuário gerência e operacional com as telas do sistema.

3.4.Mapa Mental

Mapa mental é uma ferramenta gráfica utilizada para organizar informações de maneira lógica e visual, permitindo estruturar ideias em torno de um conceito central e suas ramificações. Essa técnica foi sistematizada pelo psicólogo britânico Tony Buzan na década de 1970, sendo amplamente difundida como recurso para memorização, criatividade e gestão de conhecimento (BUZAN, 2009).

O mapa mental desenvolvido para este trabalho foi elaborado na ferramenta XMind, que é amplamente utilizada para organizar ideias de forma lógica e visual, facilitando tanto o processo de memorização quanto a administração da informação. A Figura 3 representa um mapa mental, que serviu como base para estruturar os principais módulos e funcionalidades do sistema.

A utilização do XMind permitiu distribuir as ideias de maneira clara, relacionando elementos como *Dashboard*, Equipamentos, Relatórios, Ordens de Serviço e Cadastro de Usuários. Essa organização visual contribuiu para ter uma visão geral do sistema antes mesmo da implementação, auxiliando na tomada de decisões e na definição das prioridades de desenvolvimento.

Além disso, o recurso de mapas mentais proporcionou uma forma harmônica de conceituar os processos, permitindo que cada aspecto do sistema fosse representado de maneira simples e objetiva.

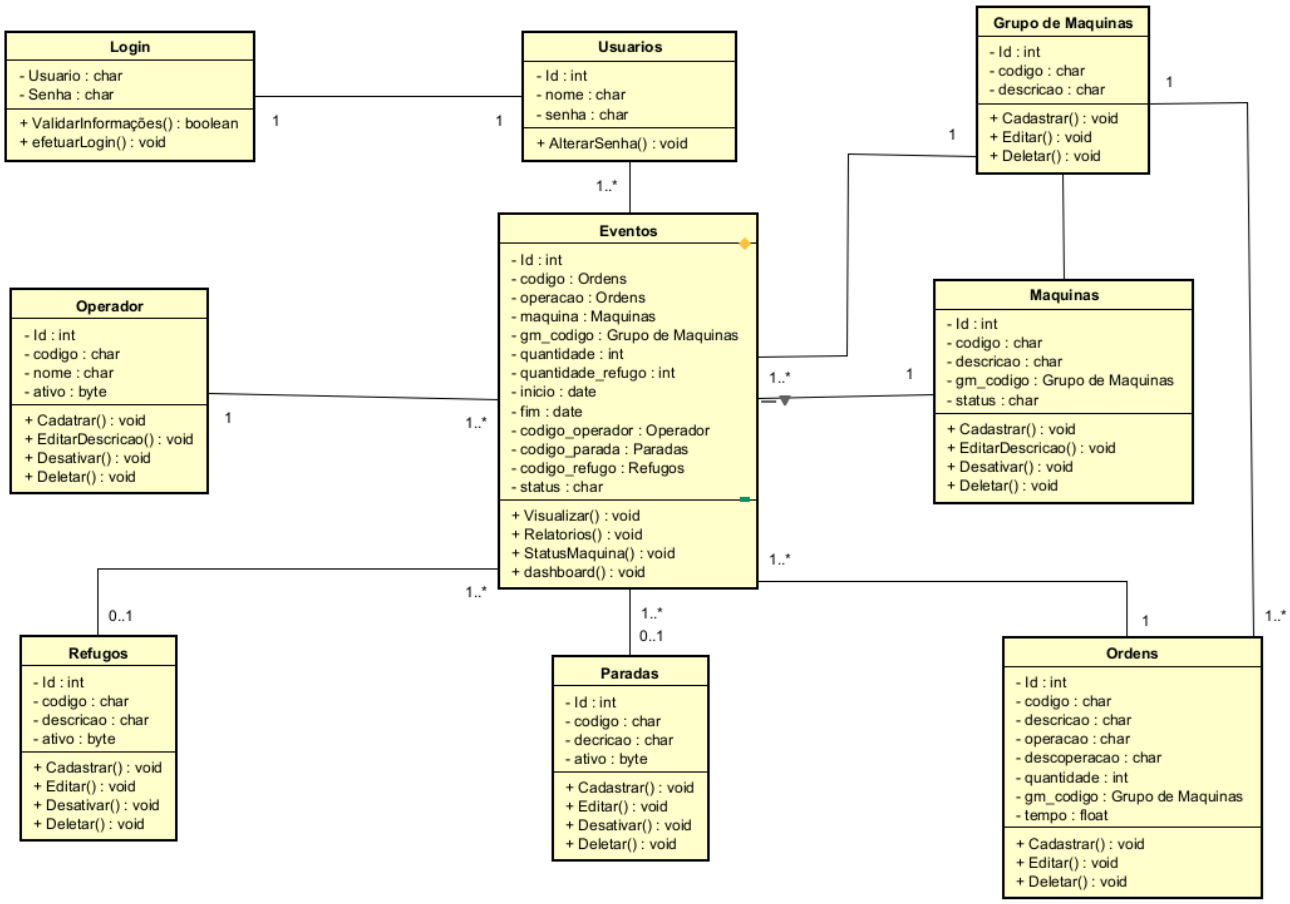
Figura 3 – Mapa Mental

Fonte: Autoria própria (2025).

3.5.Diagrama de Classes

Na Figura 4 foi utilizado o Diagrama de Classe para modelar a estrutura estática do sistema MES, mostrando as classes, seus atributos, métodos e os relacionamentos entre elas.

Figura 4 – Diagrama de Classe.

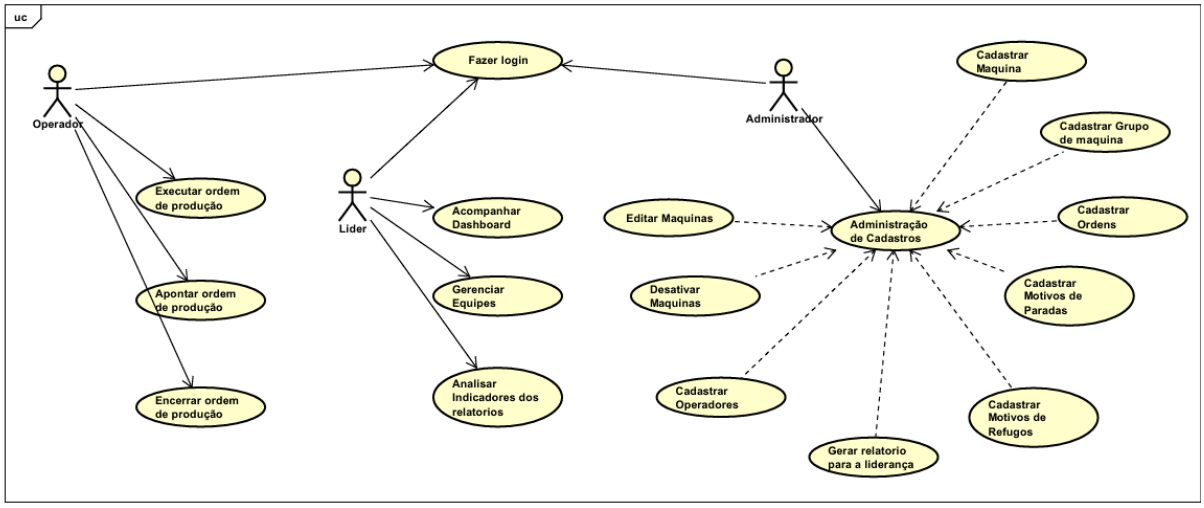


Fonte: Autoria própria (2025).

3.6.Caso de Uso Geral

O diagrama documenta o que o sistema faz no ponto de vista do usuário, ele descreve as principais funcionalidades do sistema. Representando a sequência de eventos quando o usuário interage com o sistema, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de Caso de Uso



Fonte: Autoria própria (2025).

3.7. Caso de Uso Expandido

O caso de uso expandido demonstra o fluxo de eventos do processo para cada ação feita pelo usuário e sistema, demonstrando o fluxo do processo realizado e os resultados para cada ação.

3.7.1. Caso de Uso Expandido: Fazer *Login*

A Tabela 1 (Fazer *Login*) demonstra o fluxo de realizar o *login* no sistema.

Tabela 1 – Caso de Uso Expandido (Fazer *Login*)

Caso de Uso	**Fazer *Login***
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve estar cadastrado no sistema
Pós-condição	Validação do sistema

Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de “*Login*”.	
	2. Mostrar página de “*Login*”.
3. Inserir “*Login*” e “*Senha*”. 4. Clicar em “Entrar”.	
	5. Validar dados.

Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	5.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio. 5.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.2. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Grupo de Máquinas

A Tabela 2 (Cadastrar Grupo de Máquinas) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de grupo de máquinas no sistema.

Tabela 2 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Grupo de Máquina)

Caso de Uso	**Cadastrar Grupo de Máquina**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema

Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de grupo de máquina.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de grupo de máquina.
3. Inserir dados do grupo. 4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos. 6. Salvar cadastro grupo de máquina. 7. Mensagem de Registrado com sucesso.

Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio. 7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido. 7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista um grupo criado com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.3. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Máquina

A Tabela 3 (Cadastrar Máquina) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de máquinas no sistema.

Tabela 3 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Máquina)

Caso de Uso	**Cadastrar Máquina**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema
Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de máquina.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de máquina.
3. Inserir dados da máquina. 4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos. 6. Salvar cadastro de máquina. 7. Mensagem de Registrado com sucesso.
Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio. 7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido. 7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista uma Máquina criada com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.4. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Ordens

A Tabela 4 (Cadastrar Ordens) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de Ordens no sistema.

