



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Inês Carvalho Ribeiro Rodrigues Martins

**Análise e Desenvolvimento de uma Aplicação
de Monitorização de Produção**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins
Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho

Outubro de 2017

DECLARAÇÃO

Nome: Inês Carvalho Ribeiro Rodrigues Martins

Endereço eletrónico: inescrrmartins@gmail.com

Telefone: 913075596

Cartão do Cidadão: 14613839

Título da dissertação: Análise e Desenvolvimento de uma Aplicação de Monitorização de Produção

Orientadores:

Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins

Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia de Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 25/10/2017

Assinatura: *Inês Martins*

AGRADECIMENTOS

O meu sincero agradecimento a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho, em especial:

À minha família por todo o apoio dado nesta etapa e pelo esforço realizado para que alcançasse os meus objetivos.

Ao meu namorado, que sempre me apoiou.

Ao meu orientador, o professor doutor Paulo Martins e co-orientador, o professor doutor Dinis Carvalho, pelo envolvimento nas diferentes fases da realização deste trabalho.

Aos engenheiros Hélder Cardoso e Álvaro Araújo e doutora Ana Paula Vagaroso pelo apoio e disposição com que me receberam, assim como todos os restantes colaboradores pelo carinho e auxílio no período de tempo em que efetuei o meu estágio.

Um agradecimento geral à Vishay Eletrónica Portugal, pela cedência das imagens da empresa para ilustrar esta dissertação.

RESUMO

Atualmente, do ponto de vista industrial, a procura crescente de mercado e a concorrência elevam a exigência, sendo necessário que as empresas industriais entreguem os seus produtos com a melhor qualidade, no menor intervalo de tempo possível.

Desta forma é imprescindível que internamente sejam efetuadas melhorias contínuas para alcançar e ultrapassar a concorrência através da conquista do mercado com produtos de excelência.

Através de melhorias contínuas aplicadas nas instalações, nos equipamentos de produção e nas políticas de internas é possível reduzir os tempos resultantes da produção até à entrega do produto final.

Este projeto terá como base o estudo das manutenções corretivas, recolhendo o máximo de informação possível para a análise das diferentes métricas utilizadas.

O desenvolvimento do *software* de monitorização de produção tem como função o registo de todas as ações como a produção e paragens de máquinas, pretendendo-se obter um registo dos diferentes estados em que as máquinas estiveram presentes, no setor da bobinagem, para que sejam calculados vários indicadores de desempenho com função de avaliar a disponibilidade das máquinas num período de tempo específico, seja para monitorização da produção, definição de objetivos ou comparação de valores.

O objetivo do desenvolvimento deste programa é a redução de tempos de paragem das máquinas, com o apoio de uma funcionalidade que permite visualizar o estado do *shop floor* em tempo real, de forma intuitiva para todos os colaboradores que se encontrem no setor.

Para ser conhecida a influência do *software* desenvolvido e suas potencialidades, foram calculados indicadores de desempenho antes e depois da implementação, assim como métricas específicas de paragens de máquinas.

Após a implementação da aplicação desenvolvida, os resultados dos vários indicadores descritos anteriormente apontam para a conclusão do objetivo de redução dos tempos de paragens das máquinas atingido com sucesso.

Palavras-Chave: Monitorização de produção, Manutenções Corretivas, *Software*, Indicadores de Desempenho

ABSTRACT

Currently, from an industrial point of view, the demands of the market and increasing competitors are becoming more and more demanding and it is necessary that industrial enterprises deliver products with the best quality and in the smaller time interval as possible.

Therefore, it is mandatory that internally are performed continuous improvements to reach and surpass competitors by dominating the market with excellent products.

Through continuous improvements in installations, production equipment and intern policies, it is possible to reduce the time elapsed from production start to the delivery of the final product.

This project will be based on the study of corrective maintenance, collecting as much information as possible to analyze all the metrics used.

The development of production monitoring software has the function of record all actions, like production and machine breakdowns, in order to obtain a record of the different states in which the machines were submitted in the defined sector, so that performance indicators can be used to evaluate the availability of the machines in a specific period of time, to production monitoring, definition of objectives or comparison of values.

The objective of the development of this program is to reduce machine downtime times, through the support of a second screen that will demonstrate the state of the shop floor in real time, in an intuitive way for all employees who are in the sector.

In order to know the benefits of the developed software and the potential of the data collected, performance indicators were studied before and after implementation, as specific metrics of machine breakdowns.

After the implementation of the application developed, severall indicators previously described point to the conclusion of the goal of reducing the failure times with success.

Keywords: Production Monitoring, Corrective Maintenance, Software, Performance Indicators

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2. Enquadramento Concetual.....	5
2.1 Manutenção Corretiva e Preventiva	5
2.2 Especificação de Requisitos	6
2.3 Modelação de Processos	7
2.3.1 Diagramas de Casos de Uso	8
2.3.2 Diagramas de Processos- Business Process Model and Notation	9
2.4 Modelação de Base de Dados.....	11
2.4.1 Modelo Conceptual: Entidades-Relacionamentos	12
2.4.2 Modelo Lógico: Relacional.....	14
2.5 Indicadores de Desempenho	15
2.5.1 OEE.....	16
2.5.2 Método Multimomento: Registo de Tempos de Paragens de Máquinas	19
2.5.3 MTBF	20
2.5.4 MTTR	21
3. A Empresa: Vishay Eletrónica Portugal	22
3.1 Caracterização da Vishay Intertechnology	22
3.2 História do grupo	22
3.3 Caracterização da Vishay Eletrónica Portugal	23

3.4	Unidades Organizacionais	23
3.5	Estratégia Empresarial	24
3.6	Área de Negócio.....	24
3.7	Principais Clientes e Mercado.....	25
4.	Caracterização da situação atual	27
4.1	Processo da Bobinagem	27
4.2	Controlo de Produção e de Paragens	28
5.	Definição e Análise do VEPGPM	34
5.1	Especificação de Requisitos Funcionais	34
5.2	Especificação de Requisitos Não Funcionais	35
5.3	Modelação de Processos	35
5.3.1	Diagramas de Casos de Uso	35
5.3.2	Diagramas de Atividades- Business Process Model and Notation	40
5.4	Modelação de Base de Dados.....	43
5.4.1	Modelo Conceptual: Entidades-Relacionamentos	43
5.4.2	Modelo Lógico: Relacional.....	44
5.5	Definição da estrutura do Software VEPGPM	47
5.5.1	Operadores	49
5.5.2	Manutenção	52
5.5.3	Responsável do setor.....	56
6.	Indicadores de Desempenho	61
6.1	Indicador OEE	61
6.1.1	Disponibilidade	61
6.1.2	Desempenho	64
6.1.3	Qualidade.....	66
6.1.4	Máquina M2 101	67
6.1.5	Máquina STELLA 63	68
6.2	Método Multimomento: Registo de Tempos de Paragens de Máquinas	70
6.2.1	Evolução e Análise das paragens de máquinas no tempo estudado	71

6.2.2	Indicador MTBF	75
6.2.3	Indicador MTTR	77
7.	Análise Dos Resultados	81
7.1	Indicador OEE	81
7.2	Análise Multimomento	82
7.3	MTBF e MTTR	85
8.	Conclusões	87
8.1	Conclusões Finais	87
8.2	Trabalho Futuro	88
	Bibliografia	89
	Anexo I - Diagramas de Casos de Uso	92
	Anexo II – Diagramas de Atividades	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ator	8
Figura 2: Casos de Uso	8
Figura 3: Ligação de Associação	9
Figura 4: Ligação de Generalização.....	9
Figura 5: Ligação de Inclusão	9
Figura 6: Ligação de Expansão	9
Figura 7: Atividades	10
Figura 8: Eventos	10
Figura 9: Decisão	10
Figura 10: Swimlanes.....	11
Figura 11: Artefactos	11
Figura 12: Conectores	11
Figura 13: Modelo E-R: Entidade.....	13
Figura 14: Modelo E-R: Atributo e Atributo Chave	13
Figura 15: Modelo E-R: Relacionamento.....	13
Figura 16: Modelo E-R: Cardinalidade	13
Figura 17: Modelo Relacional: Entidade	15
Figura 18: Modelo Relacional: Relação entre tabelas por Chaves Estrangeiras	15
Figura 19: Fábrica Vishay Electrónica Portugal, Lda (Cortesia VEP, 2017).	23
Figura 20: Produtos da VEP (Cortesia VEP, 2017).....	25
Figura 21: Clientes e Mercado VEP (Cortesia VEP, 2017)	26
Figura 22: Encomenda de Produção	28
Figura 23: Folha de Dados de Produção da Bobinagem	29
Figura 24: Modelo BOB-011	30
Figura 25: Identificação da caixa.....	30
Figura 26: Cartão de avarias da máquina 64	31
Figura 27: Códigos de avarias.....	32
Figura 28: Novos Códigos de Paragem	33
Figura 29: Caso de Uso Produção: Processo Manual.....	36
Figura 30: Caso de Uso Paragens: Processo Manual.....	37

Figura 31: Caso de Uso Produção: VEPGPM	38
Figura 32: Caso de Uso Paragens: VEPGPM	39
Figura 33: Caso de Uso Responsável do Setor: VEPGPM	40
Figura 34: BPMN Processo Manual.....	41
Figura 35: BPMN do VEPGPM	42
Figura 36: Modelo E-R.....	43
Figura 37: Modelo Relacional.....	44
Figura 38: Representação do shop floor	47
Figura 39: Exemplo da representação das máquinas.....	48
Figura 40: Página inicial do programa.....	48
Figura 41: Ecrã do Menu dos Operadores.....	49
Figura 42: Ecrã de Introdução de Ordens de Produção.....	50
Figura 43: Ecrã de Término de Trabalhos	51
Figura 44: Ecrã precedente aos Términos de Trabalhos	51
Figura 45: Ecrã de Registo de Avaria- Inserção do código de barras.....	51
Figura 46: Ecrã de Registo de Avarias- Categorização da Avaria.....	52
Figura 47: Ecrã de Fim de Turno	52
Figura 48: Ecrã Menu da Manutenção	53
Figura 49: Ecrã de Listagem de Avarias	53
Figura 50: Ecrã de Confirmação de Resolução	54
Figura 51: Ecrã das Minhas Avarias	54
Figura 52: Ecrã de Conclusão de Intervenção.....	55
Figura 53: Ecrã de Inserção do Código de Avarias.....	55
Figura 54: Ecrã de Origem da Avaria Errada	55
Figura 55: Ecrã de libertação de libertação de trabalhos.....	56
Figura 56: Ecrã do Menu do Responsável do Setor.....	56
Figura 57: Ecrã do Corte de Energia	57
Figura 58: Ecrã de inserção de um novo código de avaria	57
Figura 59: Ecrã de Geração de Passwords	58
Figura 60: Ecrã de Administração de Tarefas na Produção.....	58
Figura 61: Ecrã do Menu de Administrar Tarefas de Manutenção	59
Figura 62: Ecrã de Administração de Tarefas de Manutenção à Espera	59

Figura 63: Ecrã de Administração de Tarefas na Manutenção.....	60
Figura 64: Fator Disponibilidade na máquina M2 101 e STELLA 63	62
Figura 65: Tipos de Paragens ocorridas na máquina STELLA 63	63
Figura 66: Paragens ocorridas na Máquina M2 101	63
Figura 67: Fator Desempenho na máquina M2 101 e STELLA 63	64
Figura 68: Percentagem de Tempo de Ciclo Excedente da máquina STELLA 63	65
Figura 69: Percentagem de Tempo de Ciclo Excedente da máquina M2 101	66
Figura 70: Fator Qualidade na máquina M2 101 e STELLA 63	66
Figura 71: OEE da M2 101.....	67
Figura 72: M2 101: Fatores do OEE.....	68
Figura 73: OEE da máquina M2 101	68
Figura 74: OEE da STELLA 63	69
Figura 75: STELLA 63: Fatores do OEE.....	69
Figura 76: OEE da máquina STELLA 63.....	70
Figura 77: Diagrama Spaguetti da Bobinagem	71
Figura 78: Evolução numérica dos Estados.....	72
Figura 79: Evolução percentual dos estados.....	73
Figura 80: Evolução das paragens	74
Figura 81: MTBF Máquina 1 a 94.....	75
Figura 82: MTBF Máquina 95 a 406.....	76
Figura 83: Evolução do MTBF	77
Figura 84: MTTR Máquina 1 a 94	77
Figura 85: MTTR Máquina 95 a 406	78
Figura 86: Evolução do MTTR.....	79
Figura 87: OEE da máquina M2 101 e STELLA 63.....	82
Figura 88: Estados das Máquinas	83
Figura 89: Paragens em março e junho	83
Figura 90: Evolução do MTBF vs MTTR.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição do Caso de Uso Produção: Processo Manual	36
Tabela 2: Descrição do Caso de Uso Paragens: Processo Manual.....	37
Tabela 3: Descrição do Caso de Uso Produção: VEPGPM	38
Tabela 4: Descrição do Caso de Uso Paragens: VEPGPM	39
Tabela 5: Descrição do Caso de Uso Responsável do Setor: VEPGPM.....	40
Tabela 6: Entidade Utilizador	45
Tabela 7: Entidade Codigo_Estado.....	45
Tabela 8: Entidade Registo_Tempo	45
Tabela 9: Entidade Codigo_Avaria.....	46
Tabela 10: Entidade Categoria	46
Tabela 11: Entidade Logs	46
Tabela 12: Entidade Turnos	46
Tabela 13: Minutos parados nos Estados das Máquinas (antes da implementação)	73
Tabela 14: Minutos num turno por Estados de Máquinas	84
Tabela 15: Diferença de tempos após implementação do VEPGPM	84
Tabela 16: Valores médios MTBF e MTTR	86

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

VEPGPM - Vishay Enterprise Portugal Gestor de Paragens de Máquinas

OEE - Overall Effectiveness Equipment

MTBF- Mean Time Between Failure

MTTR- Mean Time To Repair

BPMN- Business Process Model and Notation

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será desenvolvida a dissertação “Análise e Desenvolvimento de uma Aplicação de Monitorização de Produção” no âmbito do Mestrado de Engenharia de Sistemas, da Universidade do Minho, desenvolvida na empresa Vishay Eletrónica Portugal.

Sendo apresentado o enquadramento do projeto de dissertação, assim como a motivação e objetivos a alcançar, a metodologia de investigação utilizada e por fim, a estrutura de como esta dissertação está organizada.

1.1 Enquadramento e Motivação

A empresa Vishay, presente em diferentes países na produção de semicondutores e componentes passivos, está presente em Portugal na produção de componentes passivos, nomeadamente condensadores. Estes produtos têm como função, armazenar energia elétrica.

O projeto será aplicado no sector de transformação da matéria-prima em produtos semi-acabados, apelidados de bobine.

O setor industrial é um dos setores mais competitivos globalmente com a procura crescente na produtividade, a diminuição das margens de lucro e aumento da rentabilidade. Consequentemente é necessário manter os custos operacionais baixos e simultaneamente produzir produtos inovadores, customizáveis, de baixo custo e de rápida produção.

Porém, a gestão de todas estas características referidas anteriormente não é de fácil aplicação sendo vital otimizar a utilização dos recursos das máquinas para assegurar um agendamento eficiente e estável ao nível operacional (Lu et al., 2015).

Para otimizar da melhor forma possível os recursos disponíveis, é imperativo realizar uma calendarização precisa da alocação dos recursos limitados utilizados num conjunto de trabalhos competitivos entre si, de forma a otimizar um ou mais objetivos com respeito às datas finais dos trabalhos (Wang et al., 2015).

Na empresa, ao longo dos últimos anos, o setor da bobinagem tem registado em papel toda a produção realizada num total de 83 máquinas. Não existindo um registo único de tudo o que acontece na produção, assim como de todas as avarias ocorridas, uma vez que o registo de manutenções apenas ocorre em 3 máquinas, sendo insuficiente para demonstrar o estado real da secção.

1.2 Objetivos

Com o desenvolvimento deste projeto pretende-se como objetivo principal reduzir os tempos de paragem de máquinas no ambiente fabril, num setor específico da empresa, nomeadamente na bobinagem.

Para que se atinja este objetivo, será necessário:

- Desenvolver um levantamento com posterior descrição e modelação dos processos relacionados com avarias e alocação de trabalhos no setor;
- Analisar os requisitos necessários para o desenvolvimento do *software*;
- Desenvolver e apresentar um *software* de monitorização dos processos analisados anteriormente;
- Análise de diferentes indicadores de desempenho antes e depois da implementação do *software*.

Para que os tempos de paragem de máquinas sejam diminuídos, optou-se pelo desenvolvimento de um software de monitorização do *shop floor*, para que exista a disponibilidade da informação estar *on-line* e que seja possível para os superiores dos colaboradores de manutenção poderem consultar a informação e agir em conformidade com os objetivos traçados.

Através do desenvolvimento de uma outra aplicação, será possível observar o estado das máquinas (em trabalho, espera, manutenção, parada) para que os colaboradores estejam informados em tempo real do estado das máquinas do setor.

Serão analisados fatores como o OEE e os tempos de paragem antes e depois da implementação de forma a poder existir uma base de comparação para obter a informação se os tempos de paragem diminuiram.

Esta solução será implementada no setor da bobinagem como projeto piloto, porém caso os resultados sejam favoráveis será estendida aos restantes setores de produção.

1.3 Metodologia de Investigação

De forma a que este projeto siga uma estrutura pré-definida que aborde todos os conceitos necessários à compreensão dos objetivos traçados, foi utilizada a metodologia de investigação apelidada de investigação-ação por ser a mais adequada aos processos que serão necessários para o desenvolvimento deste projeto.

Esta metodologia implica o envolvimento de vários colaboradores neste projeto, realizando as alterações devidas e aplicando os conhecimentos obtidos.

A metodologia investigação-ação centra-se na questão “Como?” através da sua natureza cíclica de várias iterações promovendo a melhoria contínua. Iniciada pelo desenvolvimento do contexto e definição do propósito do projeto, esta metodologia prossegue assim com as várias iterações, compostas pelas diferentes fases (Saunders et al., 2009):

- Análise de (possíveis) falhas;
- Planeamento de alterações a efetuar;
- Implementação das alterações;
- Avaliação das alterações implementadas e seu desempenho.

Como esta metodologia foca-se na ação, na possibilidade de promoção de alterações na organização através das diferentes fases e envolvimento de colaboradores ao longo de todo este processo, contrasta com as demais metodologias de investigação, combinando assim a recolha de dados e o desenvolvimento progressivo do projeto (Saunders et al., 2009).

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por 8 capítulos e uma secção de anexos.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução composta pelo enquadramento, motivação, objetivos traçados e pela metodologia de investigação utilizada. No capítulo 2 é realizada o enquadramento concetual, sobre os tipos de manutenção existentes, a modelação utilizada para desenvolver o programa e os indicadores de desempenho utilizados.

No capítulo 3 é descrita a empresa em que a presente dissertação foi desenvolvida e a situação em que se encontrava antes da implementação do *software*. No capítulo 4 descreve-se a situação atual da empresa em que esta dissertação foi desenvolvida.

No capítulo 5 modela-se e define-se a ferramenta desenvolvida, através da especificação de requisitos, modelação de processos e da base de dados, assim como também se define a estrutura do programa.

No capítulo 6 são aplicados vários indicadores de desempenho como o OEE, o método multimomento, o MTBF e o MTTR. No capítulo 7 desenvolveu-se uma análise aos resultados obtidos no capítulo anterior.

Por fim, o capítulo 8 apresenta as conclusões finais do desenvolvimento desta dissertação e propõe melhorias a aplicar no setor, tendo como partida o *software* desenvolvido.

2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

Neste capítulo serão fundamentados os diferentes conceitos utilizados ao longo desta dissertação.

Serão elucidados os dois tipos de manutenção existentes, as particularidades da especificação de requisitos, a composição da modelação de processos e da base de dados, assim como os indicadores de desempenho utilizados nesta dissertação.

2.1 Manutenção Corretiva e Preventiva

O impacto da manutenção no desempenho das empresas aumentou consideravelmente, sendo que as falhas nos equipamentos resultam em perdas de produtividade, mas também numa perda de tempo para os clientes, que podem levantar maiores problemas à imagem da empresa (Alsayouf, 2007).

Existem dois grandes tipos de manutenções, a manutenção corretiva (manutenção da máquina quando requer intervenção) por ocorrerem erros e a manutenção preventiva (agendamento de manutenções) para verificar se todos os parâmetros estão corretos e intervir caso seja necessário.

Sempre que ocorre alguma avaria numa máquina é necessário reagendar os trabalhos, através da geração de um novo calendário de produção rapidamente e eficientemente, refletindo as características do calendário original (Dong & Jang, 2012) como o *lot size*, data de entrega e outros parâmetros das ordens de produção. Deve-se assim evitar as manutenções corretivas e reduzir os tempos de intervenção, sendo que uma possível solução pode passar pela aplicação de manutenções preventivas.

Lu et al. (2015) defendem as manutenções preventivas argumentando que as máquinas devem ser reparadas após realizar trabalhos contínuos por um período de tempo, diminuindo os custos alocados a potenciais avarias (Braglia et al., 2012b).

A manutenção preventiva já provou a sua efetividade na indústria (Lu et al., 2015), inclusivamente a Vishay tem programadas as manutenções preventivas de todas as máquinas em todos os setores de produção da fábrica, em que a frequência das intervenções depende do tipo de produto a produzir e outras especificidades.

Porém, o *software* desenvolvido, apelidado de VEPGPM, apenas atua no campo das manutenções corretivas, uma vez que se uma máquina tiver agendada uma manutenção preventiva não serão alocados trabalhos a esta. As manutenções preventivas estão inseridas já num outro *software* que contém toda esta informação sobre todos os setores da fábrica.

Esta ferramenta será apelidada de VEPGPM, em que VEP provém de Vishay Enterprise Portugal e GPM de Gestor de Paragens de Máquinas, com o objetivo de gerir as paragens de máquinas que ocorrem no setor específico da Bobinagem da empresa em questão.

2.2 Especificação de Requisitos

Para que o programa desenvolvido vá de encontro ao que o cliente precisa e pretende, é necessário estruturar e representar o sistema da melhor forma possível, começando pela especificação de requisitos, uma vez que são cruciais para o sucesso de um projeto de desenvolvimento de *software* (Mu et al, 2013).

Svensson et al. (2013) defendem que é importante não apenas desenvolver um produto de *software* que vá de encontro aos requisitos encontrados e expectativas do cliente, mas que também ofereça um grande valor à empresa de desenvolvimento de software e aos seus clientes.

Brace & Cheutet (2012) descrevem três princípios para a criação dos requisitos:

- Abstração, ignorando detalhes e retendo informação relevante para o propósito;
- Decomposição do problema em partes para gerir e analisar independentemente cada fracção;
- Projeção, adotando uma vista particular ou perspetiva que descreva aspetos importantes, encontrando estruturas estáveis ao longo do tempo e através de diferentes contextos.

Ao longo da especificação de requisitos é necessário haver uma forte componente de comunicação entre o cliente e a entidade que vai modular e construir o sistema, para que todos os processos sejam avaliados e definidos satisfazendo as necessidades de ambas as partes.

A qualidade dos requisitos irá repercutir-se ao longo dos modelos consequentes, ou seja, se os requisitos faltarem ou forem errados, o produto final vai ser errado ou incompleto; não importando quão boas serão as próximas fases (Alshazly et al., 2014).

Haron & Ghani (2015) referiram que, como os requisitos são definidos na linguagem natural, podem existir ambiguidades ou seja, uma frase pode levar a mais que uma interpretação para diferentes leitores através de sinónimos ou heterónimos, podendo causar numerosos problemas no processo de desenvolvimento de *software*. Uma possível solução passaria por adicionar semântica formal para a linguagem de requisitos.

Existem dois tipos de requisitos, os funcionais e os não funcionais. Os funcionais, que Scanniello & Erra (2014) definem como a descoberta e documentação das características que um sistema deve implementar, assim como a descrição das interações entre os sistemas, o ambiente e os utilizadores.

Os requisitos não funcionais, também descritos por Scanniello & Erra (2014), são restrições que devem ser satisfeitas para serem aceites pelo cliente do sistema. Estes requisitos são difíceis de alcançar e especificar e como Stellman & Greene (2006) defendem, existem vários tipos de requisitos, de disponibilidade, eficiência, flexibilidade, portabilidade, integridade, performance, confiança, reutilização, robustez, escalabilidade e usabilidade.

2.3 Modelação de Processos

Para que exista um registo e comparação do processo atual e do processo que se realizará no programa a desenvolver, após a conclusão do levantamento de requisitos serão desenvolvidos diagramas de caso de uso e diagramas de atividades.

Ambos os cenários serão desenvolvidos para que, de uma forma simples e intuitiva, sejam descritas as principais diferenças nas interações dos operadores, colaboradores da manutenção e responsável do setor.

De acordo com Jacobson et al. (2016) existem seis princípios para ter em conta ao longo do processo de construção de casos de uso:

1. Tornar o caso de uso simples contando histórias;
2. Analisar o sistema como um todo;
3. Focar no valor para os intervenientes;
4. Construir o sistema por fases;
5. Entregar o sistema por incrementos;
6. Adaptar-se às necessidades da equipa.

Uma vez construídos os casos de uso, serão desenvolvidos os diagramas de atividades de forma a demonstrar informação adicional, como documentos utilizados e procedimentos obtidos durante a fase de análise e projeto (Bolloju & Sun, 2012).

Foi desenvolvida assim uma forma de modelação que descreva as várias funções de um processo de negócio, facilitando a comunicação entre especialistas da área e analistas, criando os *inputs* para projetos de desenvolvimento de software através de representações de fluxos orientados de um conjunto de práticas de trabalho destinadas a atingir um objetivo.

Porém, é possível descrever com maior detalhe os processos, para que um participante com um nível mais alto de conhecimento possa, através dos diagramas, retirar informação suficiente para a implementação do projeto.

Diferentes utilizadores podem retirar diferentes usos dos diagramas. Chinosi & Trombetta (2012) defendem que os especialistas de modelação estão interessados em encontrar formas de estudar as propriedades dos processos assim como representá-los numa notação gráfica (para verificarem as suas representações) e os analistas estão interessados em recolher informações.

2.3.1 Diagramas de Casos de Uso

Cockburn (2001) define os casos de uso como a captura de um contrato entre as partes interessadas de um sistema e os comportamentos entre si.

A representação gráfica dos diagramas de casos de uso provém da linguagem de modelação UML (Unified Modeling Language) que auxilia a desenhar o sistema com representações padronizadas, não existindo uma única solução correta para a representação dos sistemas.

Após a especificação de requisitos é possível desenvolver este diagrama de uma forma facilitada e completa, com o objetivo de definir as funcionalidades e as suas interações externas e internas com os utilizadores.

Representando o que o sistema faz, mas não como faz, estes diagramas apresentam uma visão externa a partir de uma análise de alto nível, com as diferentes interações internas como relações de dependência, expansão ou inclusão ao longo de um cenário.

Para que sejam de fácil compreensão para as pessoas sem conhecimentos desta área serão representados os casos de uso graficamente e com descrições textuais.

Como esperado, este diagrama contém representações próprias dos diferentes componentes:

- Atores: Utilizadores ou *stakeholders* (partes interessadas) do sistema- figura 1;



Figura 1: Ator

- Casos de Uso: Interações no sistema - figura 2;



Figura 2: Casos de Uso

- Ligações: Elo de ligação entre casos de uso ou entre estes e um ou mais atores-Contém diferentes funções para reduzir a redundância:

- o Associação: Ligação entre um ator e casos de uso- figura 3;



Figura 3: Ligação de Associação

- o Generalização: Quando um ou mais atores partilham os mesmos casos de uso- figura 4;



Figura 4: Ligação de Generalização

- o Inclusão: Obrigatoriedade de ligação entre casos de estudo- figura 5;



Figura 5: Ligação de Inclusão

- o Expansão: Uso do caso de uso num outro mais geral, não sendo obrigatória a sua utilização- figura 6.



Figura 6: Ligação de Expansão

2.3.2 Diagramas de Processos- Business Process Model and Notation

Os diagramas de processos são baseados na observação de cada processo desenvolvido por uma organização, sendo o resultado de uma sequência de atividades (Pillat et al., 2015), definidos também como a arte de modelar, gerir e otimizar processos de negócio para aumentar a performance destes (Allani & Ghannouchi, 2016).

Através da utilização destes diagramas pretende-se interligar os projetos dos processos de negócio e a implementação do sistema, automatizando o ciclo de vida da gestão destes processos para rentabilizar a performance dos negócios.

A representação gráfica utilizada para os diagramas de atividades é apelidada de Business Process Model and Notation (BPMN), sendo normalizada pela organização OMG (Object Management Group).

Com a utilização da notação BPMN e com os processos definidos, é possível simular, executar, monitorizar e analisar os cenários definidos (Pillat et al., 2015) de forma a alcançar o objetivo definido no uso dos diagramas.

Como este diagrama tem uma relação próxima da implementação, é importante ter atenção aos erros que podem ser cometidos nas diferentes fases da construção em que, dependendo da fase em que o

erro é detetado, diferentes técnicas de verificação podem ser adotadas para o corrigir (Allani & Ghannouchi, 2016).

Segundo White & Miers (2008) existem seis tipos de elementos nesta notação, atividades, eventos, decisões, swimlanes, artefactos e conetores.

As atividades representam um trabalho executado num processo de negócio, consumindo um ou mais recursos da organização, requerendo algum tipo de *input* e produzindo algum tipo de *output*. São exemplos de atividades as tarefas atômicas e subprocessos que contêm um maior nível de detalhe de um processo (figura 7).

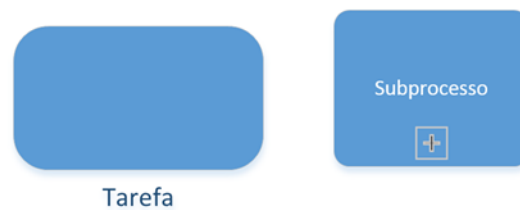


Figura 7: Atividades

Eventos são acontecimentos que podem ocorrer, sujeitando o fluxo de um processo a atrasos, interrupções, terminos, continuações ou começos de novas atividades. Representam-se por círculos e os seus tipos distinguem-se pelo limite exterior, existindo eventos de início, intermédios e de fim (figura 8).



Figura 8: Eventos

De forma a existir dinamismo no processo são utilizadas as decisões para controlar como o processo diverge ou converge, isto é, representam um ponto de controlo para o fluxo do processo. Estes componentes têm a forma de um losango como podemos observar na figura 9.



Figura 9: Decisão

Para uma melhor organização das atividades e respetivos participantes no diagrama, o BPMN contém o elemento *swimlanes*. As *swimlanes* contêm as *lanes*, representadas por um conjunto de *pools* que partilham um processo. As *pools* agem com um contentor para as atividades, organizando-as segundo o participante do processo.

Na figura 10 podemos observar a sua estrutura.

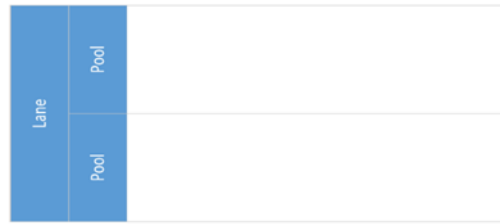


Figura 10: Swimlanes

Artefactos fornecem o mecanismo para capturar informação adicional sobre um processo, dentro de uma estrutura de gráfico de fluxos, não causando impacto direto nas estruturas anteriores. Existem três tipos de artefactos, objeto de dados (representação de documentos e dados), grupo (categorizar uma secção) e anotação de texto como observado na figura 11.



Figura 11: Artefactos

É necessário ao longo do processo definir o sentido em que ocorrem as ações, para isso vão ser utilizados os conectores, ligando dois objetos no diagrama. Há três tipos de conectores:

- Fluxo de Sequência- Define a ordem do fluxo de objeto num processo (atividades, eventos e decisões);
- Fluxo de Mensagem- Definição de fluxo de comunicação entre dois participantes ou entidades;
- Associação- utilizado para ligar artefactos (dados e outras informações) a outros objetos de diagrama, incluindo objetos de fluxo (atividades, eventos e decisões).

Na figura 12 estão definidos todos os conectores.

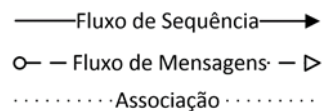


Figura 12: Conectores

2.4 Modelação de Base de Dados

Hoje em dia as bases de dados são um componente fulcral de pequenos, médios e grandes sistemas. No entanto, se forem mal projetadas e construídas podem não corresponder aos objetivos da empresa ou organização, degradando a qualidade da informação, tornando difícil a integração com outras bases

de dados e aplicações, ou até ter uma fraca capacidade de performance ou escalabilidade (Stiglich, 2014).