Tabela 4 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Ordens)

Caso de Uso	**Cadastrar Ordens**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema
	Fluxo Normal
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de ordens.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de ordens.
3. Inserir dados da ordem.	
4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos.
	6. Salvar cadastro da ordem.
	7. Mensagem de Registrado com sucesso.
	Fluxo Alternativo
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio.
	7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido.
	7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista uma ordem criada com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.5. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Operadores

A Tabela 5 (Cadastro de Operadores) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de Operadores no sistema.

Tabela 5 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Operadores)

Caso de Uso	**Cadastrar Operadores**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema

Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de operadores.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de operadores.
3. Inserir dados do operador.	
4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos.
	6. Salvar cadastro de operador.
	7. Mensagem de Registrado com sucesso.

Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio.
	7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido.
	7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista um operador criado com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.6. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Motivos de Paradas/Refugo

A Tabela 6 (Cadastro de Motivos) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de motivos de paradas e de refugos no sistema.

Tabela 6 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Motivos de Paradas/Refugo)

Caso de Uso	**Cadastrar Motivos de Paradas/Refugo**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema

Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de motivos.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de motivos.
3. Inserir dados do motivo.	
4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos.
	6. Salvar cadastro de motivo.
	7. Mensagem de Registrado com sucesso.

Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio.
	7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido.
	7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista um motivo criado com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.7. Caso de Uso Expandido: Cadastrar Usuário

A Tabela 7 (Cadastro de Usuário) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de usuário no sistema.

Tabela 7 – Caso de Uso Expandido (Cadastrar Usuário)

Caso de Uso	**Cadastrar Usuário**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para criar ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema

Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de cadastro de usuário.	
	2. Mostrar formulário de cadastro de usuário.
3. Inserir dados do usuário.	
4. Clicar em “Salvar”.	
	5. Validar dados inseridos.
	6. Salvar cadastro de usuário.
	7. Mensagem de Registrado com sucesso.

Fluxo Alternativo	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio. 7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido. 7.3 Exibe mensagem de erro caso já exista um usuário criado com o mesmo código.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.8. Caso de Uso Expandido: Relatório

A Tabela 8 (Relatório) demonstra o fluxo de realizar da função relatório.

Tabela 8 – Caso de Uso Expandido (Relatório)

Caso de Uso	**Relatório**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter permissão para gerar relatórios ou estar em grupo de Administrador
Pós-condição	Validação do sistema
Fluxo Normal	
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de relatórios.	
	2. Exibir página de relatórios.
3. Inserir filtros caso seja necessário.	
4. Clicar em “Filtrar”.	
	5. Exibir relatórios.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.7.9. Caso de Uso Expandido: Executar Ordem de Produção

A Tabela 9 (Executar Ordem de Produção) demonstra o fluxo de realizar o cadastro de usuário no sistema.

Tabela 9 – Caso de Uso Expandido (Executar Ordem de Produção)

Caso de Uso	**Executar Ordem de Produção**
Atores	Usuário, Sistema
Pré-condição	O usuário deve ter cadastro de operador no sistema
Pós-condição	Validação do sistema
	Fluxo Normal
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
1. Acessar página de abertura de ordem.	
	2. Mostrar formulário de abertura de ordem.
3. Inserir dados para a abertura.	
4. Clicar em “Continuar”.	
	5. Validar dados inseridos.
	6. Criar evento de ordens.
	7. Mensagem de Registrado com sucesso.
	Fluxo Alternativo
Ação do Usuário	**Ação do Sistema**
	7.1 Exibe mensagem de erro caso tenha campo vazio.
	7.2 Exibe mensagem de erro caso tenha algum dado invalido.
	7.3 Exibe mensagem de erro caso a ordem já tenha sido apontada totalmente.

Fonte: Autoria própria (2025).

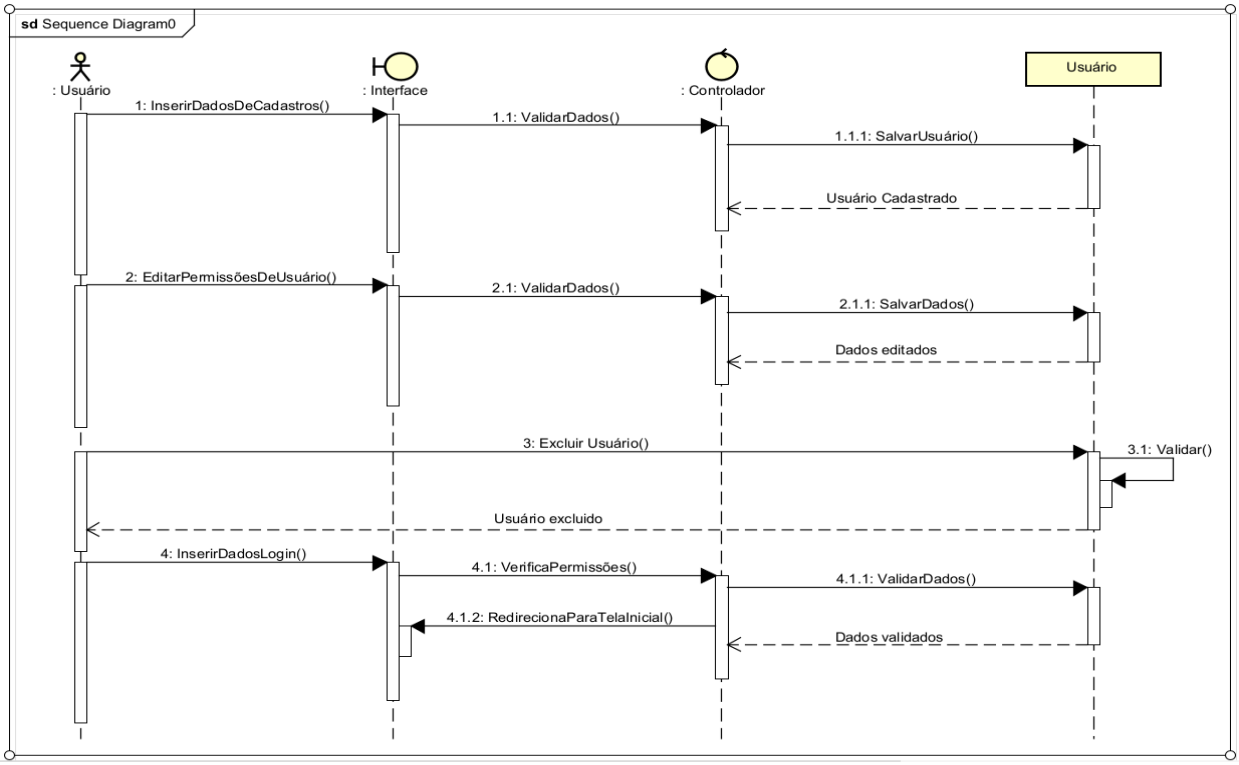
3.8.Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência é utilizado para representar a sequência de processos de um sistema, diferente de um diagrama de caso de uso, que mostra apenas qual é o processo, ele mostra como funciona a interação entre os objetos do sistema na execução de um caso de uso (PRESSMAN, 2011).

3.8.1. Diagrama de Sequência: Usuário

A Figura 6 demonstra o diagrama de sequência de usuário, ilustrando como o sistema interage com o usuário em quatro situações: cadastro, edição, exclusão e login. Ele apresenta a ordem das ações e quem executa cada uma delas.

Figura 6 – Diagrama de Sequência (Usuário)

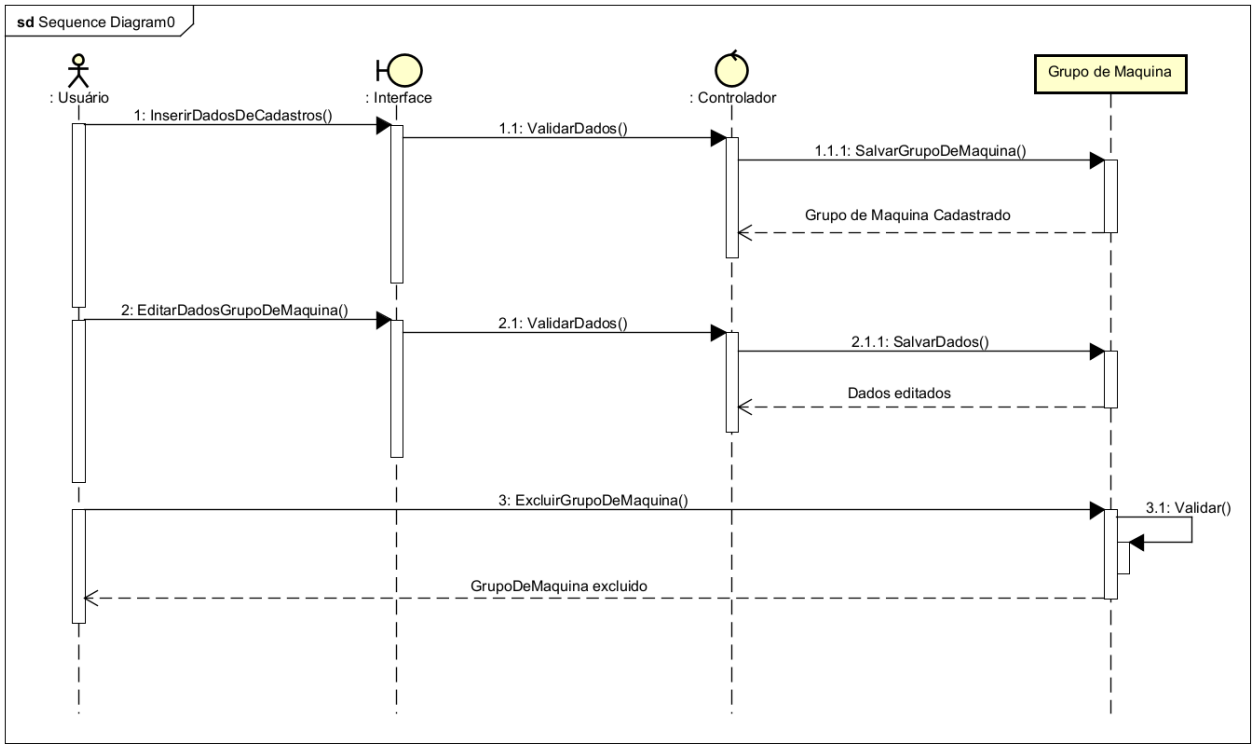


Fonte: Autoria própria (2025).

3.8.2. Diagrama de Sequência: Grupo de Máquina

A Figura 7 demonstra o diagrama de sequência do grupo de máquina. Este diagrama mostra como o sistema processa ações relacionadas ao cadastro, edição e exclusão de grupos de máquinas. Ele descreve a ordem das interações entre o usuário e o sistema.

Figura 7 – Diagrama de Sequência (Grupo de Máquina)

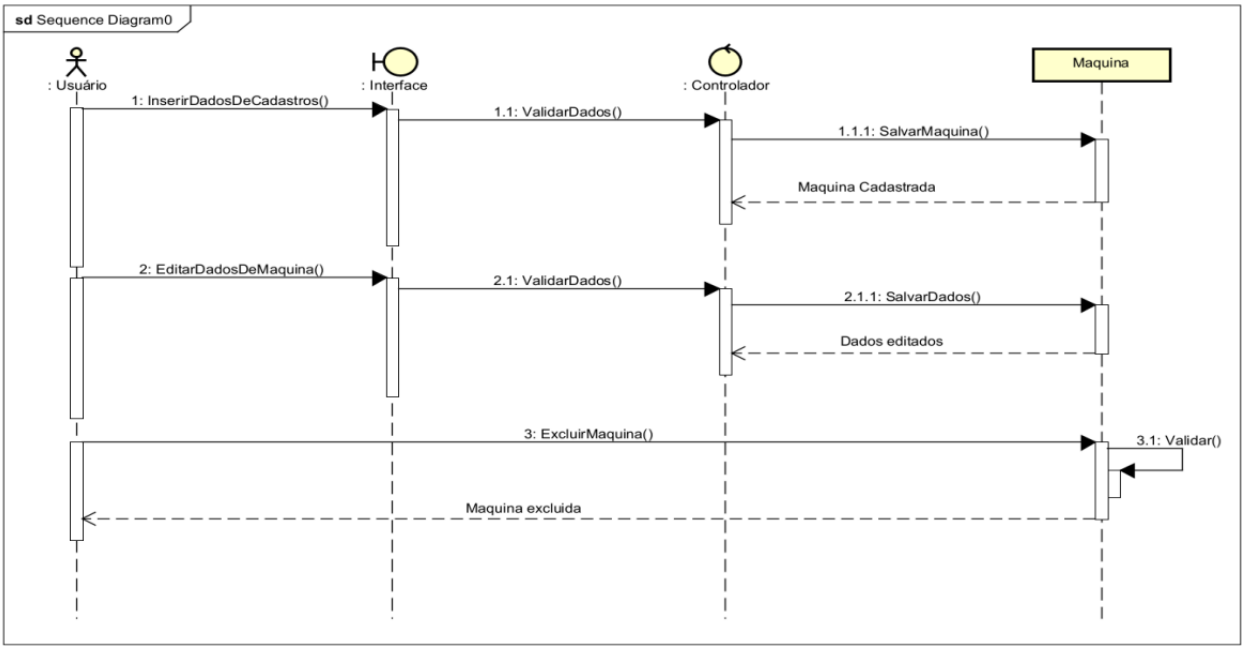


Fonte: Autoria própria (2025).

3.8.3. Diagrama de Sequência: Máquina

A Figura 8 demonstra o diagrama de sequência de máquina. Este diagrama mostra como o sistema processa ações relacionadas ao cadastro, edição e exclusão de máquinas. Ele descreve a ordem das interações entre o usuário e o sistema.

Figura 8 – Diagrama de Sequência (Máquina)

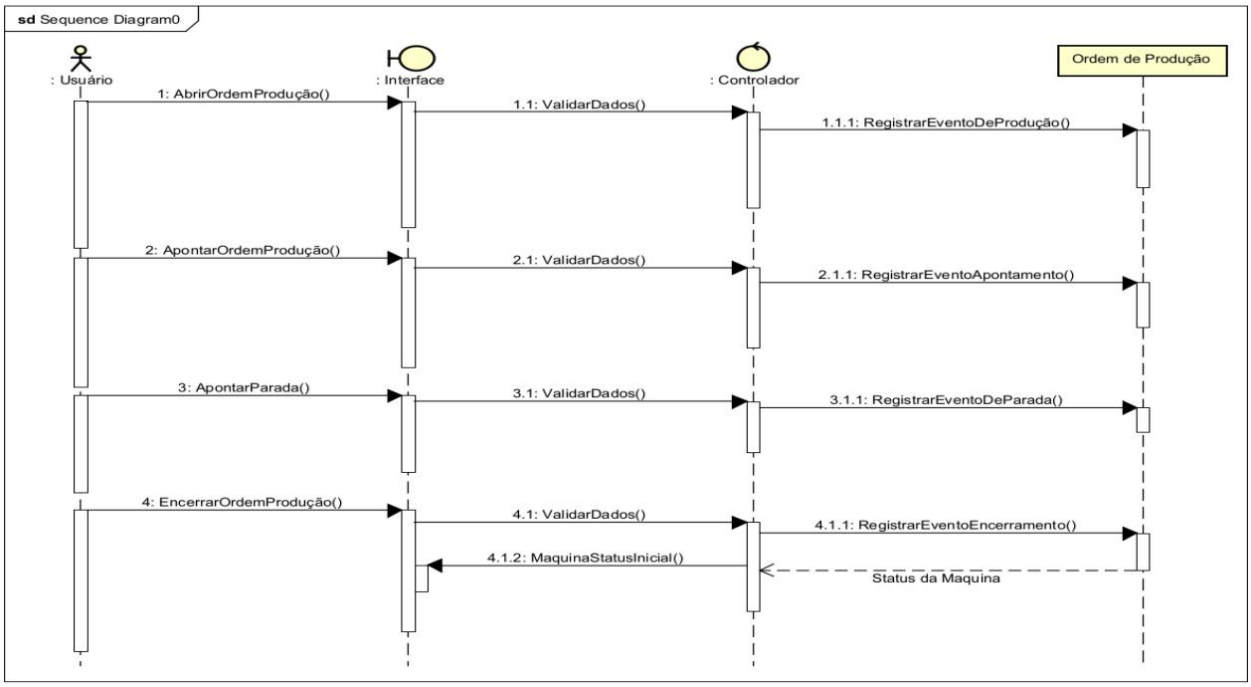


Fonte: Autoria própria (2025).

3.8.4. Diagrama de Sequência: Ordem de Produção

A Figura 9 demonstra o diagrama de sequência de ordem de produção. Este diagrama mostra como o sistema gerência as etapas de uma ordem de produção, desde a abertura até o encerramento. Ele detalha a sequência de interações entre o usuário e os componentes do sistema.

Figura 9 – Diagrama de Sequência (Ordem de Produção)



Fonte: Autoria própria (2025).

4. Resultados

A Seguir serão apresentadas as interfaces do sistema MES e como funciona cada uma de acordo com os casos de usos estipulados anteriormente neste documento.

4.1. Descrição Geral do Sistema

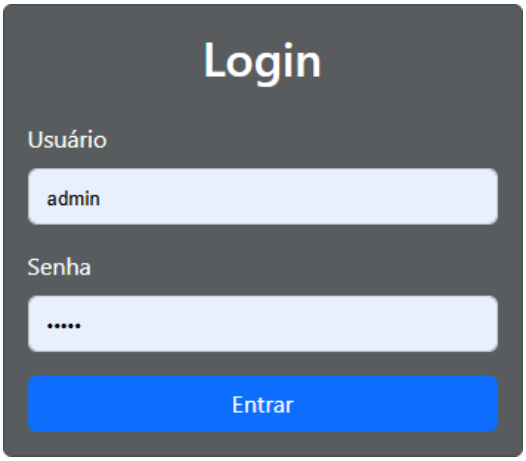
O sistema desenvolvido adota arquitetura modular, composta por três módulos interligados visão administrativa, visão operacional e módulo de integração física para atender às demandas de gestão e execução na Indústria 4.0. A entrada no sistema se dá por meio de uma tela de *login*, onde o usuário informa nome de usuário e senha para autenticação. Caso as credenciais sejam inválidas, uma mensagem de erro é apresentada, prevenindo o acesso não autorizado. Após o acesso, o usuário é direcionado à interface inicial, que centraliza as principais funcionalidades. Nela, destaca-se um menu de navegação para os cadastros do sistema e um painel inicial contendo opções de *Cadastros*, *Produção* (Operacional) e *Dashboard*.

O controle de permissões é implementado em nível de usuário e grupos, somente contas autorizadas ou em grupos previamente configurados no Django pelo administrador como orientado no diagrama de caso de uso, podendo acessar funções administrativas (como cadastrar usuários ou relacionar grupos). Dessa forma, gestores e administradores têm visibilidade ampliada, enquanto operadores dispõem apenas das ferramentas operacionais pertinentes ao seu perfil.