Para que a construção das bases de dados atinja o melhor aproveitamento possível, é necessário, senão obrigatório, que os profissionais deste ramo entendam o negócio e claro, os seus dados e relações (Stiglich, 2014).

A qualidade da aplicação de uma base de dados depende do projeto. Para ajudar a assegurar a correção, clareza, adaptabilidade e produtividade, os sistemas de informação devem ser especificados ao nível do modelo concetual (Hunka & Matula, 2016), definindo-se a facilidade de comunicação e o mapeamento das especificações do utilizador final (Rathee & Kaur, 2016) para que quem inicie o trabalho no ponto seguinte entenda como navegar nos dados e identifique os problemas da qualidade de dados que possam enviesar os resultados (Stiglich, 2014).

Para o desenho do modelo concetual foi utilizado o diagrama de Entidades-Relacionamentos, onde são representadas as diferentes entidades, as interações entre elas - representadas pelos relacionamentos. Após a conclusão do modelo referido anteriormente, é desenvolvido um modelo lógico em que vai ser definida a vista exterior do modelo de dados que vai ser apresentada ao utilizador (Rathee & Kaur, 2016), nesta fase utilizar-se-á o modelo relacional que representa as entidades como tabelas constituídas pelos seus atributos que se relacionarão entre si através de chaves.

Para este modelo será utilizada a representação relacional que, em conjunto com o respetivo sistema de gestão, facilitará a implementação e programação do modelo físico da base de dados (Amer, 1993).

Por fim, segue-se o modelo físico com a função de mapeamento do modelo lógico à estrutura interna para que o armazenamento de dados seja efetuado no disco (Rathee & Kaur, 2016). Este modelo será desenvolvido no sistema de gestão de base de dados relacional Microsoft SQL Server de forma a definir as diferentes interações que poderemos realizar nos dados, desde a criação, consulta, remoção ou atualização.

2.4.1 Modelo Conceptual: Entidades-Relacionamentos

Este modelo estabelece o mapeamento das atividades que representam um conjunto diverso de objetos (em concreto ou em abstrato) do cenário em estudo com as respetivas relações entre estes.

Para a elaboração do modelo E-R será utilizada a notação de Chen, com a sua representação de entidades, atributos, relações e cardinalidade.

As entidades estão representadas na figura 13;



Figura 13: Modelo E-R: Entidade

Os atributos e atributo chave na figura 14;

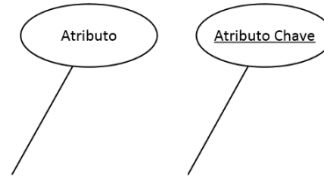


Figura 14: Modelo E-R: Atributo e Atributo Chave

Os relacionamentos na figura 15;

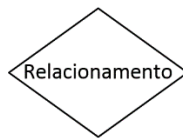


Figura 15: Modelo E-R: Relacionamento

A cardinalidade por fim, na figura 16.

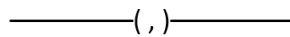


Figura 16: Modelo E-R: Cardinalidade

Chen, 1976 desenvolveu esta notação com base na ideia de que este modelo adota a vista mais natural do mundo real através de entidades e suas relações, tomando como definição de entidades algo que pode ser identificado distintamente, em que uma relação é uma associação entre entidades mensurada pela cardinalidade.

A cardinalidade pode tomar como valor 1, para as situações em que apenas há uma ocorrência da entidade e N para os casos em que pode existir uma ou mais ocorrências, na sua representação aparecerá um par de valores da cardinalidade em que cada valor representa a entidade mais próxima.

Os atributos representam as propriedades das entidades, existindo uma chave primária que identifica por um valor único a entidade. Os atributos podem ser multivalor (conter mais que uma ocorrência de atributo), dependentes (os atributos são dependentes entre si), simples (uma característica da entidade), compostos (conter vários atributos) e chave (chave primária).

2.4.2 Modelo Lógico: Relacional

No modelo lógico define-se a visão externa do modelo de dados apresentado ao utilizador, especificando as entidades e respetivos relacionamentos (Rathee & Kaur, 2016). A compreensão deste modelo para o leitor sem conhecimentos de base de dados é menos intuitiva em relação ao modelo anterior, na medida em que a representação do modelo lógico é mais tabular, com tabelas bidimensionais ao contrário do modelo concetual que apresenta os seus conteúdos numa forma gráfica (Amer, 1993).

O modelo relacional é uma coleção de dados variados no tempo, onde podem ser todos consultados e atualizados como se fossem organizados numa coleção de tabelas variadas no tempo (não hierárquicas) relacionadas por vários graus (Codd, 1979).

De forma a ser possível evoluir do modelo conceptual para este modelo é preciso utilizar a normalização para evitar que as relações contenham redundância nos dados e que possam ser modificadas de uma forma consistente e correta (Soler, et al., 2006) uma vez que a redundância é considerada como um indutor de custo principal numa manutenção ao *software* (Pizka & Deißeböck, 2003).

A normalização é constituída por três formas sendo aplicada nos atributos, de forma a reduzir toda a redundância possível nas diferentes relações.

A primeira Forma Normal (1FN), indica que as relações e, por sua vez, o modelo relacional deve conter os dados no formato de tabela, sem atributos multivalor e a chave primária identificada. A segunda Forma Normal (2FN) tem como requisitos atingir a primeira forma normal e que os atributos sejam dependentes do atributo chave.

Por fim, a terceira Forma Normal (3FN) requer a segunda forma normal atingida e que os atributos sejam funcionalmente independentes (Rob & Coronel, 2009).

Todas as relações deste modelo estão na 3FN.

O modelo relacional foi introduzido em 1970 por Edgar Codd de forma a colmatar as falhas que existiam na modelação de base de dados, como a independência de programas e atividades terminais, assim como alguns tipos de inconsistência de dados (Codd, 1970).

O modelo relacional consiste em tabelas de factos e uma tabela por entidade. As tabelas de fatos contêm uma linha por cada conjunto de medidas e uma coluna com um *id_entidade* introduzindo assim a noção de chaves primárias e atributos (Colliat, 1996). Cada entidade será composta por (pelo menos) uma chave primária única que identificará todas as tabelas desta no sistema.

Os atributos contêm diferentes valores, que fazem com que sejam classificados em diferentes tipos, como simples, composto (pode ser dividido em várias partes), multivalor (pode conter vários valores) e

dependente (o seu valor depende de outro atributo). Pode-se ainda atribuir o valor nulo, isto é, não é obrigatória a inserção de valores no atributo definido.

As chaves estrangeiras (chaves primárias de outras tabelas) existem para os casos em que numa tabela é necessário o acesso a dados de uma segunda, sendo chamada a chave primária da segunda tabela e colocando-se na primeira tabela como uma chave estrangeira.

Neste modelo as entidades têm na sua representação os seus atributos e o atributo chave que estará separado dos restantes atributos, apelidado de chave primária, representada por PK como podemos observar na figura 17.

De forma a representar as diferentes ligações entre entidades, vão ser utilizadas ligações específicas da chave primária da tabela de origem até à tabela de destino que apresentará essa chave como estrangeira, esta ligação tem o formato da figura 18.

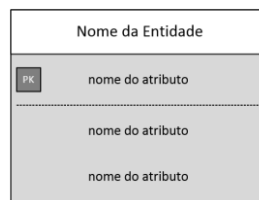


Figura 17: Modelo Relacional: Entidade



Figura 18: Modelo Relacional: Relação entre tabelas por Chaves Estrangeiras

2.5 Indicadores de Desempenho

Para que seja possível acompanhar e analisar vários aspetos de uma organização, são utilizadas diferentes medidas de desempenho, dependentes do objetivo a alcançar e da área a aplicar.

Para o cliente final não são métricas importantes, uma vez que os objetos em estudo são máquinas de transformação de matéria-prima. Porém, para gestores de produção e responsáveis da manutenção, a informação que se pode obter das análises é relevante de forma a comparar valores em diferentes períodos de tempo, definição de objetivos e estratégias, acompanhamento da produção, entre outros.

Para este projeto serão utilizadas duas medidas com o objetivo de analisar a situação fabril do setor antes e depois da implementação do *software* de monitorização de produção, o OEE e o método multimomento.

De forma a exemplificar os benefícios do VEPGPM serão aplicadas outras duas medidas, apelidadas de MTBF e MTTR, para conferir a confiança das máquinas ao longo do tempo, e que apenas puderam ser

implementadas após a utilização da aplicação desenvolvida uma vez que antes não existiam dados suficientes para estes cálculos.

O estudo do OEE será realizado para que seja possível observar o estado geral do setor identificando perdas maiores ou razões para um mau desempenho, fornecendo uma base para estabelecer prioridades de melhorias e começar uma análise profunda (Muchiri & Pintelon, 2008), abordando as componentes de disponibilidade de máquinas, a qualidade dos componentes produzidos e a rentabilidade das máquinas.

Através da análise dos fatores do OEE pretende-se saber de que forma a eficiência geral das máquinas poderá ser afetada pela implementação da aplicação desenvolvida.

O método multimomento será utilizado para comparação e análise dos vários estados que uma máquina poderá assumir no setor em questão. Será possível retirar dados como quantidades de paragens e respetivos tempos, assim como analisar os vários tipos de paragens que podem resultar em diversas análises a vários pontos vitais com o objetivo de depurar a influência do VEPGPM nos tempos de paragem e produção.

A partir dos dados relacionados com falhas ocorridas nas máquinas é possível obter o MTBF, o tempo médio entre falhas que indica o valor de confiabilidade das máquinas. Com esta medida será possível obter resultados como o MTBF da máquina ou do conjunto de máquinas, em diferentes períodos de tempo, sendo que quanto maior for o valor desta medida de desempenho, maior a confiança da máquina. Para ser obtido o MTTR ou o tempo médio de reparação de máquinas é necessário alguns dados sobre falhas que ocorreram nas máquinas, sendo possível fazer diferentes análises a diferentes perspetivas. Porém, ao contrário do MTBF, um alto valor do MTTR é prejudicial para a máquina, uma vez que demonstra que os seus tempos parada para espera de intervenção ou em intervenção são elevados.

Com os resultados do MTBF e do MTTR será possível efetuar melhorias contínuas, impor objetivos de manutenção ou até auxiliar tomadas de decisão, tornando-se informação essencial nas operações de logística de forma a otimizar a gestão de componentes excedentes para componentes reparáveis, planear a encomenda ou não de itens não reparáveis, gerir componentes obsoletos, entre outros (Krasich, 2009).

2.5.1 OEE

O OEE (Overall Effectiveness Equipment) é uma medida de desempenho bastante utilizada na indústria de produção em massa, com objetivo de medir a produtividade dos equipamentos e identificar perdas, de forma a que estas sejam eliminadas e os produtos cheguem ao mercado com um custo mínimo (Muchiri & Pintelon, 2008).

Esta métrica foi criada por Nakajima através do desenvolvimento do conceito da Manutenção Produtiva Total (TPM) em 1989 com o objetivo de melhorar e manter a eficiência dos equipamentos, avaliando a evolução do TPM.

As empresas utilizam estas medidas para obterem o estado do processo de conclusão dos seus objetivos e tomadas de decisão, de forma a ser possível ajustar cenários ou realizar ações para melhorar o desempenho e a produtividade para alcançar ou manter a liderança face aos concorrentes (De Ron & Rooda, 2006).

Uma vez que os gestores preferem esta métrica simples e clara que agrega vários pontos, do que várias em separado, Huang et al. (2003) defendem que o OEE é uma ferramenta quantitativa essencial substituindo métricas de produtividade tradicionais e a taxa de utilização que não eram prestativas na função de identificar problemas e melhorias para melhorar a produtividade.

Porém, é necessário ter em conta que esta métrica não substitui a avaliação da produtividade geral de uma fábrica (Huang et al., 2003).

O OEE contém três grandes fatores de cálculo: a disponibilidade que valoriza o tempo real de produção; o desempenho que contabiliza o tempo real de ciclo de produção de um produto, e a qualidade que reconhece as peças que foram produzidas em bom estado, através do cálculo desenvolvido por Nakajima, 1988:

$$OEE = Disponibilidade * Desempenho * Qualidade$$

No entanto, a forma de como cada fator é calculado varia de uma indústria para outra sendo customizado pela empresa, mantendo a base do cálculo da métrica OEE (Muchiri & Pintelon, 2008).

Segundo Nakajima, 1988 os fatores disponibilidade, desempenho e qualidade contêm seis grandes perdas que podem ocorrer na produção. Em termos de disponibilidade podem ocorrer perdas de tempo relacionadas com:

- Falhas de equipamento, uma vez que a produtividade é reduzida e existirão perdas de quantidade pela produção de componentes com defeito.
- Perdas de tempo para *Setup* e ajustes resultantes do tempo parado para avarias.

Em relação ao fator desempenho, podem ocorrer:

- Perdas de trabalho ocioso e de paragens menores, quando a produção é interrompida por um defeito temporário na máquina ou por estar a trabalhar de forma ociosa.
- Perdas de tempo obtidos pela diferença entre a velocidade teórica do equipamento e a velocidade real de operação.

Por último, a qualidade pode ter falhas devido a:

- Produção reduzida, uma vez que a máquina demora algum tempo até estabilizar a sua produção.
- Defeitos de qualidade e de retrabalho causados pela disfunção do equipamento de produção.

Uma vez que a recolha dos dados era realizada por processos manuais, a precisão dos dados era baixa, uma alternativa para aumentar esta precisão seria registar as paragens no momento em que ocorrem (Muchiri & Pintelon, 2008).

Como o valor final do OEE é o produto de três componentes, a percentagem resultante significaria a percentagem de peças em bom estado produzidas, com a percentagem de rapidez possível e percentagem de tempo disponível.

Disponibilidade

A componente da disponibilidade relaciona-se com o tempo total que uma máquina deveria estar a trabalhar e o tempo em que está na realidade a trabalhar, sendo calculada segundo Nakajima, 1988 por:

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ Total - Tempo\ de\ Paragens}{Tempo\ Total}$$

Jonsson & Lesshammar (1999) defendem que existem dois tipos de manutenções corretivas, as crónicas e as esporádicas.

As avarias crónicas são menores e de resolução complicada por ter diferentes causas (incluindo falta de utilização do equipamento). As avarias esporádicas são por norma maiores, alterando rapidamente o comportamento da máquina sendo que os seus efeitos podem ir de leves a muito graves.

A manutenção é necessária para prolongar a vida efetiva e qualidade das máquinas, aumentar o retorno do investimento nestas, diminuir tempos de paragem e consequentemente diminuir os custos dos produtos (Al-Najjar, 2008).

Porém, para o estudo do OEE desenvolvido é importante obter os melhores resultados possíveis, sendo necessário que os tempos de manutenção (não planeada) sejam os mínimos possíveis, uma vez que estes reduzem o tempo em que a máquina está em produção.

Desempenho

Outro ponto essencial da OEE, o desempenho, caracteriza-se pelo estudo do tempo em que um produto deveria ser produzido (tempo de ciclo teórico), o tempo em que na realidade está a produzir (tempo de ciclo real) e o número de componentes produzidos, a fórmula de cálculo deste fator segundo Nakajima, 1988 é:

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de Ciclo Teórico} * \text{Número de Componentes Produzidos}}{\text{Tempo de Ciclo Real}}$$

O tempo de ciclo de produção é definido pelo período de tempo em que uma bobine demora a ser produzida, relacionando-se diretamente com as características do produto, uma vez que nem todas as bobines apresentam a mesma complexidade de produção.

Uma variável que também pode influenciar este registo é a degradação da máquina em produção, uma vez que com o passar dos anos, apesar de todas as manutenções curativas e preventivas o desgaste físico por menor que seja, exista.

Qualidade

A qualidade é um fator do OEE na medida em que obtém a percentagem dos produtos com qualidade, no universo de todos os produzidos pela fórmula originalmente desenvolvida por Nakajima, 1988:

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Componentes Produzidos} - \text{Componentes com Defeito}}{\text{Componentes Produzidos}}$$

Especificações técnicas como procedimentos e métodos, políticas de manutenção, competências dos funcionários de operação e manutenção, matérias-primas e funções de gestão devem ser tomadas em conta por poderem alterar a qualidade do produto (Al-Najjar, 2008).