4.1.1. *Login*

Na Figura 10 será mostrado a tela de "*Login*" para o usuário adentrar no sistema com método de autenticação de usuário e senha.

Figura 10 – Tela de *Login*



Fonte: Autoria própria (2025).

Após preencher os campos usuários e senha, é preciso apertar o botão "Entrar" com um click do mouse ou pressionar a tecla "*Enter*", logo após o sistema fará a autenticação validando se o usuário e senha estão corretos.

4.1.2. *Login* – Mensagem de Erro

Caso não estiver correto, o sistema apresentara uma mensagem de erro mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Tela de *Login* com mensagem de erro

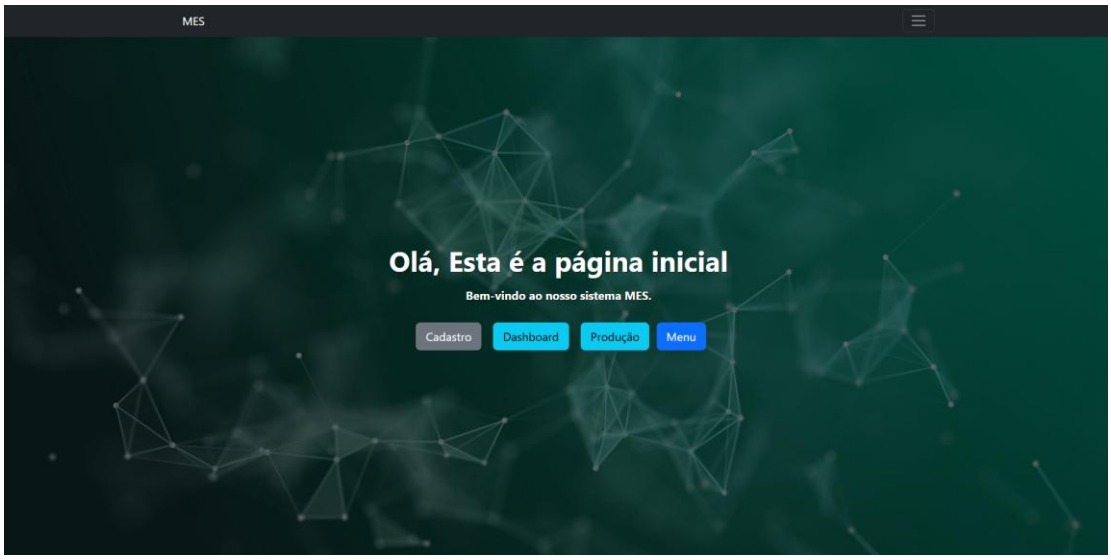
Fonte: Autoria própria (2025).

Após realizar a autenticação e ser validada com êxito, o usuário será redirecionado para a tela principal do sistema mostrado logo a baixo na Figura 12.

4.1.3. Tela Inicial

Na tela inicial do sistema, há os meios de navegação através dos botões de cadastro, *dashboard*, produção (tela redirecionada para os operadores) e menu, onde no menu pode-se acessar todos os cadastros e relatórios do sistema.

Figura 12 – Tela Inicial



Fonte: Autoria própria (2025).

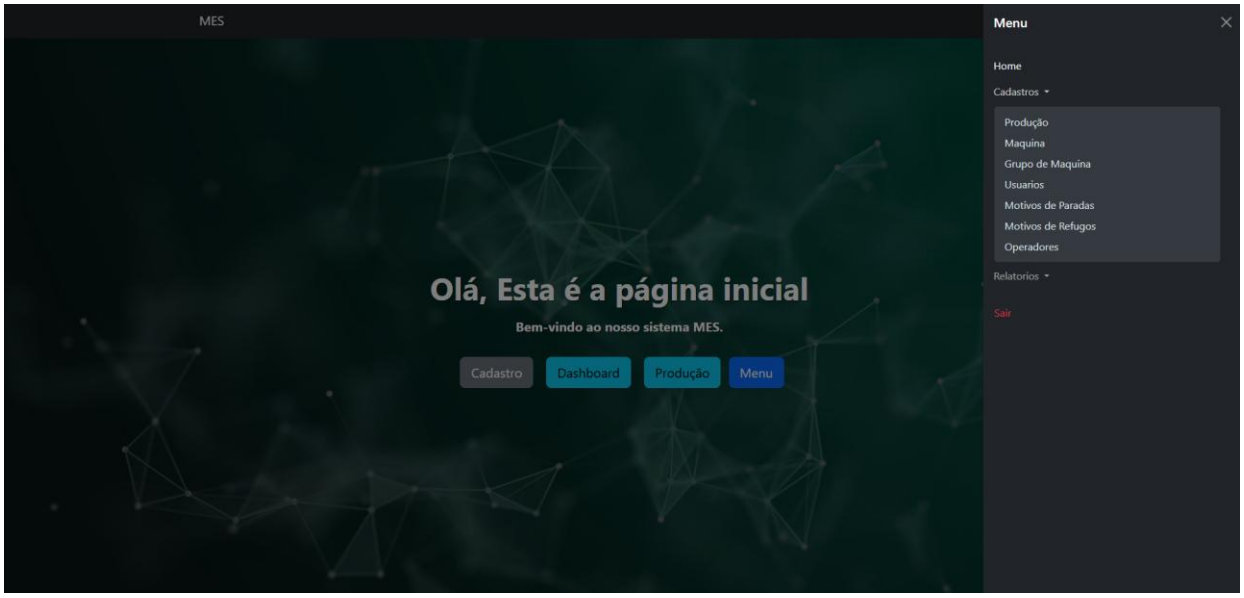
4.1.4. Menu

No Menu, pode-se navegar para os cadastros principais do sistema, onde sem eles não se pode realizar os próximos passos.

De acordo com o diagrama de caso de uso mostrado anteriormente, pode-se navegar para a tela de cadastro de grupo de máquinas, direcionando o *mouse* em cima do campo “Grupo de Máquinas” onde será cadastrado os grupos de máquinas e em seguida as máquinas. Após os dois cadastros realizados, pode-se cadastrar os operadores em “Operadores”, Ordens de produção em “Produção”, Motivos de Paradas e motivos de Refugos.

Para atividades administrativas como cadastro de usuários e relacionamento de Grupos de usuários, pode-se acessar tanto o botão “Cadastro” na tela inicial quanto “Usuários” no menu, essas duas navegações só serão permitidas o acesso se o usuário que fez login, estiver no grupo de permissões pré-configurados pelo admin, ou outro usuário que tiver permissão de relacionar grupos para o usuário.

Figura 13 – Menu

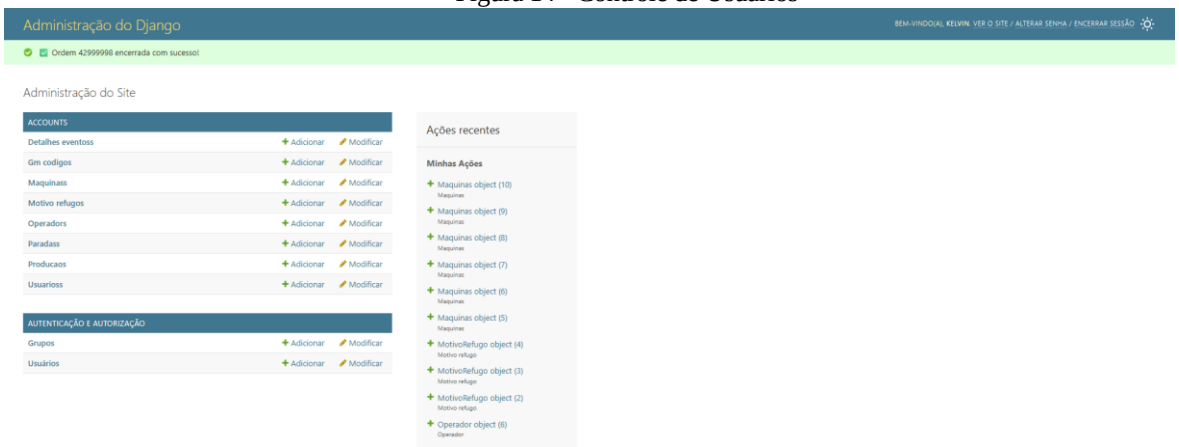


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.5. Tela Administrativa

Na Figura 14 (Controle de Usuários), temos a tela Administrativa do Django, onde pode-se fazer os relacionamentos necessários para o usuário ou grupo de usuários ter acesso e privilégios de navegações no sistema.

Figura 14 - Controle de Usuários

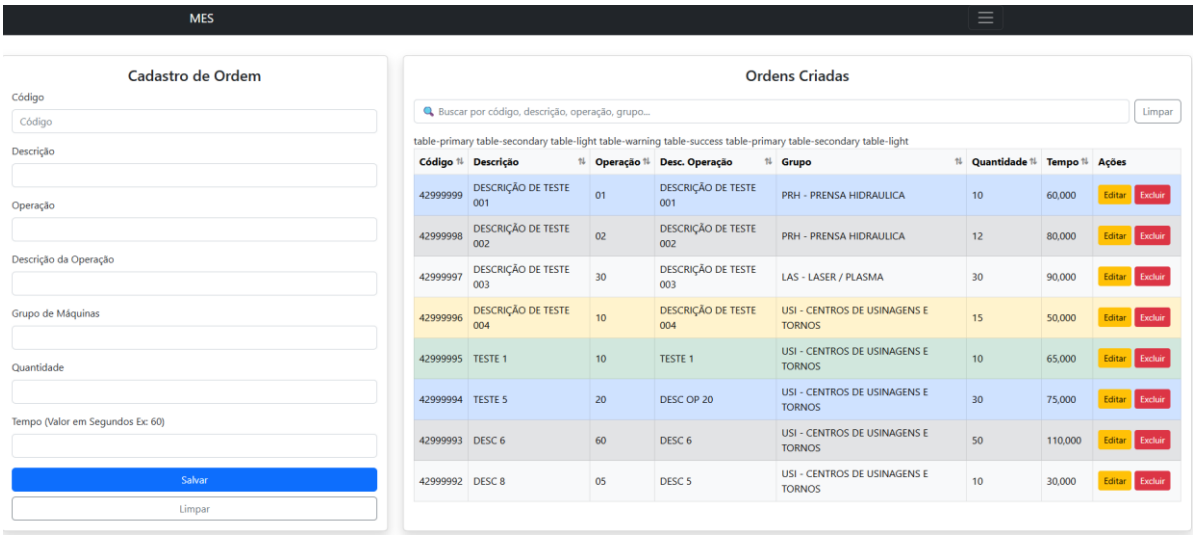


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.6. Ordens

Na Figura 15 (cadastros de ordens) pode-se realizar os cadastros de ordens com os seus respectivos dados de produção como código, (Número de identificação da ordem), Descrição, Operação, Descrição da operação, Grupo de Máquina, Quantidade e tempo estimado.

Figura 15 - Cadastro de Ordens

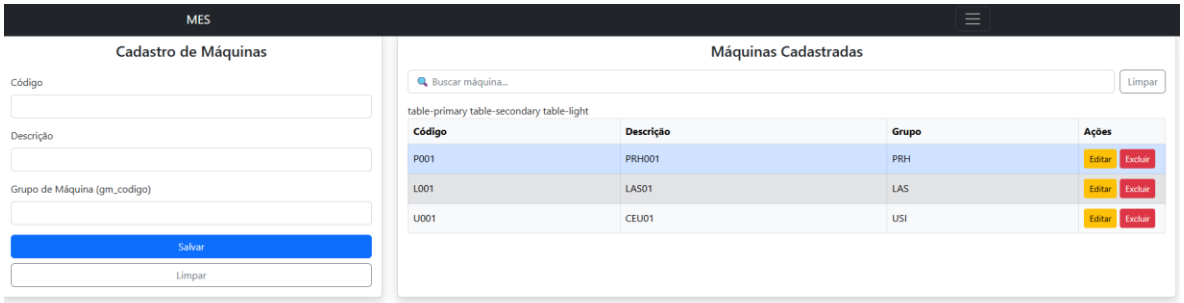


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.7. Máquinas

Na Figura 16 (cadastros de máquinas) pode-se realizar os cadastros de máquinas com os seus respectivos dados como o código da máquina, descrição e o grupo de máquina.

Figura 16 - Cadastro de Máquinas

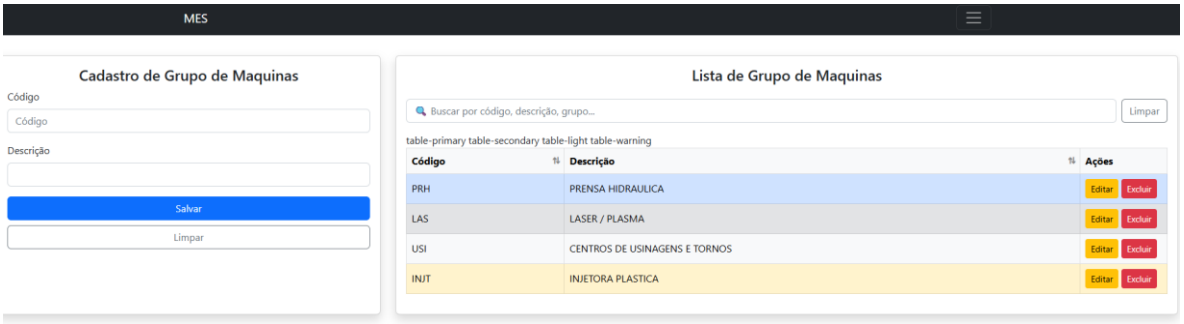


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.8. Grupo de Máquinas

Na Figura 17 (cadastros de grupos de máquinas) pode-se realizar os cadastros de Grupo de máquinas com os seus respectivos dados como o código do grupo e descrição do grupo de máquina.

Figura 17 - Cadastro de Grupo de Máquinas

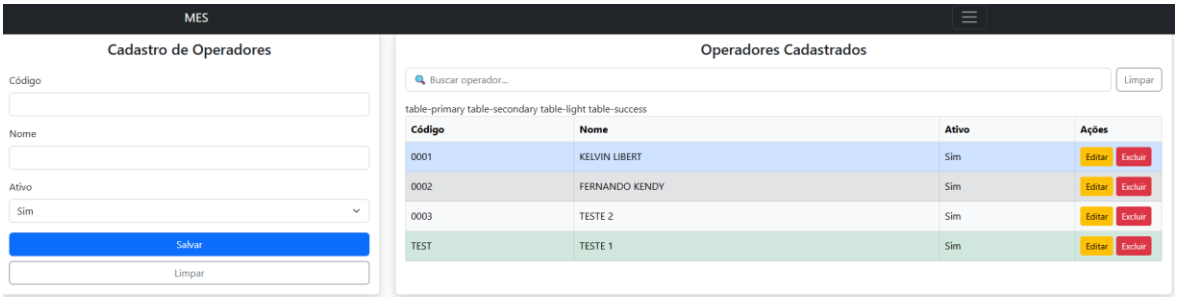


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.9. Operadores

Na Figura 18 (cadastros de operadores) pode-se realizar os cadastros de operadores com os seus respectivos dados como o código e descrição onde colocaremos o nome do colaborador ou o time/setor que está sendo realizado o apontamento.

Figura 18 – Cadastro de Operadores

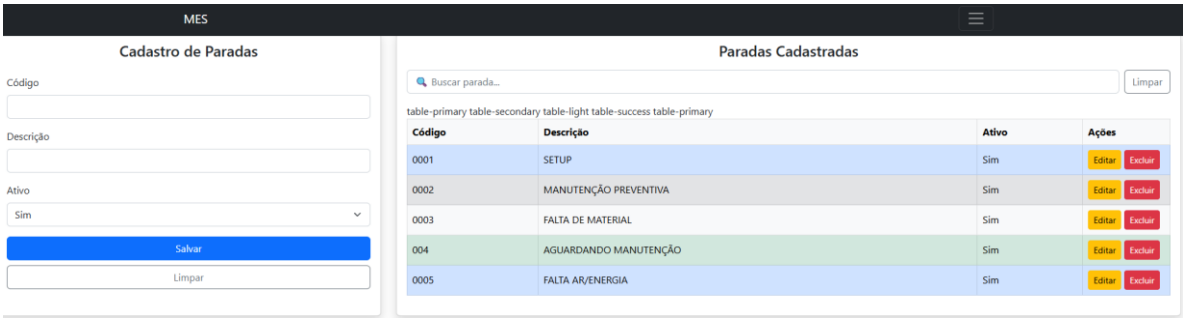


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.10. Paradas

Na Figura 19 (Motivos de paradas), pode-se cadastrar os motivos necessários para identificar alguns erros de processo ou detalhes que são interessantes analisar para ser mais preciso na tomada de decisões em melhorias no processo industrial.

Figura 19 – Motivos de Paradas

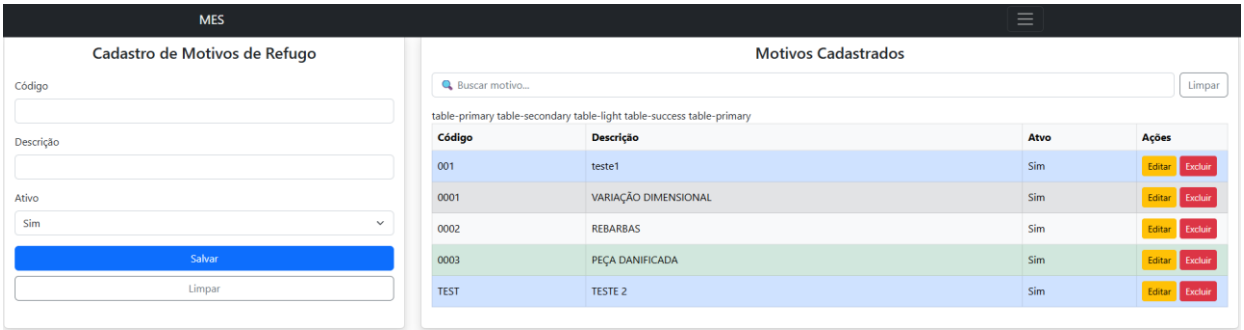


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.11. Refugos

Na Figura 20 (Motivos de refugos), pode-se cadastrar os motivos necessários para identificar os maiores erros de perda de materiais ou processo onde pode ser analisado posteriormente em detalhe de eventos.