2.5.2 Método Multimomento: Registo de Tempos de Paragens de Máquinas

Com o objetivo de se obter a informação sobre alterações em tempos de paragem ou de produção pela influência da ferramenta VEPGPM, foi efetuada uma análise multimomento a todas as máquinas da secção da bobinagem, numa fase prévia e posterior à implementação da ferramenta para comparação de resultados.

Foram observadas e anotadas as frequências dos estados em que as máquinas se encontram, para mais tarde registar as percentagens de cada estado e retirar a percentagem de tempo no qual as máquinas estiveram em cada estado:

- *Setup*- máquina em preparação para iniciar uma nova ordem de produção;
- Produção- máquina a produzir os componentes;
- Espera de intervenção- máquina avariada, mas em espera de manutenção;
- Intervenção- máquina em manutenção.

Uma vez que as encomendas contêm componentes de dimensões consideráveis, as máquinas ativas estão em menor número neste estudo do que num período de produção habitual. Isto acontece para que

o trabalho dos operadores seja facilitado, no transporte e manuseamento, assim como é mantido o nível de qualidade dos componentes produzidos.

2.5.3 MTBF

O indicador MTBF ou *Mean Time Between Failures*, significa em português tempo médio entre avarias e é uma métrica básica para calcular a confiança num sistema. Esta métrica é tipicamente expressa em horas e, quanto maior o seu valor, maior a confiança no objeto de estudo, neste caso a máquina (B. W. Torell & Avelar, 2004).

O MTBF apenas pode ser aplicado em máquinas com uma taxa de avaria, podendo ser aplicado para as situações de componentes reparáveis que após a intervenção tornaram-se tão eficazes como quando eram novos (Braglia et al., 2012).

Tendo em conta estes aspetos, para se obter o valor do MTBF é necessário definir o período de tempo a analisar e obter todos os dados de produção relativos às máquinas para aplicar a fórmula:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}$$

Onde t_i é o tempo de produção entre $i-1$ e i e m é o número de avarias no período de tempo definido (Palchun & Yelistratova, 2014).

Para que cada empresa possa obter o MTBF adequado à sua realidade, são efetuadas alterações à fórmula convencional desta métrica, não devendo ser feitas comparações do MTBF entre sistemas personalizados. Mesmo que seja utilizada a mesma fórmula, deve-se antes analisar e descobrir o impacto das diferenças das variáveis, suposições e definições de avarias para que a comparação de valores do MTBF seja a mais correta possível (W. Torell & Avelar, 2015).

Antes de fazer comparações de 2 ou mais valores de MTBF é importante ter o conhecimento se os objetos são equivalentes em função, capacidades e aplicação, se todas as máquinas têm taxas de avarias, se o tamanho da população é semelhante ou se o período de tempo é similar (W. Torell & Avelar, 2015).

Equipamentos com valores menores de MTBF devem ser intervencionados mais frequentemente pela manutenção preventiva, através de atividades focadas na manutenção corretiva para reduzir e estabilizar a taxa de avarias.

Nos equipamentos com maiores valores de MTBF é possível decidir qual o tipo de manutenção a adotar de forma a reduzir-se custos e alcançar o máximo de recursos disponíveis (Braglia et al., 2012b)

2.5.4 MTTR

A métrica MTTR ou *Mean Time To Repair* tem como tradução em português tempo médio para reparar, sendo aplicado neste contexto nas máquinas da secção de bobinagem.

O MTTR é uma estimativa do tempo que demorará o sistema a retomar a sua funcionalidade no caso de ocorrer uma avaria, sendo necessário ter presente que não é apenas o tempo de reparação que é considerado, mas sim outros fatores que causarão atrasos e estenderão o tempo de paragem (Busse et al., 2016).

O tempo de paragem da máquina consiste na duração da preparação da máquina, verificação e localização da avaria, procura das peças, reparação da avaria, testes e possível preenchimento de documentação (Gupta et al., 2013).

Através de um cálculo rápido e simples é possível obter informação para desenvolver uma abordagem efetiva e coerente para organizar os tempos de reparação das máquinas. Para calcular o MTTR são necessários todos os dados relacionados com avarias, sendo necessário definir e organizar o sistema para que seja possível efetuar o cálculo da fórmula:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{m}$$

Onde t_i é o tempo total de paragem da máquina e m é o número de avarias no período de tempo definido. Na métrica MTTR, o desejado é obter o menor valor possível, porém quando são registados valores altos, os custos de reparação são grandes, influenciados por diferentes fatores como tempos de espera por peças ou de agendamento de intervenção. É recomendável nestes casos parar a máquina e analisar os seus componentes para que sejam feitas correções de potenciais avarias que estavam a ocorrer de um modo oculto (Adegbulugbe et al., 2015).

Uma forma de reduzir os valores do MTTR passa pelo *design* e planeamento de uma máquina, em que ao colocar os componentes propensos a falhas numa localização acessível para remoção e substituição, é possível reduzir os tempos de intervenção da máquina (Adegbulugbe et al., 2015).

Assim, são preferidas as máquinas com um baixo MTTR para que após uma avaria, a máquina esteja operacional num curto espaço de tempo.

3. A EMPRESA: VISHAY ELÉTRONICA PORTUGAL

Neste capítulo pretende-se fazer uma apresentação da empresa Vishay Eletrónica Portugal, de forma a descrever o enquadramento desta empresa no setor empresarial.

Serão abordados tópicos como a caracterização da Vishay Intertechnology, a história do grupo Vishay Intertechnology, a caracterização da Vishay Eletrónica Portugal, as unidades organizacionais, a estratégia empresarial utilizada, a área de negócio em que a empresa está inserida e os principais clientes e mercados.

3.1 Caracterização da Vishay Intertechnology

Com o negócio dividido em duas grandes áreas, nomeadamente componentes passivos e semicondutores ativos, a Vishay Intertechnology contém 54% do negócio nestes últimos produtos.

Os semicondutores ativos têm como principais características o seu desenvolvimento altamente tecnológico e o seu ciclo de vida curto. Os componentes passivos correspondem aos restantes 46% do seu volume de vendas e é nesta área de negócio que a Vishay Eletrónica Portugal (VEP) se insere, sendo uma unidade de negócio mais estável com produtos de ciclo de vida de média a longa duração.

A empresa além de apostar no aumento da penetração no mercado, também se dedica à entrega de novos produtos baseando o seu aumento da capacidade fabril nas principais linhas de produtos para aprimorar o suporte aos clientes, especialmente durante os períodos de pico de procura.

A Vishay tem uma forte presença na Europa, Estados Unidos, Israel e Ásia com presença marcada noutros pontos através de escritórios de venda.

3.2 História do grupo

A Vishay Intertechnology tem como foco produtivo a produção de componentes eletrónicos.

Fundada em 1962 pelo Dr. Felix Zandman, a empresa tem o nome da aldeia de onde era natural, em memória dos membros da família que faleceram no Holocausto.

Em 1985, depois de ter crescido a partir de uma start-up tornou-se fabricante líder mundial de resistências de folha e medidores de deformação, a empresa iniciou uma série contínua de aquisições estratégicas para se tornar num fabricante de ampla linha de componentes eletrónicos. Hoje, a Vishay Intertechnology é um dos maiores fabricantes mundiais de semicondutores discretos e componentes electrónicos passivos.

Após a sua fundação em 1962, em 1984 a Vishay Intertechnology, Inc. torna-se uma empresa cotada em bolsa, e em 1993, Vishay adquire o grupo Roederstein com mais de 7 fábricas em todo mundo.

3.3 Caracterização da Vishay Eletrónica Portugal

A Vishay Electrónica Portugal, Lda (figura 19) ou VEP, é fabricante de condensadores de filme desde 1969, com origem na empresa Roderstein pertencente ao grupo Alemão com o mesmo nome.



Figura 19: Fábrica Vishay Electrónica Portugal, Lda (Cortesia VEP, 2017).

Com o apoio tecnológico, financeiro e comercial desta, a VEP fez um forte investimento em equipamento e consequente racionalização de recursos, atingindo igualmente um elevado padrão de qualidade, obtendo certificados internacionais como as ISO9000, QS9000, Q1, entre outras.

No presente existem novos desafios a ser enfrentados como a transferência de produções dos seus habituais produtos para países de mão-de-obra barata (sobretudo para países asiáticos), abrindo as portas a novos competidores.

3.4 Unidades Organizacionais

Na área Operacional existem os departamentos de Produção, Qualidade, Compras, Planeamento e Manutenção. Na área Administrativa inclui-se os Recursos Humanos, Financeiro, IT, Logística e Marketing.

Atualmente a Organização possui cerca de 170 Colaboradores nos quadros, no entanto recorre-se à subcontratação de Recursos Humanos temporários ajustando-se às necessidades de produção. Ao longo da sua história o seu número foi sempre decrescendo, derivado à introdução de novas tecnologias nos processos do fabrico dos seus produtos, por deslocalização de produção e por último, redução de volume de produção.

3.5 Estratégia Empresarial

A Vishay, líder em tecnologia durante cinco décadas está bem posicionada para fornecer componentes para os novos mercados de crescimento macroeconómicos, tais como conectividade, mobilidade e sustentabilidade.

O plano de crescimento da empresa foca-se no aumento dos recursos para a investigação e desenvolvimento, engenharia de processos, *marketing* do produto e na força de vendas técnicas de forma a gerar um fluxo constante de componentes inovadores para ajudar os designers a criar novas gerações de produtos finais.

Toda a sua produção é exclusivamente para exportação, no entanto toda a sua distribuição e venda ao cliente final é feito por canais próprios da Vishay Corporate.

A aposta forte da VEP reside nos produtos chamados *commodities* uma vez que não é o número de condensadores que influencia o volume de vendas, mas sim os condensadores de maior valor acrescentado.

Há mais de 20 anos que a VEP tem tido uma forte aposta e investimento na área da qualidade. Sendo uma das estratégias da VEP e da Vishay Corporate para se tornarem mais competitivas e uma exigência de muitos dos nossos clientes, especialmente na Indústria Automóvel.

Neste mercado o importante é observar as tendências e desenvolver novas tecnologias antes dos concorrentes e para isso a Vishay aposta bastante na inovação, na versatilidade dos seus produtos e serviços.

3.6 Área de Negócio

Ao longo dos anos a Vishay conseguiu conquistar o mercado globalizado, uma vez que todos os seus produtos são aproveitados por grandes indústrias nas suas unidades de produção.

O mercado da electrónica é muito exigente na qualidade, performance e fiabilidade do produto, sendo fatores essenciais para a VEP, na figura 20 estão expostos alguns dos produtos fabricados pela empresa.

Os produtos de maior valor acrescentado (*commodities*) já têm uma expressão algo considerável no volume total de produção dos condensadores, sendo os que dão mais margem de lucro.

A tendência é apostar no mercado e fazer crescer o portfólio nos produtos “especiais”, apostando cada vez menos nos produtos *commodities*, libertando recursos para fazer crescer esta nova área de negócio.

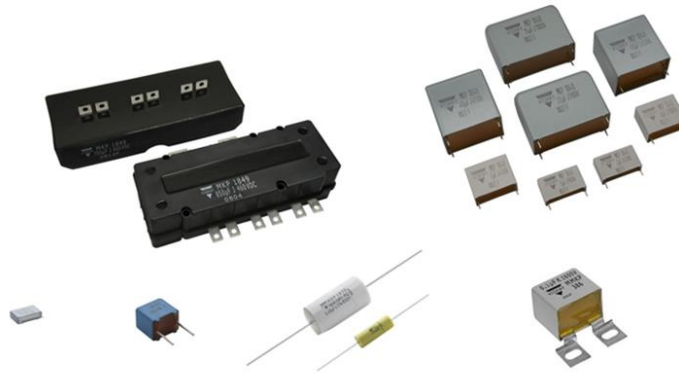


Figura 20: Produtos da VEP (Cortesia VEP, 2017)

De uma forma resumida, os produtos da VEP destinam-se aos mercados:

- Eletrónica Industrial: Energias renováveis, máquinas industriais;
- Indústria Automóvel: Veículos elétricos/híbridos, pequenos motores elétricos;
- Consumidor: Aplicações domésticas, iluminação;
- Telecomunicações: Infra-estruturas, ADSL;
- Indústria na área de saúde: Equipamentos de medição e testes.

3.7 Principais Clientes e Mercado

Os produtos fabricados são destinados maioritariamente para grandes empresas e grandes distribuidores no mercado da eletrónica, na figura seguinte é possível observar os seus clientes, como Continental, Bosch, Siemens, e outros mais. Conforme podemos verificar na figura 21, o sector da indústria é o maior mercado com 75% das vendas.

MAIN CUSTOMERS



END MARKETS

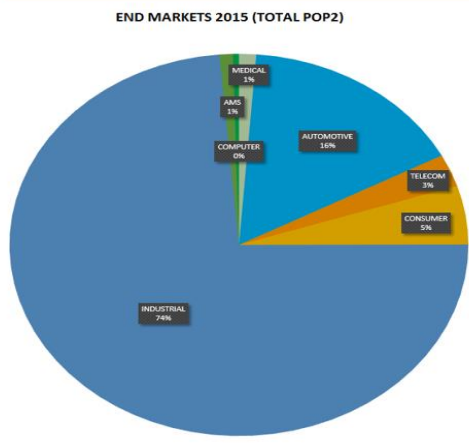


Figura 21: Clientes e Mercado VEP (Cortesia VEP, 2017)

4. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL

Através do capítulo da caracterização da situação atual da empresa pretende-se descrever os processos utilizados para a produção do seu produto semi-acabado, a bobine, através do tópico processo da bobinagem. Para que também o processo de controlo de toda a produção no setor seja registado, no tópico controlo de produção e de paragens serão descritos todos os documentos utilizados para registar variados parâmetros relativos à produção e paragens que ocorram.

4.1 Processo da Bobinagem

Na produção de condensadores, o processo da bobinagem é a primeira fase onde é criada a bobine a partir da matéria-prima que após vários processos tornar-se-á um condensador. Um condensador tem uma função semelhante a uma bateria - armazenar energia elétrica. A diferença é que o condensador descarrega toda a sua capacidade numa fração de segundos, tornando-o perigoso nalgumas aplicações pela rapidez de descarregamento podendo, em casos extremos, ferir de forma permanente o ser humano.

O processo de bobinagem, numa fase inicial começa pelo levantamento de matérias-primas do armazém e transporte para as máquinas, sendo também verificadas as validades das matérias. Se todos estes passos ocorrerem sem objeções, serão de seguida verificados se os componentes das máquinas estão operacionais para iniciar uma nova ordem de produção e no caso de estarem prontos a ordem de produção será iniciada na máquina respetiva.

Ao longo do processo de fabrico, e para cada ordem de produção, existem parâmetros definidos previamente para que as máquinas produzam as bobines respetivas à ordem de produção, sendo que estes devem ser controlados ao longo de toda a produção.

A bobine é constituída por duas matérias-primas, fita e etiqueta. Inicia-se a produção deste artigo pela fita em que, por norma, são utilizadas duas unidades sobrepostas que serão submetidas a um processo de enrolamento. O número de espiras ativas (voltas da fita) depende da especificação do produto que se pretende.

As espiras ativas definem a capacidade da bobine mas a densidade da fita pode também interferir na medida em que quanto menor for, mais capacidade suporta.

A etiqueta é colocada mais tarde e está presente neste produto para proteção da bobine, protegendo-a das agressões que pode ser submetida pelo exterior enquanto não é transformada no produto final.

De forma a existir um controlo da produção das encomendas nas várias máquinas foram desenvolvidos vários tipos de documentos físicos que irão ser analisados numa fase posterior. Estes ficheiros têm como objetivo o registo de parâmetros como as ordens de produção efetuadas, máquinas utilizadas, tempos de trabalho das encomendas, saber quais ordens de produção foram efetuadas pelos operadores e as avarias ocorridas.

Depois de concluída a ordem de produção as bobines dirigem-se à próxima fase apelidada de pré-montagem para serem preparadas para o processo de montagem. De forma a documentar todo os processos inerentes à produção e avarias da bobinagem, vamos analisar os ficheiros existentes e processos para que haja um esclarecimento total de todas as etapas.

Por segredo industrial, não se publicou todas as informações recolhidas.