Figura 20 – Motivos de Refugos

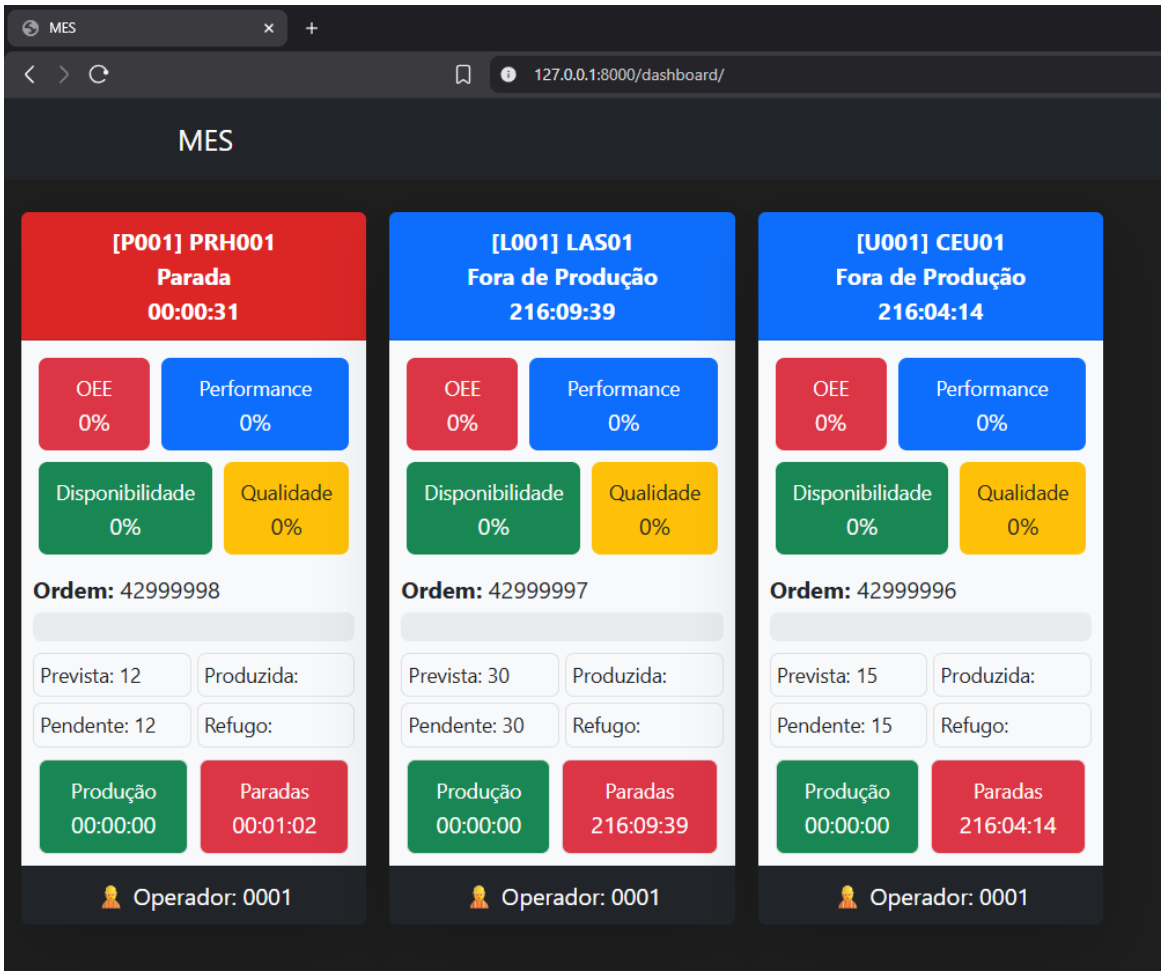


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.12. *Dashboard*

Na Figura 21 (*Dashboard*), é apresentado o *Dashboard*, um painel de máquinas mostrando os indicadores principais de cada uma, importantes para alcançar objetivos e metas traçadas de forma visual, facilitando a compreensão das informações geradas. O monitoramento de informações como: OEE, Performance, Disponibilidade, Ordem de produção, quantidade prevista, quantidade produzida, refugo pendente, tempo em parada e tempo em produção, são extremamente importantes para tomada de decisões imediatas, facilitando a gestão do líder ou responsável da produção do setor.

Figura 21 – *Dashboard*

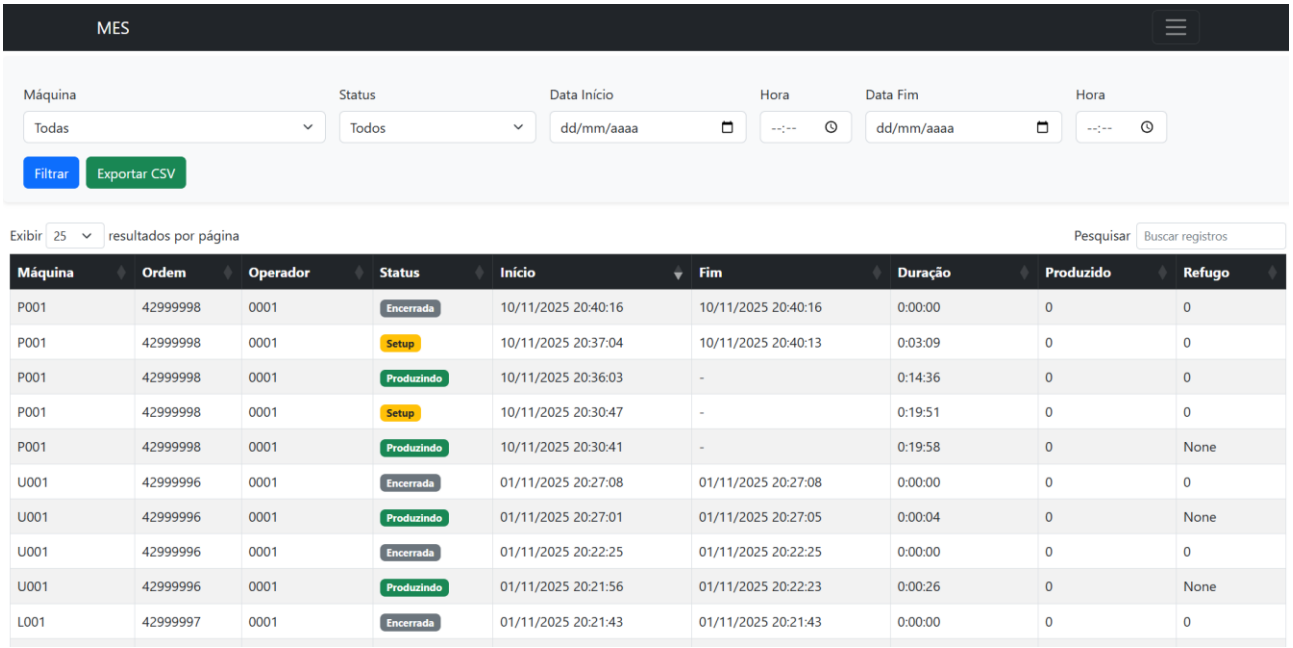


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.13. Eventos

Na Figura 22 (Detalhe de eventos), é apresentado o relatório de eventos, sendo manipulado pelos filtros acima como: máquina, status, início, fim, duração, produzindo e refugo, podendo também exportar os dados em csv.

Figura 22 – Detalhe de Eventos



Máquina	Ordem	Operador	Status	Início	Fim	Duração	Produzido	Refugo
P001	42999998	0001	Encerrada	10/11/2025 20:40:16	10/11/2025 20:40:16	0:00:00	0	0
P001	42999998	0001	Setup	10/11/2025 20:37:04	10/11/2025 20:40:13	0:03:09	0	0
P001	42999998	0001	Produzindo	10/11/2025 20:36:03	-	0:14:36	0	0
P001	42999998	0001	Setup	10/11/2025 20:30:47	-	0:19:51	0	0
P001	42999998	0001	Produzindo	10/11/2025 20:30:41	-	0:19:58	0	None
U001	42999996	0001	Encerrada	01/11/2025 20:27:08	01/11/2025 20:27:08	0:00:00	0	0
U001	42999996	0001	Produzindo	01/11/2025 20:27:01	01/11/2025 20:27:05	0:00:04	0	None
U001	42999996	0001	Encerrada	01/11/2025 20:22:25	01/11/2025 20:22:25	0:00:00	0	0
U001	42999996	0001	Produzindo	01/11/2025 20:21:56	01/11/2025 20:22:23	0:00:26	0	None
L001	42999997	0001	Encerrada	01/11/2025 20:21:43	01/11/2025 20:21:43	0:00:00	0	0

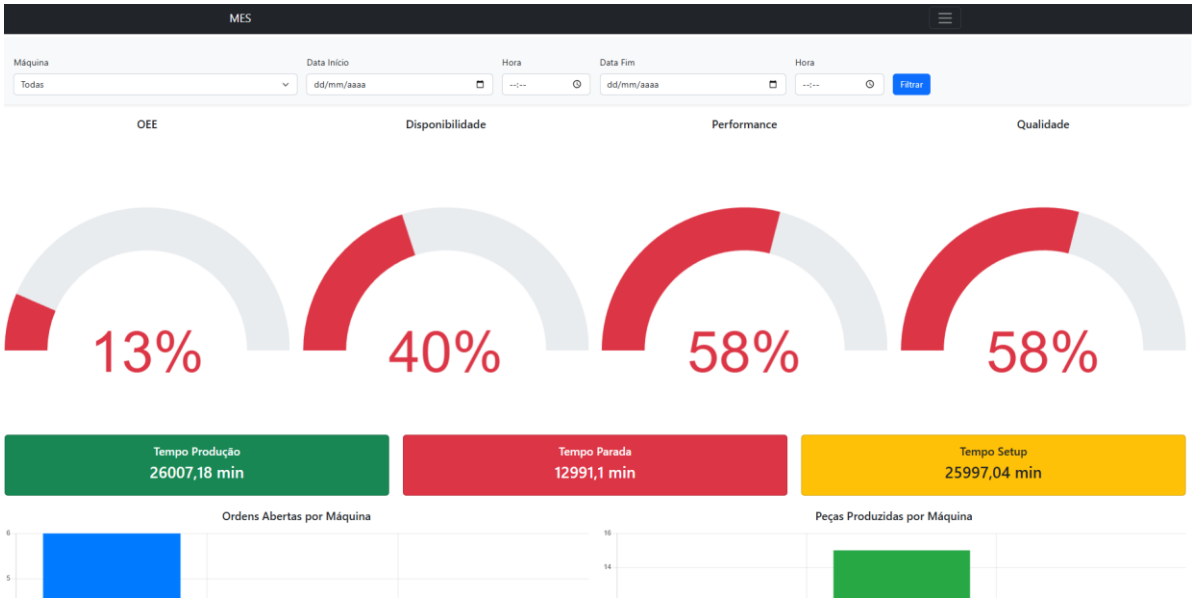
Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.14. Relatórios

Na Figura 23 (Relatórios), é apresentado os relatórios de indicadores qualitativos e quantitativos, sendo manipulados por seus filtros logo acima como: máquina, data início, hora, data fim, hora.