4.2 Controlo de Produção e de Paragens

Encomenda de Produção e Folha de dados de produção

Numa fase inicial são utilizados dois documentos, um com nome de encomenda de produção (figura 22).

Figura 22. Encomenda de Produção

Seguido do documento com nome de folha de dados de produção (figura 23) que se complementam entre si e que registam entre eles os diferentes parâmetros da produção como a ordem de produção, as especificações do artigo a ser produzido, quantidades de encomenda, máquinas a serem utilizadas, dimensões dos condensadores, capacidade, número de encomenda entre outros. Para que sejam iniciados os trabalhos, vão ser baseados nestes ficheiros o preenchimento do modelo BOB-011 e a identificação de caixa.

dados numa folha de cálculo para que exista um registo informático destas ocorrências para cálculo do OEE.

O formulário 'MOD BOB-011 BOBINAGEM' é um documento de identificação de caixa. No topo, há campos para 'DATA' (dia, mês, ano) e 'MÁQUINA' (número, modelo, marca). Abaixo, há campos para 'CARGO', 'TENSÃO', 'QUANTIDADE', 'ENCOMENDA', 'MÉDIO', 'PM', 'MATERIAL' e 'ELAB'. O formulário também possui uma tabela com 6 colunas numeradas de 01 a 06 e uma seção de parâmetros técnicos no canto inferior direito, incluindo 'CENTRAGEM', 'MANDRIL', 'TEMPERAGEM', 'TRATAMENTO DE TENSÃO' e 'LIMPEZA'.

Figura 24: Modelo BOB-011

Identificação de Caixa

O documento de identificação de caixa apresentado na figura 25 tem uma estrutura que abrange vários parâmetros descritos no modelo BOB-011 como a data do turno, quantidades de encomenda, tipo de condensador até à capacidade e tensão suportada. Este documento apresenta campos para novas características como a centragem, μ mandril, temperagem, tratamento de tensão e limpeza que não eram abordadas no modelo anterior. Faltando campos para a inserção de outros parâmetros que são estudados apenas nas três máquinas e não são abordados nas máquinas onde é aplicado este documento.

O formulário 'IDENTIFICAÇÃO DA CAIXA' é um documento de identificação de caixa. No topo, há um campo para 'Data' (dia, mês, ano). Abaixo, há campos para 'Quantidade', 'Centragem', 'Operária / Turno', 'Máquina', 'Encomenda N.º', 'Semana', 'Tipo', ' μ Mandril', 'Cap / Tensão' e 'Temperagem'. O formulário também possui campos para 'Tratamento de tensão' e 'Limpeza' com caixas de seleção. No canto inferior esquerdo, há o texto 'MOD BOB 004 / MOD PM 20 / MOD MNT 001'.

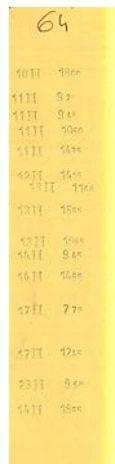
Figura 25: Identificação da caixa

Assim sendo, o processo de produção no setor da bobinagem inicia-se com as operadoras a requisitarem um modelo BOB-011 (apenas disponível para as três máquinas definidas) ou uma identificação de caixa para o início de uma ordem de produção que já tem associado a máquina que a irá produzir. Nos casos em que a ordem de produção ocupe mais que uma máquina, existe um documento de encomenda de produção e folha de dados de produção independente para cada máquina.

Cartão de avarias

No decurso da produção poderão ocorrer paragens diversas que obrigam as máquinas a parar. Quando isso acontece é necessário criar um registo de paragens num cartão para cada máquina (figura 26), registando a hora de início do problema e que será armazenado num expositor com divisórias respetivas à avaria mecânica, elétrica ou de controlo de capacidade.

Apenas as paragens curativas serão aqui descritas, uma vez que, quando uma máquina é submetida a uma manutenção preventiva nenhum trabalho é alocado a esta (não existindo a necessidade de registar esta paragem).



64	10:00
11:11	8:30
11:11	8:45
11:11	9:00
11:11	9:15
12:11	9:30
13:11	9:45
13:11	10:00
14:11	10:15
15:11	10:30
16:11	10:45
17:11	11:00
18:11	11:15
19:11	11:30
20:11	11:45

Figura 26: Cartão de avarias da máquina 64

Especificação de códigos de avarias

De forma a organizar este processo de uma forma mais rigorosa, nos casos em que o modelo BOB-011 está presente nas máquinas, as paragens são registadas no documento presente na figura 27 com o intervalo de tempo de início e fim das avarias, no dia em que ocorreu e no código de avaria correspondente.

Máquina de Bobinar M1A 60

Tipo	Causa	Código	Tempo (em contagem)					Total semanal
			Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Paragens Códigos elétricos	Afinações	1						0
	Pequenas avarias <= 1/2 hora	2						0
	Avarias > 1/2 hora	3						0
	Mudança de capacidade - Bobinagem	9						0
	Mudança de tamanho e capacidade - Enxalo	12						0
	Tratamento e medição RII	15						0
	Espera de electricista	18						0
	Resistência de soldadura - Bobinagem	19						0
	Deslocamento - Bobinagem	46						0
	Empacamento	47						0
	Espiras soltas/mandris (bobinagem)	49						0
	Etiquetas - Bobinagem	51						0
	Preços/ blocos - Bobinagem	60						0
	Temperatura/resistência	69						0
	Pequenas avarias <= 1/2 hora	62						0
Afinações > 1/2 hora	63						0	
Pequenas avarias <= 1 hora	71						0	
Avarias > 1 hora	72						0	
Espera de mecânico	80						0	
Mudança de serviço	94						0	
Cód. comuns	Falta de ar comprimido	80						0
	Falta de matéria prima	89						0
	Falta de peças	52						0
	Manutenção preventiva não planejada	58						0
			Tempo total de paragens					0
Tempo de trabalho teórico								0
			Tempo de trabalho					0
			Disponibilidade					#DIV/0!
Tempo de ciclo real								0
			Rendimento					#DIV/0!
			% de rejeição					1
			Qualidade					1
			OEE					#DIV/0!

Figura 27: Códigos de avarias

Quando ocorrem paragens de máquinas, o colaborador que intervém na manutenção permite o reinício da produção das máquinas após resolução da avaria. Porém, nas paragens relacionadas com mudanças de alterações de especificidades do condensador, é necessário o controlador de capacidade verificar se todos os valores estão corretos e fazer correções caso seja necessário para ser autorizado o reinício de produção na máquina.

Por norma, as máquinas afetas a este setor são compostas por mandris, rolos de passagem de fita, resistências, guias de ar, rolamentos e materiais auxiliares como etiquetas e alumínio que protege a bobine do contacto com o exterior.

A avaria mais comum registada até à implementação da aplicação desenvolvida é a de mudança de serviço da categoria de paragens mecânicas, que tem de ser efetuada sempre que uma máquina seja afeta a uma nova ordem de produção em que é preciso ajustar os mandris às características do condensador a produzir.

Assim que é terminada a resolução da avaria, o controlador de capacidade informa o operador que pode retomar os seus trabalhos autorizando assim o início da produção.

Foi realizada uma revisão dos códigos de avaria para que fossem retirados os obsoletos e adicionados novos códigos para utilização, como podemos observar na figura 28.

Tipo	Causa	Código	Códigos antigos:
Códigos Elétricos	Afinações	1	1
	Afinação Elétrica	2	3
	Medida de capacidade	3	9
	Medida de tangente e capacidade - Ensaio	4	12
	Tratamento e medida RIS	5	15
	Falta de peças	6	53
	Manutenção preventiva não planeada	7	58
	Resistência de soldadura	8	19
	Problemas diversos	9	
Códigos Mecânicos	Deslocamento	40	46
	Empancamento	41	47
	Espiras saídas/mandris	42	49
	Etiqueta	43	51
	Pregas/Riscos	44	60
	Temperatura/resistência	45	69
	Afinação Mecânica	46	62
	Mudança de serviço	47	94
	Falta de peças	48	53
	Manutenção preventiva não planeada	49	58
	Falta de ar comprimido	50	80
	Decapagem	51	
	Códigos Comuns	Falta de matéria prima	80
Problemas diversos		81	
5'S		82	
Cont. Cap.	Controlo de Capacidade	120	

Figura 28. Novos Códigos de Paragem

Identificação de problemas no sistema

Com a implementação deste programa pretende-se abordar os problemas existentes no registo de todas as ações que envolvam as máquinas em produção do setor da bobinagem e resolvê-los da melhor forma possível.

Um dos maiores problemas que foram registados foi a falta de um registo único de toda a produção e respetivas paragens no setor, sendo que apenas nos casos em que existe o modelo BOB-011 há o preenchimento dos horários de início e fim da produção de ordens de produção e consequentemente, existia apenas o registo e posterior estudo de reparações nas 3 máquinas.

Existe também uma falta de atualizações nos códigos de avaria, sendo descritos problemas de máquinas obsoletas e existindo a carência de criar novos códigos para satisfazer novas necessidades das máquinas e encomendas.

Por fim, o maior problema centra-se no não conhecimento da frequência em que as máquinas eram sujeitas a intervenções curativas, e por consequência, não era registado ou conhecido o período de tempo em que as intervenções eram realizadas, assim como o tempo em que as máquinas estariam paradas em espera de intervenção ou em produção.

5. DEFINIÇÃO E ANÁLISE DO VEPGPM

No capítulo presente será descrita a metodologia utilizada para a construção do *software* VEPGPM.

Através do desenvolvimento dos tópicos: especificação de requisitos funcionais e não funcionais, modelação de processos, de base de dados e definição da estrutura do *software* VEPGPM, serão descritas as fases desenvolvidas para que o desenvolvimento e implementação desta aplicação ocorra com o maior sucesso possível.

5.1 Especificação de Requisitos Funcionais

De forma a serem descritas todas as características e as interações entre sistemas e o ambiente que o *software* a desenvolver deve implementar, foi elaborada uma lista com todos os requisitos funcionais que devem ser implementados:

1. A qualquer momento o operador deve poder iniciar os seus trabalhos;
2. A qualquer momento o operador deve poder terminar os seus trabalhos;
3. O operador deve inserir as avarias que ocorrem nas máquinas;
4. Os operadores devem registar o fim de turno;
5. Os mecânicos, eletricitas e controladores de capacidade devem registar todos os processos que envolvam avarias;
- 5.1. Registar as intervenções das avarias nas máquinas;
 - 5.2. Registar o fim da resolução da máquina que intervencionou;
 - 5.3. Caso seja necessário, o colaborador deve poder dar acesso às suas avarias a um colega com a mesma função;
 - 5.4. Inserir após a resolução da avaria o código respetivo da causa que originou a paragem;
 - 5.5. No caso de engano na caracterização da avaria pelo operador, definir a categoria correta;
6. No caso de corte de energia, o responsável do setor deve inserir a hora de início e fim em que esta ocorreu.
7. O responsável de setor deve inserir no sistema sempre que existam, os novos códigos de avaria.
8. Se necessário, o responsável do setor deve transferir ordens de produção/ máquinas entre operadores;
9. O responsável do setor poderá transferir a alocação de máquinas em manutenção para outros colaboradores ou alterar a categoria de avaria caso os operadores se tenham equivocado.

5.2 Especificação de Requisitos Não Funcionais

Para que o *software* VEPGPM contenha todas as restrições definidas pelo cliente do sistema, são definidos todos os requisitos não funcionais na lista apresentada a seguir:

1. Quando os operadores efetuarem o *login* no VEPGPM com sucesso, mostrar a janela correspondente com as várias funcionalidades.
2. Para os mecânicos, eletricitas e controladores de capacidade o menu da aplicação deve ter, entre outras, as categorias das avarias e acesso a estas.
3. Deve existir a funcionalidade "Minhas avarias" onde o utilizador da manutenção pode gerir as avarias que se comprometeu a resolver.
4. Todos os dados inseridos no sistema devem ser verificados para que não sejam inseridos valores duplicados ou sem o formato pré-definido.
5. O sistema deve atualizar constantemente o ecrã de apoio com o estado das máquinas do shop floor.
6. Sempre que for registada uma avaria o sistema deve apresentar o número da máquina no ecrã de apoio até que seja iniciada a intervenção.
7. O sistema deve reconhecer o turno em que todos os registos ocorrem.
8. Os administradores do sistema e o responsável do setor devem ter acesso a todas as funcionalidades.

5.3 Modelação de Processos

O cenário atual da bobinagem será apelidado de "Processo Manual", devido à sua forma de registo de processos e por sua vez, o cenário a implementar será apelidado de "VEPGPM" devido ao nome dado a este software.

5.3.1 Diagramas de Casos de Uso

Todos os diagramas de caso de uso estarão replicados no anexo I para uma melhor leitura.

Caso de uso de Produção: Processo Manual

Na figura 29 estão representadas as interações que ocorrem atualmente no sistema da empresa em relação ao operador.

O utilizador operador inicia os trabalhos nas máquinas. No decurso da produção da encomenda irá ocorrer um dos três cenários: término da ordem de produção, término de turno ou ocorrência de uma paragem na máquina que exija uma manutenção curativa.

No caso deste último cenário ocorrer, o operador tem de efetuar o registo no modelo BOB-011 ou no cartão de avarias correspondente à máquina e depositar o documento no recipiente próprio da categoria da avaria.



Figura 29. Caso de Uso Produção: Processo Manual

A descrição do caso de uso da figura 29 encontra-se descrita na tabela 1.

Tabela 1: Descrição do Caso de Uso Produção: Processo Manual

Caso de Uso:	Produção: Processo Manual
Ator:	Operador
Objetivo:	Registo da produção e ocorrências de avarias
Contexto:	Produção de Bobines
Pré-Condições:	O ator deve iniciar o seu turno
Cenário Principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. O Operador recolhe a encomenda de produção e folha de dados de produção referente à encomenda a produzir 2. Registo dos seus trabalhos nas identificações de caixa ou modelos BOB-011

Caso de uso de Paragens: Processo Manual

Os mecânicos, eletricitas e controladores de capacidade resolvem as avarias após consultar o recipiente próprio e, no fim das intervenções, autorizam o operador a reiniciar os trabalhos como observado na figura 30.

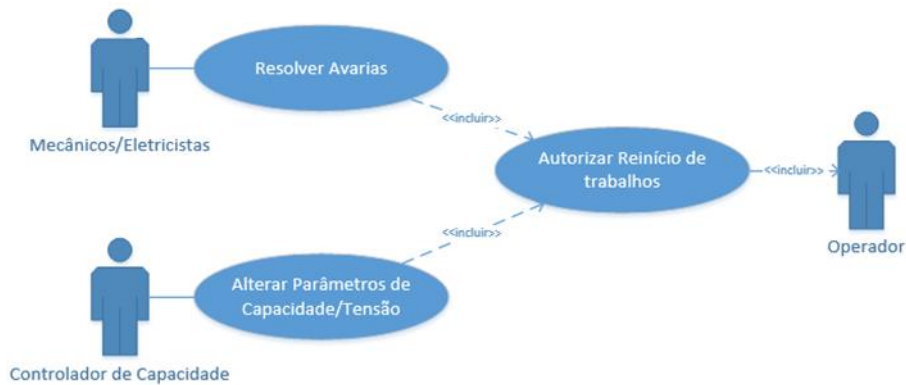


Figura 30. Caso de Uso Paragens: Processo Manual

Todo o contexto está representado na tabela 2.

Tabela 2: Descrição do Caso de Uso Paragens: Processo Manual

Caso de Uso:	Paragens: Processo Manual
Ator:	Mecânicos, Eletricistas e Controladores de Capacidade
Objetivo:	Resolução de avarias
Contexto:	Produção de Bobines
Pré-Condições:	O ator deve iniciar o seu turno
Cenário Principal:	<ol style="list-style-type: none"> 1. O autor deve recolher as avarias armazenadas no recipiente próprio da sua função 2. Consoante a sua formação, o autor dirigir-se á máquina com avaria da sua categoria

Caso de uso de Produção: VEPGPM

O operador, após a sua autenticação, tem disponível um conjunto alargado de funcionalidades no programa. Entre elas a opção de iniciar, terminar os trabalhos e registar avarias através de inserção de ordens de produção.

É possível também terminar o seu turno como visível na figura 31.

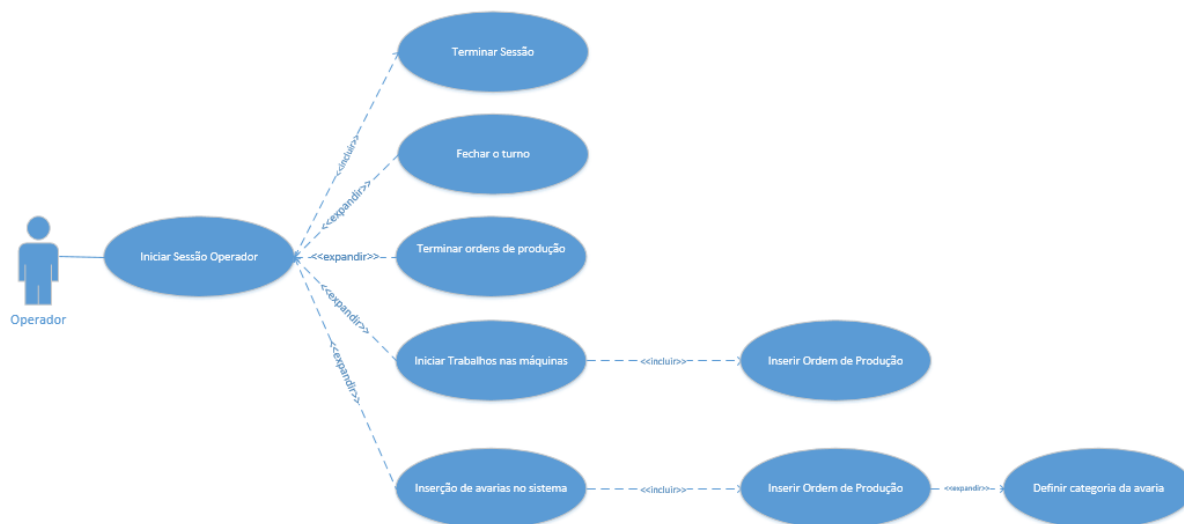


Figura 31: Caso de Uso Produção: VEPGPM

Na tabela 3 está descrita o contexto do diagrama de caso de uso representado na figura 31.

Tabela 3: Descrição do Caso de Uso Produção: VEPGPM

Caso de Uso:	Produção: VEPGPM
Ator:	Operador
Objetivo:	Registo de avarias e de ordens de produção realizadas
Contexto:	Produção de Bobines
Pré-Condições:	O ator deve autenticar-se no sistema
Cenário Principal:	1. Recolha da encomenda de produção e folha de dados de produção

Caso de uso de Paragens: VEPGPM

No caso do utilizador da manutenção (eletricistas, mecânicos e controladores de capacidade) o programa apresentará um menu com os diferentes tipos de avaria, opção de libertação de trabalhos e acesso à funcionalidade “Minhas Avarias”.

É possível também consultar as máquinas avariadas para registar o início de uma intervenção ou para consulta das máquinas intervencionadas por aquele utilizador em “Minhas Avarias”.

Nesta opção é possível terminar a intervenção numa máquina inserindo de seguida o código de avaria. No caso da categoria da avaria ser incorreta, inserir a correta, ou transferir as avarias do utilizador para um colega. Todas estas funcionalidades podem ser observadas na figura 32.

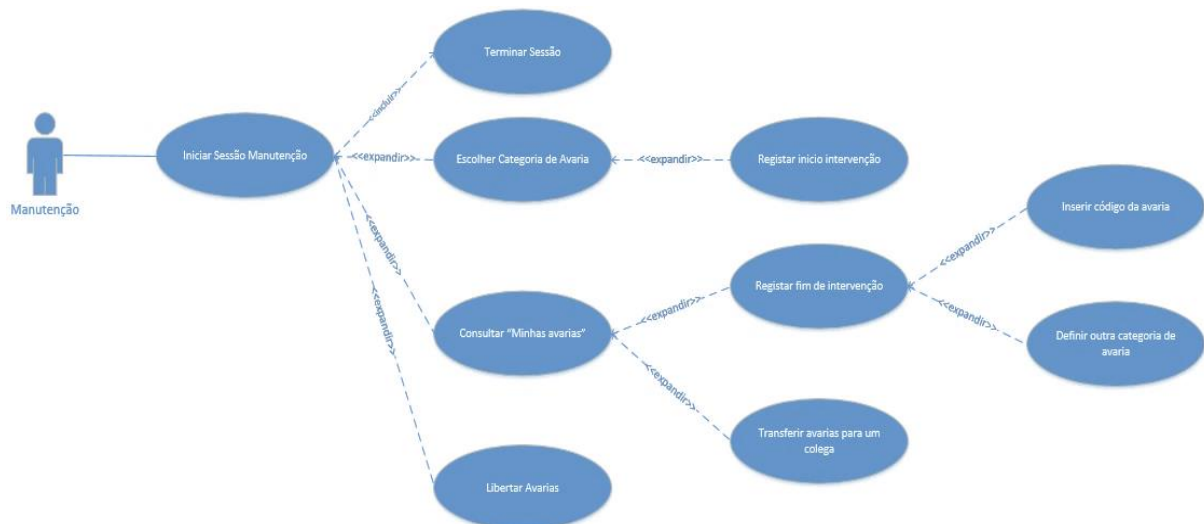


Figura 32. Caso de Uso Paragens: VEPGPM

A contextualização dos casos de uso está descrita na tabela 4.

Tabela 4: Descrição do Caso de Uso Paragens: VEPGPM

Caso de Uso:	Paragens: VEPGPM
Ator:	Mecânicos, Eletricistas e Controladores de Capacidade
Objetivo:	Resolução de avarias Registo dos tempos de intervenção e de intervenções nas máquinas
Contexto:	Produção de Bobines
Pré-Condições:	O autor deve autenticar-se no sistema
Cenário Principal:	1. Observação das avarias no ecrã do <i>Shop floor</i>

Caso de uso do Responsável do Setor: VEPGPM

O responsável do setor após iniciar sessão tem disponíveis várias funcionalidades, entre elas a definição do intervalo de tempo dos cortes de energia, criação de novos códigos de avaria e administração de tarefas na produção e manutenção (possibilidade de transferir entre colaboradores os trabalhos ou alterar a categoria da avaria).

Na figura 33 encontram-se descritas todas as interações possíveis pelo responsável do setor no sistema.

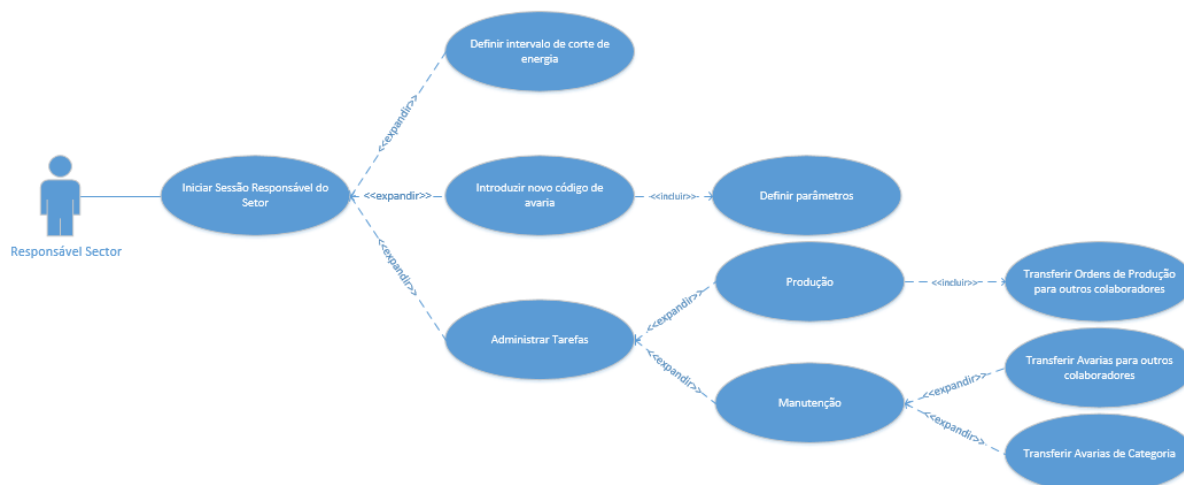


Figura 33. Caso de Uso Responsável do Setor: VEPGPM

Na tabela 5 encontra-se descrito o caso de uso do responsável do setor na aplicação VEPGPM.

Tabela 5: Descrição do Caso de Uso Responsável do Setor: VEPGPM

Caso de Uso:	Responsável do Setor: VEPGPM
Ator:	Responsável do Setor
Objetivo:	Recolha dos tempos de início e fim de cortes de energia Introdução de novos códigos de avaria Transferência de tarefas
Contexto:	Produção de Bobines
Pré-Condições:	O autor deve autenticar-se no sistema
Cenário Principal:	1. Corte de energia Ou 2. Registo da necessidade de um novo código de avaria Ou 3. Registo da necessidade de transferência de tarefas

5.3.2 Diagramas de Atividades- Business Process Model and Notation

Todos os diagramas de atividades estarão replicados no anexo II para uma melhor leitura.

BPMN Processo Manual

Neste BPMN existem três participantes, os operadores, os mecânicos e eletricitas (a referir como manutenção no diagrama BPMN) e os controladores de capacidade com participação na fase das avarias como observado na figura 35.

O processo de produção inicia-se com o operador a recolher os trabalhos que irá iniciar, recolhendo os documentos folha de dados de produção e ordem de produção. Para iniciar a produção nas máquinas, será preenchido um novo registo no modelo BOB-011, para as máquinas número 63, 101 ou 85. Nas restantes máquinas, será feito um novo registo na identificação de caixa.

No caso de ocorrer uma avaria nas máquinas 63, 101 ou 85 será registado no modelo BOB-011 a marcação da paragem, nas restantes máquinas a marcação será efetuada no cartão de avaria da máquina respetiva. Em ambos os casos os documentos serão depositados na divisória própria para posterior resolução pela equipa de manutenção respetiva.

Após a resolução da avaria pela equipa de manutenção respetiva, é autorizado o reinício da produção ao operador.

Caso não exista uma avaria há a possibilidade do turno ou a ordem de produção terminar, se o primeiro cenário ocorrer o processo é terminado, senão após o término da ordem de produção é iniciada uma nova, reiniciando o processo de produção.

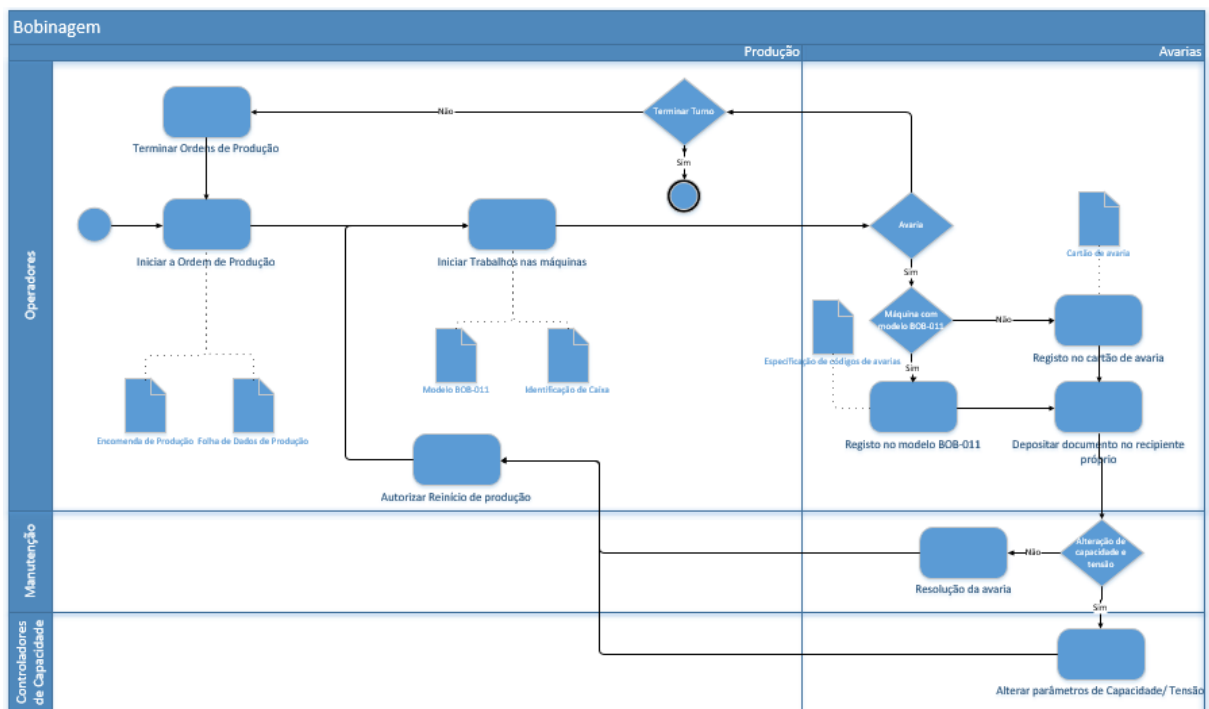


Figura 34: BPMN Processo Manual

BPMN do VEPGPM

Este diagrama contém três participantes: o utilizador Operador; o utilizador da Manutenção (eletricista, mecânico e controlador de capacidade); e, por fim, o utilizador Responsável de Setor. Ao longo do fluxo de produção os utilizadores participarão nas diferentes fases de produção ou de avarias.

O operador inicia os trabalhos baseando-se nos documentos folha de dados de produção e encomenda de produção. No momento de produção, pode ocorrer alguma avaria nas máquinas em que o operador está a trabalhar e, nesse caso, irá registar a máquina no sistema como avariada. Se não ocorrerem avarias, o operador continua a trabalhar como o normal.

Assim, é possível que ao longo da produção ou terminam os trabalhos iniciados ou o turno de trabalho. No utilizador da manutenção é possível intervencionar uma avaria. Quando a resolução da avaria terminar é definido o código que vai representar o que aconteceu. No caso de a avaria estar na categoria errada, define-se a correta.

Por fim, o utilizador Responsável do Setor pode registar cortes de energia, definindo o seu início e fim, novos códigos de avarias e administrar tarefas, transferindo ordens de produção e avarias entre os utilizadores qualificados para tal.

Todas estas relações entre processos e participantes estão descritas na figura 35.

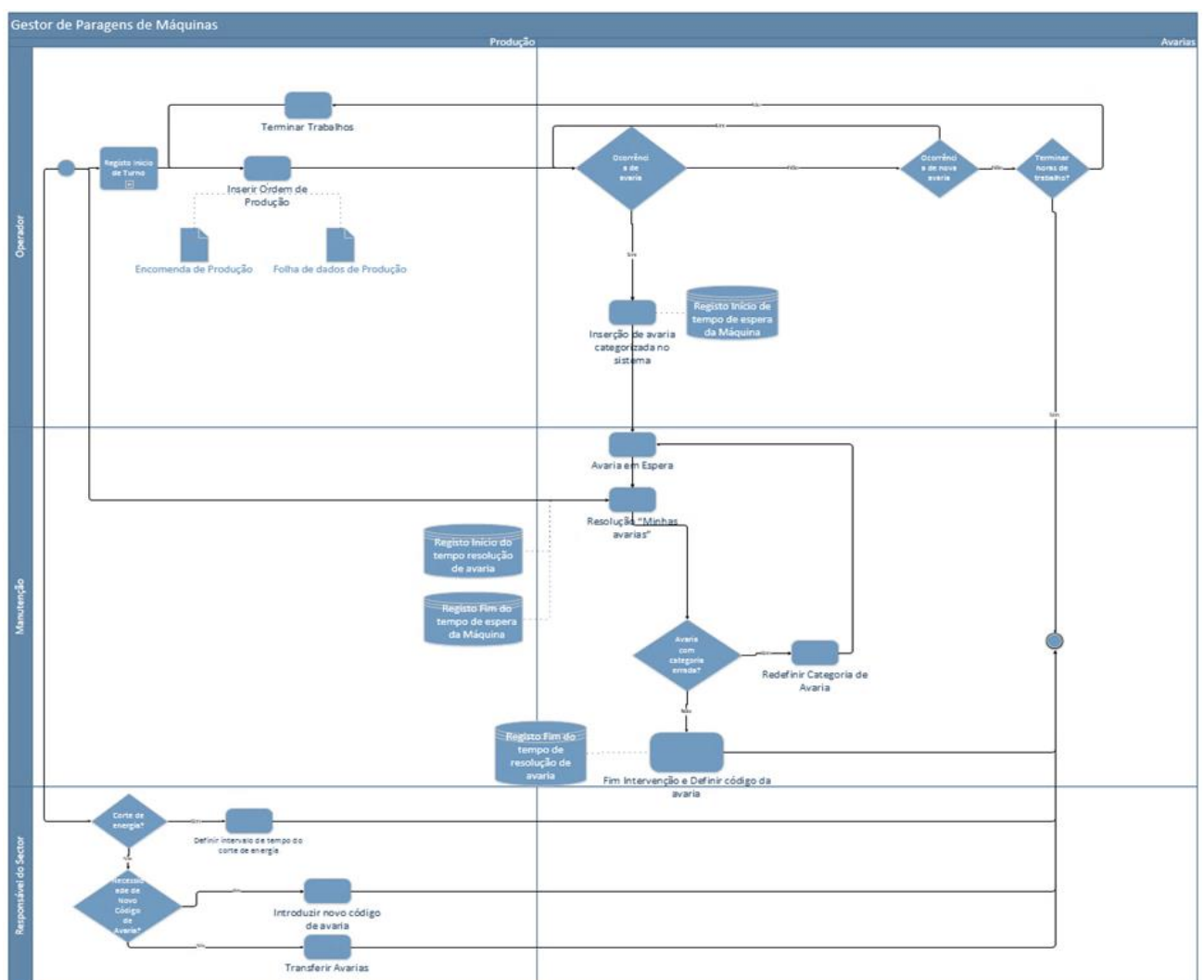


Figura 35: BPMN do VEPGPM

5.4 Modelação de Base de Dados

5.4.1 Modelo Conceptual: Entidades-Relacionamentos

Na figura 36 podemos observar o modelo E-R (Entidades-Relacionamentos) deste sistema, que apresenta todas as suas entidades e suas relações.