Cada indicador mostra o seu significado, Disponibilidade: total de tempo de produção com base no filtro indicado, Performance: tempo esperado x tempo realizado, Qualidade: total de refugos registrados sendo 0 refugo igual a 100% de qualidade e o Indicador OEE, que é a media dos 3 indicadores mostrados.

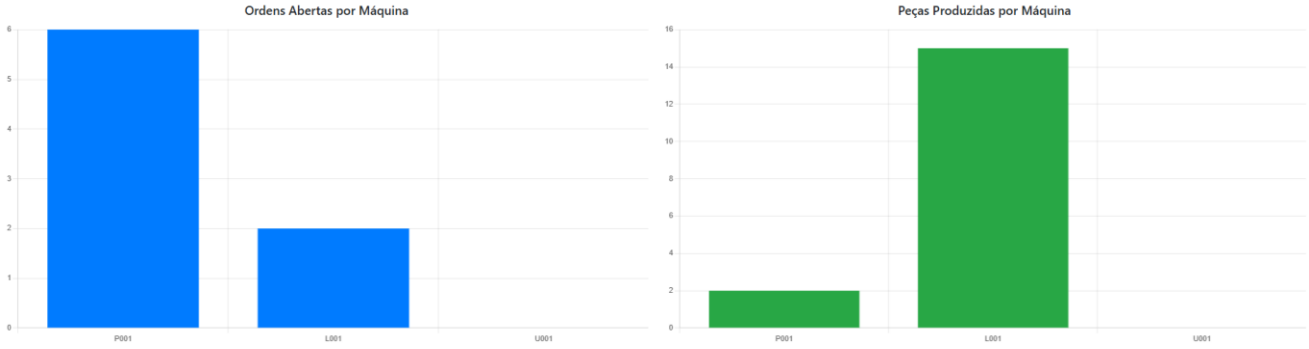
Figura 23 – Relatórios OEE



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 24 é apresentado a quantidade de ordens abertas e a quantidade de peças produzidas de acordo com o filtro estabelecido.

Figura 24 – Relatórios Quantitativos

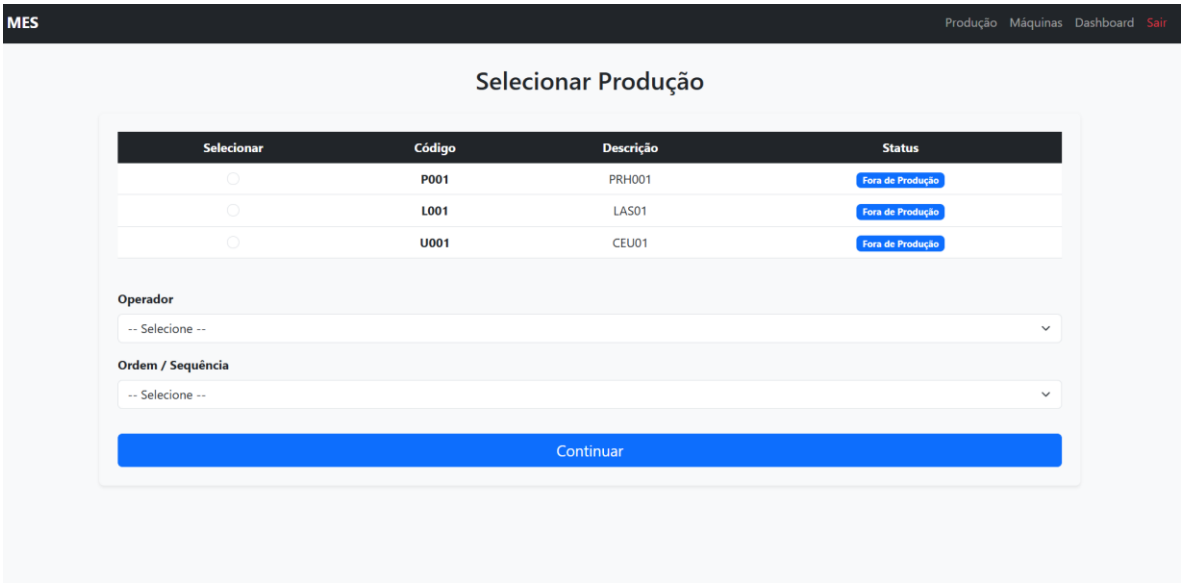


Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.15. Abertura de Ordens

Na Figura 25 é apresentado o início do processo operacional, onde o operador selecionara a máquina aonde ele irá abrir a ordem, nome do operador e ordem de produção. Neste momento ao clicar em continuar o sistema irá fazer uma validação comparando a máquina selecionada com a ordem selecionada, se a ordem não for do mesmo grupo de máquina da máquina, o fluxo não continua e volta para a tela de seleção novamente, só permitindo registrar um processo de produção na máquina com uma ordem do mesmo grupo de máquina.

Figura 25 – Abertura de Ordens



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.16. Tela inicial Operacional

Na Figura 26, após ser validado o grupo de máquina da ordem com a máquina selecionada, o usuário é redirecionado para a tela operacional, onde irá mostrar os dados da ordem, onde o operador poderá registrar os eventos de produção, refugo, parada, setup e encerramento da ordem.

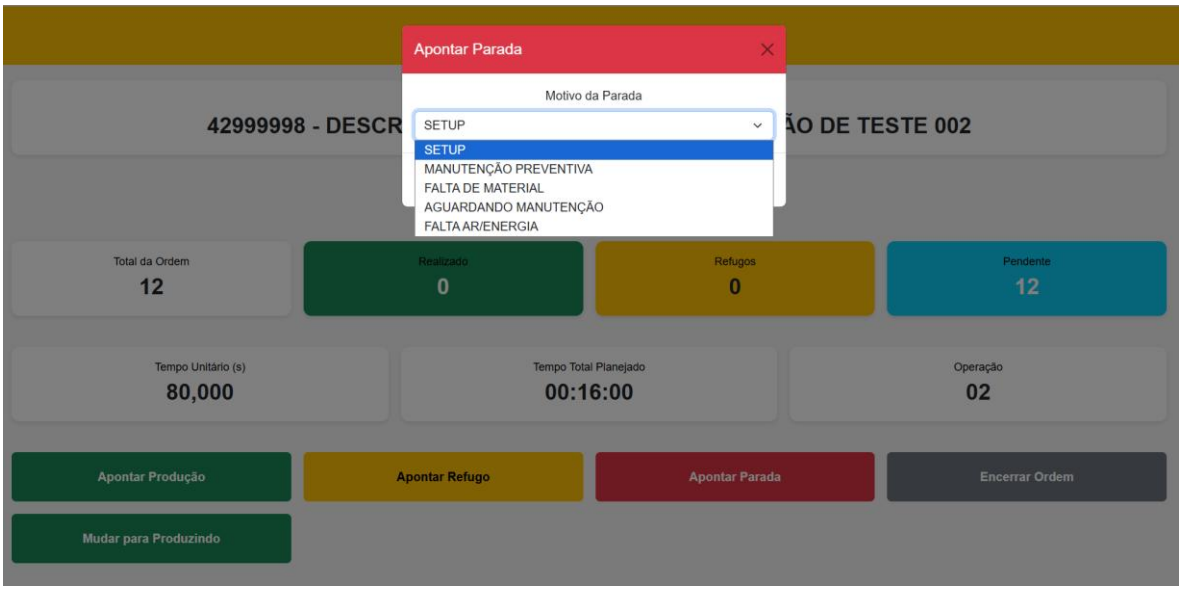
Figura 26 – Tela Inicial Operacional (Parada)

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.17. Registro de Paradas

Na Figura 27, ao clicar em “Apontar Parada” abre-se um pop-up mostrando as paradas cadastradas no sistema podendo escolher uma para registrar a situação/motivo da parada.

Figura 27 – Registro de Paradas



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.18. Setup

Na Figura 28, ao selecionar a parada Setup, é registrado o evento, para ser analisado o tempo decorrido gasto de setup na ordem, setup é identificado como amarelo, como um sinal de atenção para a máquina e para quem visualiza o *dashboard*.