Um bom ponto de partida para a leitura deste diagrama seria a entidade Registo_Tempo uma vez que será a entidade principal na base de dados a desenvolver, registando todas as entradas e saídas de dados, contendo várias variáveis e utilizando outras entidades para consulta para que mais tarde seja possível analisar e retirar conclusões.

A entidade Logs é a tabela que se deve ler a seguir à Registo_Tempo. Tem a propriedade de escrita em que, caso ocorra algo de errado, será criado um novo registo com as características devidas, todas as restantes entidades têm a função de consulta de dados, uma vez que estão previamente preenchidas com os dados respetivos.

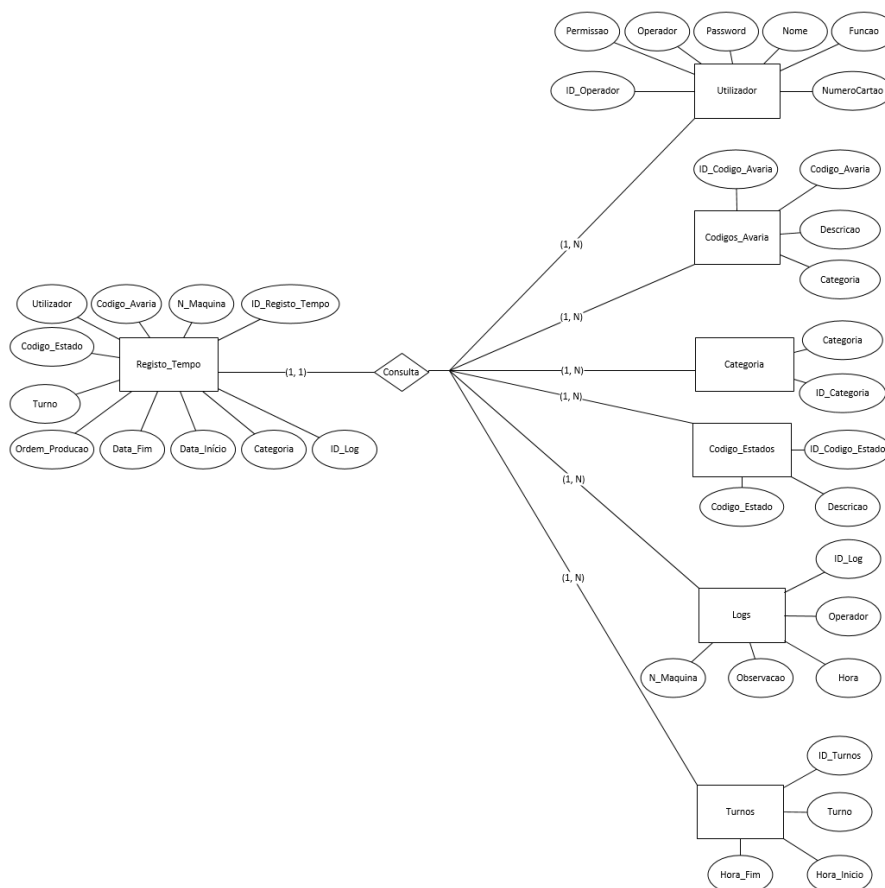


Figura 36: Modelo E-R

5.4.2 Modelo Lógico: Relacional

Na figura 37 podemos ver o modelo relacional base para a construção da base de dados deste programa. Como referido na análise do modelo anterior a entidade de registo de tempo será a tabela principal por realizar o registo de todas as entradas e saídas de dados no sistema como desejado.

De forma a que a entidade registo de tempo possa consultar os dados das restantes entidades, esta terá ligações a todas elas.

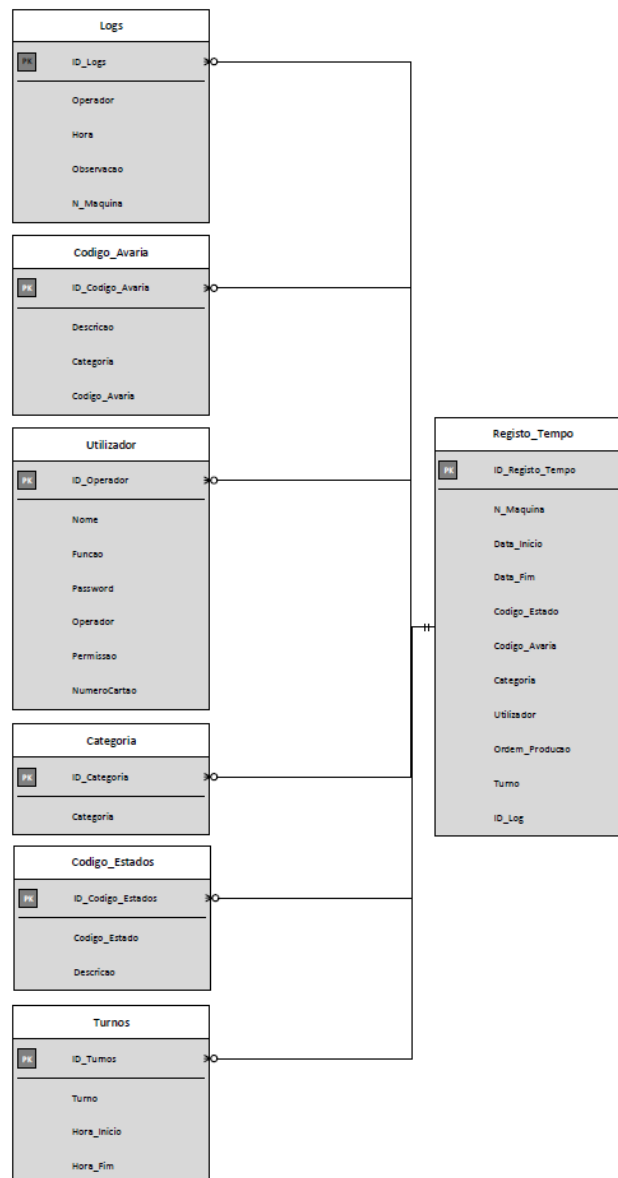


Figura 37: Modelo Relacional

De forma a elucidar a compreensão deste modelo e o significado dos seus atributos, será feito um dicionário de dados contendo os nomes de atributos e características para cada tabela no sistema. Resumindo, o dicionário de dados conterá informação sobre as estruturas das tabelas” (Rob & Coronel, 2009). A entidade Utilizador será descrita na tabela 6, a Codigo_Estados na tabela 7, a Registo_Tempo

na tabela 8, a Codigo_Avaria na tabela 9, a Categoria na tabela 10, a entidade Logs na tabela 11 e a entidade Turnos na tabela 12.

Tabela 6: Entidade Utilizador

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Utilizador	ID_Operador	Id do operador.	Primária	
	Nome	Nome do utilizador.		
	Operador	Número do utilizador.		
	Password	Password do utilizador.		
	Permissao	Permissão do utilizador.		
	Funcao	Função do utilizador.		
	NumeroCartao	Número do cartão do utilizador.		

Tabela 7: Entidade Codigo_Estado

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Codigo_Estados (Códigos de Estados)	ID_Codigo_Estados	Id do código de estado.	Primária	
	Codigo_Estado	Código do estado da máquina.		
	Descricao	Descrição do código de estado.		

Tabela 8: Entidade Registo_Tempo

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar		
Registo_Tempo (Registo de Tempos)	ID_Registo_Tempo	Id do registo de tempo.	Estrangeira	Utilizador		
	N_Maquina	Número da máquina na qual se vai registar os tempos.				
	Turno	Número do turno da ação.				
	Data_Inicio	Data de início do estado.				
	Data_Fim	Data de fim do estado.				
	Codigo_Estado	Código do estado da máquina.				
	Codigo_Avaria	Código da avaria da máquina.				
	Utilizador	Utilizador que requer o estado.				
	Ordem_Producao	Número da ordem de produção.				
	Categoria	Categoria da avaria.				
	ID_Log	Número do Id em que ocorreu o log.				
	ID_Utilizador	Id do utilizador.				
	ID_Codigo_Estados	Id do código de estados.			Estrangeira	Codigo_de_Estados
	ID_Avaria	Id da avaria.			Estrangeira	Avaria

ID_Categoria	Id da categoria.	Estrangeira	Categoria
--------------	------------------	-------------	-----------

Tabela 9: Entidade Codigo_Avaria

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Codigo_Avaria	ID_Codigo_Avaria	Id do código de avaria.	Primária	
	Codigo_Avaria	Código da avaria.		
	Descricao	Descrição da avaria.		
	Categoria	Categoria da avaria.		

Tabela 10: Entidade Categoria

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Categoria	ID_Categoria	Id do código de estado.	Primária	
	Categoria	Categorias de avarias.		

Tabela 11: Entidade Logs

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Logs	ID_Logs	Id do Log	Primária	
	Operador	Utilizador que acionou o log.		
	Hora	Hora do log.		
	Observação	Descrição do que acionou o log.		
	N_Maquina	Máquina referente ao log.		

Tabela 12: Entidade Turnos

Entidade	Atributo	Descrição	Chave primária ou estrangeira	Tabela a referenciar
Turnos	ID_Turnos	Id do Turno.	Primária	
	Turno	Número do turno.		
	Hora_Inicio	Hora de início do turno.		
	Hora_Fim	Hora de fim do turno.		

Após análise do modelo e das tabelas, podemos retirar a conclusão de que as entidades com várias ligações, são mais requisitadas que as restantes, uma vez que existirão mais dados para fornecer, partilhar ou consultar.

As entidades fulcrais serão o utilizador, que terá registado todos os utilizadores deste sistema independentemente da sua função, e a entidade de Registo de Tempos que registará todas as alterações que ocorrerão neste sistema relacionado com máquinas.

Todas as restantes tabelas, excetuando a de *Logs* (escrita de grandes mudanças no sistema pela parte dos utilizadores), são de consulta de dados, sendo também cruciais para o cruzamento de dados e posterior análise de resultados.

5.5 Definição da estrutura do Software VEPGPM

Pretende-se desenvolver um *software* que registe o início e o fim de ordens de produção, de paragens de máquinas e cortes de energia.

Como vantagens da implementação do VEPGPM existe a escalabilidade (não existindo um limite de implementação em máquinas), a informação disponível *online* atualizada em tempo real, e a possibilidade de análise de vários fatores como tempos e frequências de avarias, avarias mais frequentes, registo de movimentos de máquinas e operadores.

Os dados recolhidos serão utilizados também para cálculo de medidas de desempenho como já referido. Porém existem desvantagens como a resistência à mudança para o registo digital, a obrigatoriedade de registo de todos os acontecimentos ocorridos nas máquinas e a suspensão do programa caso não exista uma ligação à base de dados.

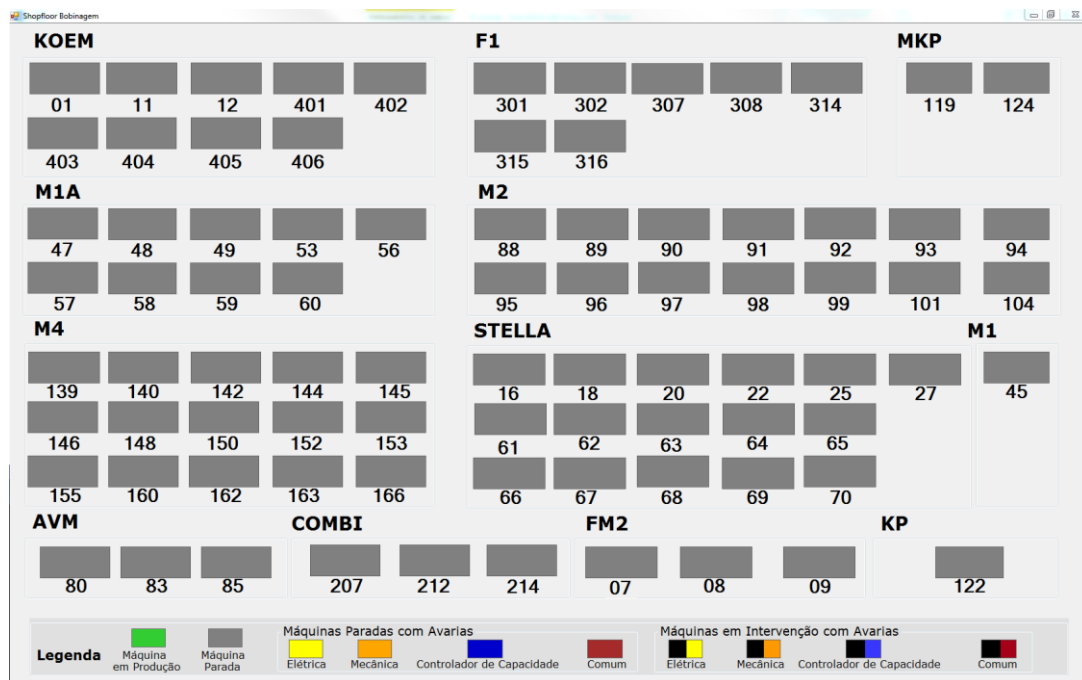


Figura 38: Representação do shop floor

Será também desenvolvido como apoio aos colaboradores e responsáveis de setor uma funcionalidade com a representação do *shop floor* (figura 38) de forma a representar o estado de cada máquina de forma intuitiva por cores. A ordem das máquinas no ecrã não corresponde à utilizada no sector pela razão de que estas estão em constante movimento, evitando assim várias alterações no *layout* do programa.

A cor verde será para as máquinas em trabalho, o cinza no caso de as máquinas estarem paradas (fora de serviço), laranja à espera de resolução pelo mecânico, amarelo à espera de resolução pelo electricista,

vermelho para avarias comuns (setor elétrico e mecânico) e azul para espera de resolução do controlador de capacidade.

Nos casos em que as avarias estão em resolução, as máquinas devem ter uma parte a negro e outra colorida, consoante a cor da sua avaria, como legendado na figura 39.



Figura 39. Exemplo da representação das máquinas

Sendo assim, a estrutura deste programa será definida ao longo deste texto, com suporte de figuras exemplificativas das *interfaces* do VEPGPM para uma melhor compreensão.

Dando resposta às necessidades de navegação do *software* por parte dos vários utilizadores que vão interagir neste programa simultaneamente, existirá um menu inicial comum (figura 40) para que todos os intervenientes se autenticem no sistema por leitura do seu cartão, para que após a autenticação seja restringida a utilização e acessos ao *software*.



Figura 40. Página inicial do programa

A partir desta autenticação, consoante o perfil do utilizador existirão diferentes ecrãs e fluxos de utilização do sistema para inserção e consulta de dados pelos diferentes utilizadores.