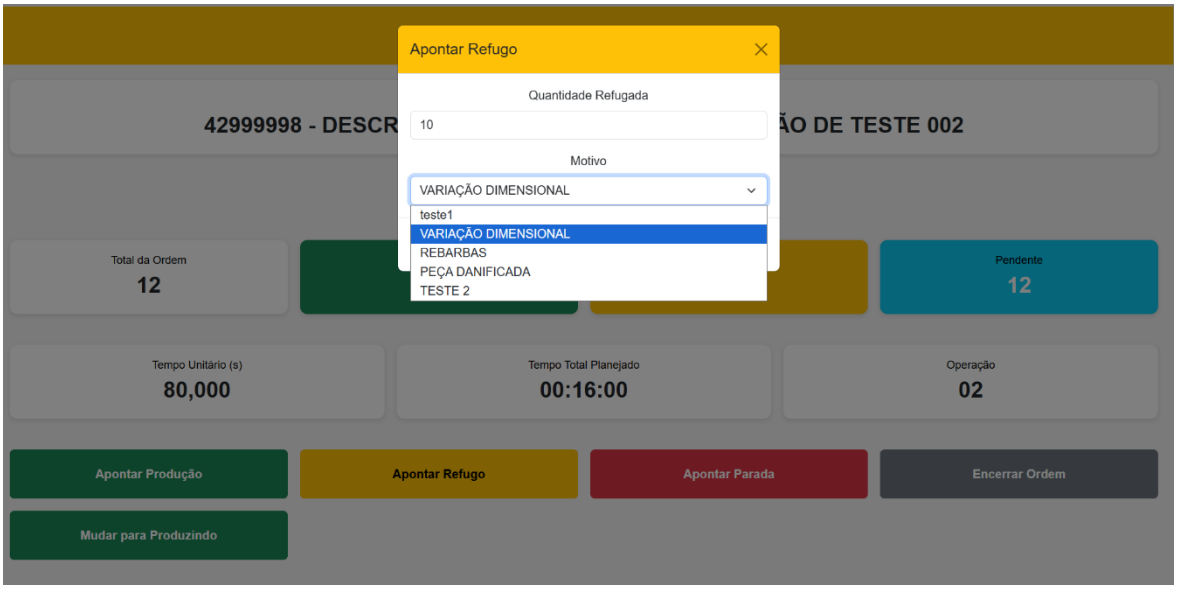
Figura 28 - Setup

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.19. Registro de Refugos

Na Figura 29, ao clicar em “Apontar Refugo”, abre-se um pop-up para ser registrado o evento do refugo, com a quantidade a ser refugada e o motivo do refugo.

Figura 29 – Registro de Refugos



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.20. Produzindo

Na Figura 30, pode-se visualizar que a barra superior mudou para a cor verde identificando que a máquina entrou em produção, pode ser registrado tanto manualmente caso a máquina não possua infraestrutura com sinais de produção ou, através de aparelhos I/O como Arduíno ou ESP32 ligados a máquina, enviando o status da máquina para o sistema.

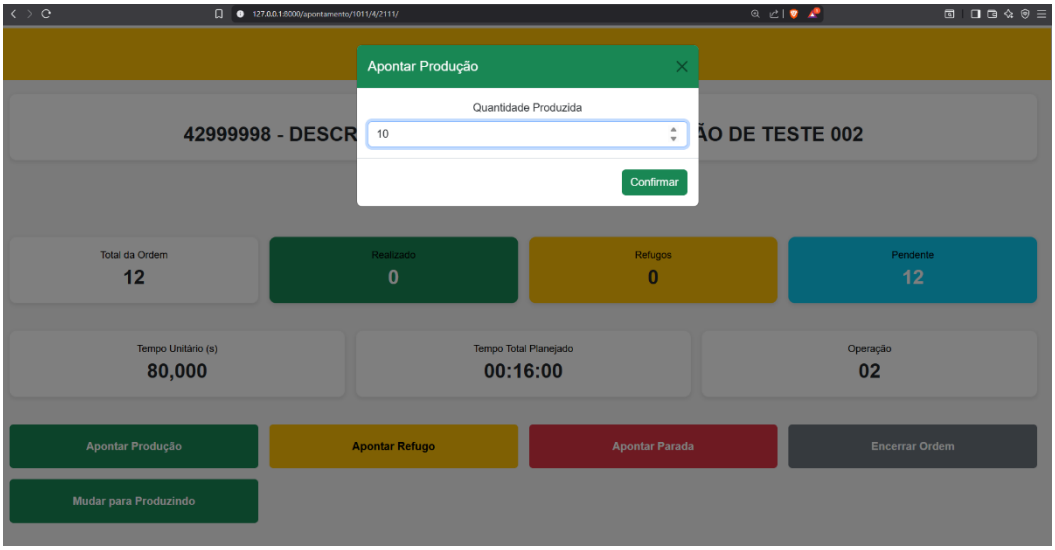
Figura 30 – Contabilizando Produção

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.21. Apontamento

Na Figura 31, ao clicar em “Apontar produção”, abre-se um pop-up, para registrar a quantidade de peças realizadas na ordem.

Figura 31 - Apontamento



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1.22. Encerrando Processo

Na Figura 32, ao clicar em “Encerrar Ordem”, abre-se um pop-up de confirmação para o operador, para ele registrar o evento de encerramento da ordem.

Figura 32 – Encerramento

Fonte: Autoria própria (2025).

5. Conclusão

O desenvolvimento do sistema MES demonstrou ter alcançado os objetivos esperados, ainda que restrito a um ambiente de testes. Como resultado, foi possível validar a tela operacional, que contempla funcionalidades como apontamento de produção, registro de status de parada, apontamento de refugo com seus respectivos motivos e o encerramento da ordem de produção. Também foi construída a tela de monitoramento (*dashboard*), permitindo acompanhar em tempo real o status da máquina, seus indicadores e a situação geral do processo produtivo.

Na parte administrativa, foram implementados recursos para cadastro de operadores, usuários, máquinas, ordens de produção e demais entidades necessárias para a gestão integrada. Além disso, o sistema demonstrou capacidade de gerar relatórios analíticos, que apoiam gestores na avaliação da eficiência e na análise dos dados coletados.

Embora não tenha sido implantado em ambiente produtivo real, os testes realizados confirmaram que a solução atende às funcionalidades previstas e se mostra alinhada aos princípios da Indústria 4.0, promovendo maior confiabilidade dos dados, padronização das operações e integração entre planejamento e execução. Essa convergência reforça a relevância do projeto como prova de conceito, evidenciando seu potencial para reduzir desperdícios, melhorar a qualidade dos produtos e aumentar a produtividade quando aplicado em um contexto fabril.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. Arduino *IDE* [software]. Versão 2.3.6. Itália: **Arduino**, 2025. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: 23 maio 2025.

BUZAN, Tony. ***Mapas Mentais e sua Elaboração: um sistema definitivo de pensamento que transformará a sua vida***. São Paulo: Cultrix, 2009.

CATTARUZZI, Ricardo Figueiroa; CHICAROLI, Rodrigo. ***Desenvolvimento de um sistema MES* (*Manufacturing Execution System*)**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/item/001418727>. Acesso em: 26 abr. 2025.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). ***Indústria 4.0: arcabouço normativo para a implementação da Indústria 4.0 no Brasil***. Brasília, DF: CGEE, 2021. Série Documentos Técnicos, n. 29. 210 p. ISBN 978-65-5775-027-8.

CHANGE VISION INC. ***Astah Professional*. Versão 9.** Tokyo: Change Vision Inc., 2025. Disponível em: <https://astah.net/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

FORD, Simon; DESPEISSE, Mélanie. ***Additive manufacturing and sustainability*: an *exploratory study of the advantages and challenges*. *Journal of Cleaner Production***, v. 137, p. 1573–1587, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>. Acesso em: 30 maio 2025.

HAAG, Sebastian; ANDERL, **Reiner**. ***Digital Twin – Proof of Concept. Manufacturing Letters***, v. 15, p. 64–66, 2015.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. ***Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*.** 2016.

HOBSBAWM, Eric J. ***Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo***, 5° edição 2000, editora Forense Universitária.

IGLÉSIAS, Francisco. ***A Revolução Industrial***, 5° edição 1984, editora Brasiliense.

KLETTI, Jürgen. ***MES – Manufacturing Execution System***. Berlin: *Springer-Verlag*, 2007. (***Springer Series in Advanced Manufacturing***).

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. ***A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters***, v. 3, p. 18–23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. Acesso em: 30 maio 2025.

LUTZ, Mark. ***Learning Python***. 5. ed. Beijing: O'Reilly Media, 2013.

MESA *INTERNATIONAL*. ***Modelo colaborativo de próxima geração para sistemas MES***: *white paper* nº 8. Chandler, AZ: MESA *International*, 2004.

MICROSOFT CORPORATION. ***Visual Studio Code*** **[software]**. Versão 1.88.1 Redmond, WA: Microsoft, 2025. Disponível em: <https://code.visualstudio.com/>. Acesso em: 23 maio 2025.

PRESSMAN, R. S. ***Engenharia de Sofware - Uma Abordagem Profissional***. 7ª edição. McGraw Hill: 2009. 2011 p.

ROB, Peter; CORONEL, Carlos. ***Sistemas de Banco de Dados***. 7. ed. São Paulo: Cengage *Learning*, 2007.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. ***Inteligência Artificial***. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2013. ISBN 9788576059086.

WAMBA, Samuel Fosso et al. ***Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities.*** *Journal of Business Research*, v. 70, p. 356–365, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.009>. Acesso em: 30 maio 2025.

XMIND LTD. *XMind* – ***Mind Mapping Software***. Versão 23. Beijing: XMind Ltd., 2025. Disponível em: <https://xmind.app/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

XU, Li Da; HE, Weijun; LI, *Shancang*. ***Internet of Things in Industries*: A *Survey***. IEEE *Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, nov. 2014.Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6714496>. Acesso em: 30 maio 2025.