Em todas as *interfaces* do sistema é possível utilizar um botão “Sair” ou “Voltar” para encerrar a sessão do utilizador ou voltar ao ecrã anterior respetivamente, para que o sistema fique disponível para o próximo utilizador.

Todas as alterações de estados que possam ocorrer nas máquinas neste programa refletir-se-ão na aplicação presente no segundo ecrã de representação do *shop floor*.

5.5.1 Operadores

Após a leitura do cartão, os operadores observarão um ecrã com uma disposição em que é possível executar diversas tarefas. Neste ecrã estão presentes funcionalidades relacionadas com as ordens de produção, registo de avarias e fim de turno- figura 41.

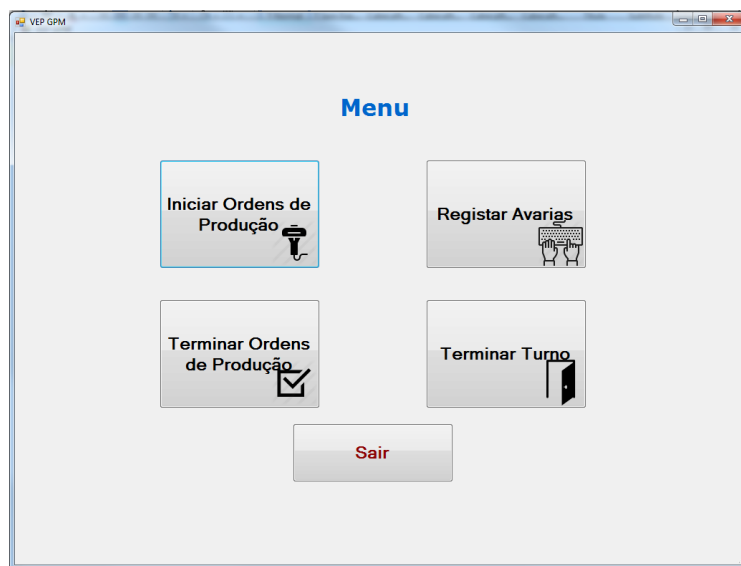


Figura 41: Ecrã do Menu dos Operadores

Iniciar Ordens de Produção

Após selecionar a opção “Iniciar Ordens de Produção”, é gerada uma *interface* com uma lista com as ordens de produção e respetivas máquinas em que o utilizador está a trabalhar. Será também possível iniciar novos trabalhos como observado na figura 42.

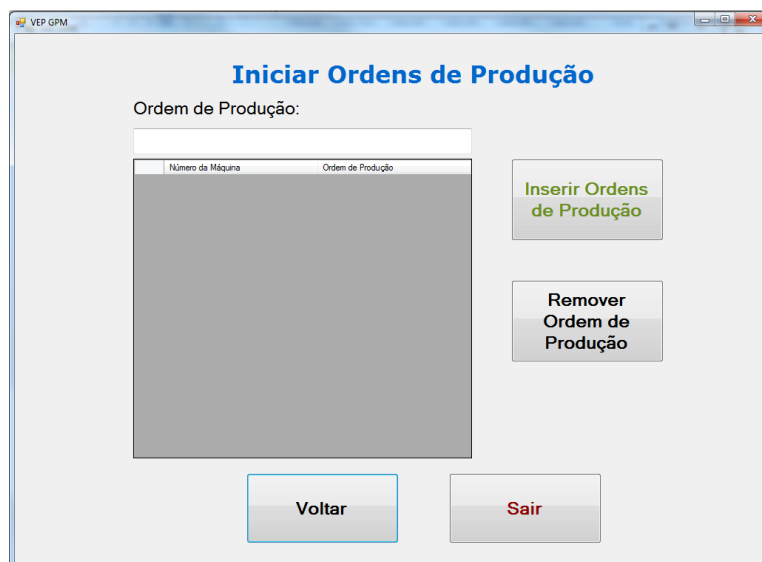


Figura 42: Ecrã de Introdução de Ordens de Produção

Na opção de iniciar ordens de produção, o operador irá inserir a ordem de produção em que vai trabalhar - pelo código de barras da folha de dados de produção -, sendo atualizada automaticamente a lista de ordens de produção em trabalho e respetivos números de máquinas.

Nos casos em que é erroneamente inserida uma ordem de produção, é possível remover esta da listagem através do botão “Remover Ordem de Produção”.

- Se for inserida no sistema uma ordem de produção que já esteja no sistema é gerada uma *interface* com a mensagem de erro de que a máquina atribuída já está ocupada.
- Assim como se a ordem de produção inserida tiver um formato diferente do pré-definido, é gerada também uma *interface* com a mensagem que existe um erro na ordem de produção inserida.

Terminar Ordens de Produção

Nesta funcionalidade estão presentes os trabalhos em produção do utilizador, como podemos observar na figura 43.



Figura 43: Ecrã de Término de Trabalhos

Após seleção da ordem de produção a terminar na lista, pressiona-se o botão “Terminar”. Apresentação de uma *interface* (figura 44) questionando o utilizador se pretende inserir mais ordens de produção. Se a opção “OK” for escolhida o *software* apresenta a janela de inserção de ordens de produção na figura 42, se escolhido o botão “Não” a sessão é encerrada.

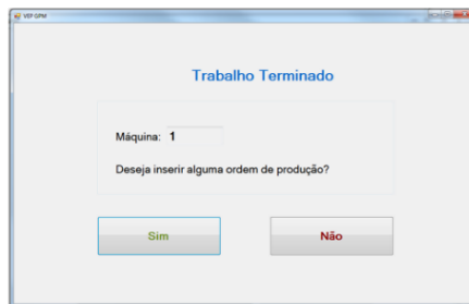


Figura 44: Ecrã precedente aos Términos de Trabalhos

Registrar Avarias

Para o registo das avarias é necessário inserir a ordem de produção e atribuir uma categoria de avaria após escolher a opção de “Registrar Avarias” como podemos observar na figura 45.

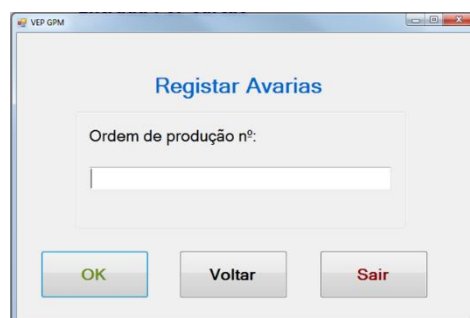


Figura 45: Ecrã de Registo de Avaria- Inserção do código de barras

Inserção da ordem de produção (recolha do tempo de início de paragem da máquina).

Caso a ordem de produção for correta (formato correto e pertencer aos trabalhos em produção do utilizador), surge uma nova *interface* para ser introduzida a origem da avaria como descrito na figura 46.

- Caso a ordem de produção não for correta, é gerada uma *interface* com uma mensagem de erro.

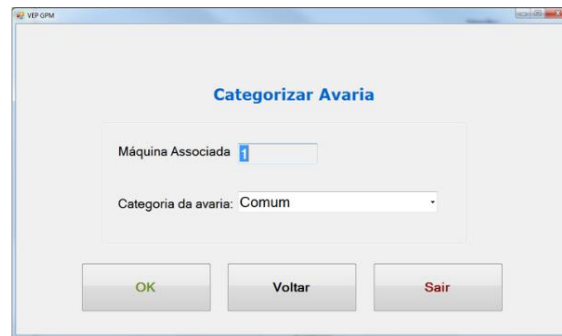


Figura 46: Ecrã de Registo de Avarias- Categorização da Avaria

Existem quatro origens de avarias do modelo BOB-011 presentes no sistema:

- Elétrica;
- Mecânica;
- Comum;
- Controlador de Capacidade.

Terminar Turno

Por fim, existe a opção de terminar o turno, onde o operador deve informar o sistema que terminou o seu horário de trabalho.

Após a confirmação de turno terminado, o utilizador no sistema não tem trabalhos em aberto- figura 47.

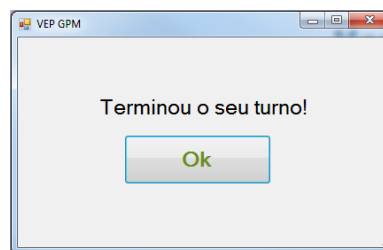


Figura 47: Ecrã de Fim de Turno

5.5.2 Manutenção

Depois de autenticação no sistema o colaborador da manutenção tem várias opções de interação no sistema como demonstrado na figura 48.

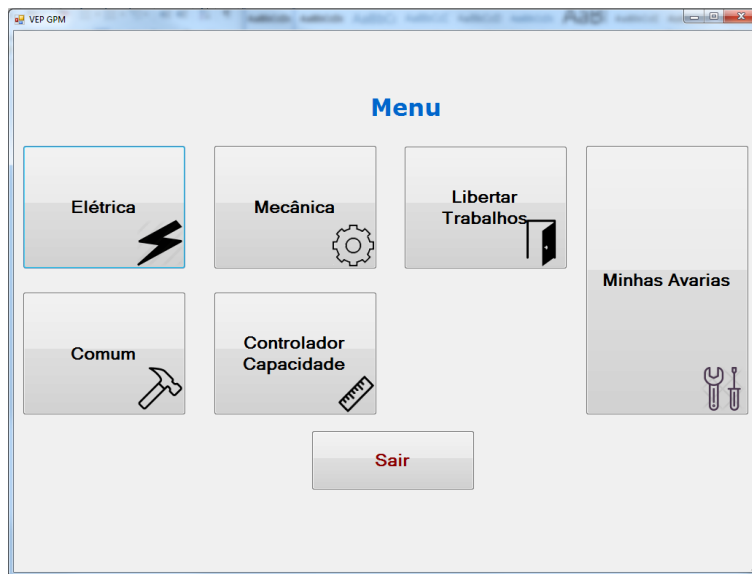


Figura 48. Ecrã Menu da Manutenção

Máquinas em Espera de Intervenção

Para as quatro opções de avarias (Mecânica, Elétrica, Comum e Controlo de Capacidade) a estrutura das *interfaces* geradas serão iguais, mas o seu conteúdo (avarias) vai diferir consoante a categoria escolhida.

A estrutura das *interfaces* é composta pela listagem das avarias em espera de intervenção da categoria seleccionada e a opção de intervenção como se pode verificar na figura 49. Como exemplo foi utilizada a categoria “Comum” uma vez que, independentemente da categoria escolhida, a estrutura será a mesma.



Figura 49. Ecrã de Listagem de Avarias

Após escolha da máquina e do botão “Intervenção” é necessário confirmar a participação na avaria pressionando o “Sim”, como observado na figura 50.

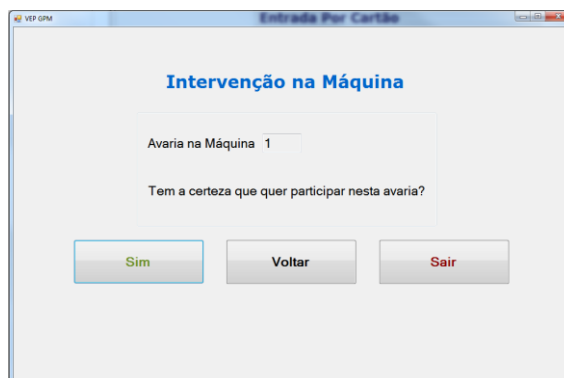


Figura 50. Ecrã de Confirmação de Resolução

Para confirmar a intervenção seleciona-se o botão “Sim”, iniciando o registo do início do tempo de resolução e o término do tempo de espera pela intervenção da máquina. Automaticamente a máquina transferir-se-á para a funcionalidade de “Minhas avarias” do utilizador atual.

Minhas Avarias

Nesta funcionalidade estão armazenadas todas as avarias em resolução pelo utilizador atual, sendo possível terminar a intervenção nas máquinas ou fornecer o acesso a outro colega (transferência de avarias através da leitura do cartão) - figura 51.



Figura 51: Ecrã das Minhas Avarias

Conforme a função do utilizador, esta *interface* apresentará as suas avarias. Por exemplo, a um electricista são apresentadas as avarias elétricas, no caso de um utilizador da manutenção intervir dois tipos de avarias como na figura 51, a *interface* terá a informação relativa a cada categoria.

Para terminar o registo de uma intervenção é necessário selecionar a avaria e pressionar o botão “Fim Intervenção” e seguir as etapas:

- Se o colaborador da manutenção tiver a sua intervenção na máquina terminada, confirmar a resolução da máquina através do botão “Sim” da figura 52, sendo registado o fim do tempo de resolução da avaria.

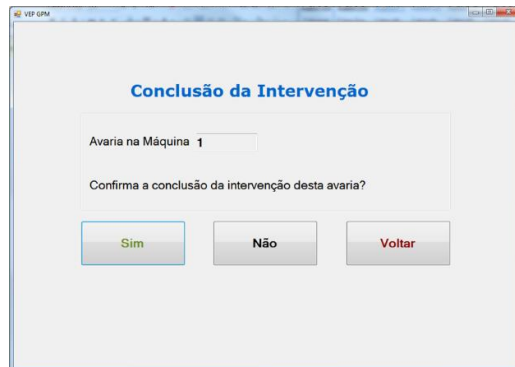


Figura 52: Ecrã de Conclusão de Intervenção

- Em que para terminar o processo, é gerada também uma *interface* para definir a razão da avaria através de um código como podemos observar na figura 53.

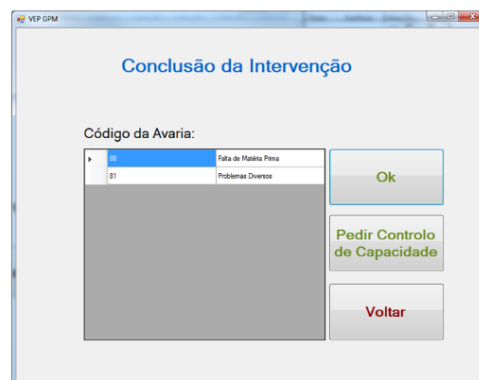


Figura 53: Ecrã de Inserção do Código de Avarias

- Se, após selecionar o botão “Fim de Intervenção” na *interface* da figura 51, o objetivo seja o de alterar a categoria da avaria da máquina, é selecionado o “Não” na interface da figura 52 e é gerada uma nova interface onde se deve inserir a origem correta da avaria como apresentado na figura 54.

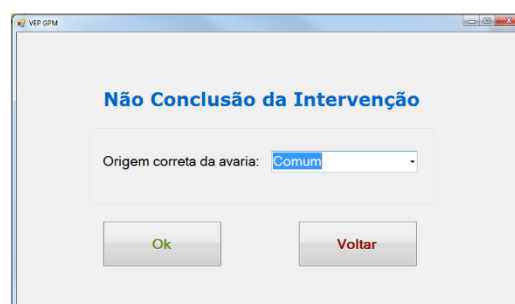


Figura 54: Ecrã de Origem da Avaria Errada

Libertar Trabalhos

Por fim, existe a opção de libertar trabalhos para que as avarias do utilizador estejam disponíveis para outro colaborador da manutenção resolver, no caso de não poder terminar as intervenções nas suas máquinas - figura 55 (a máquina ficará no estado de espera de intervenção).

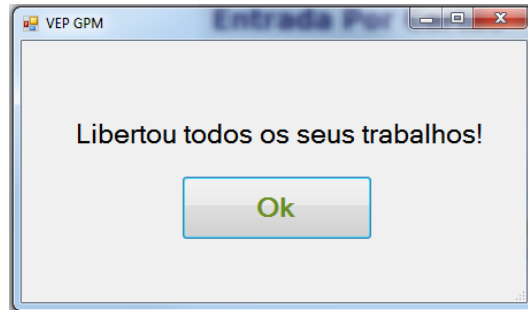


Figura 55: Ecrã de libertação de libertação de trabalhos

5.5.3 Responsável do setor

Após autenticação no sistema, o responsável do setor tem várias funções importantes para o bom funcionamento deste programa, a definição do intervalo de tempo do corte de energia, a introdução de novos códigos de avaria, definição de *passwords* e a atribuição de tarefas aos colaboradores, seja de produção ou manutenção como observado na figura 56.



Figura 56: Ecrã do Menu do Responsável do Setor

Corte de Energia

No caso de existir um corte de energia, assim que o sistema reiniciar e ficar operacional, o responsável deve validar o seu cartão no menu principal e o intervalo de tempo de corte de energia.

Na figura 57 estão demonstrados todos os parâmetros que se devem introduzir para um registo completo do corte de energia.

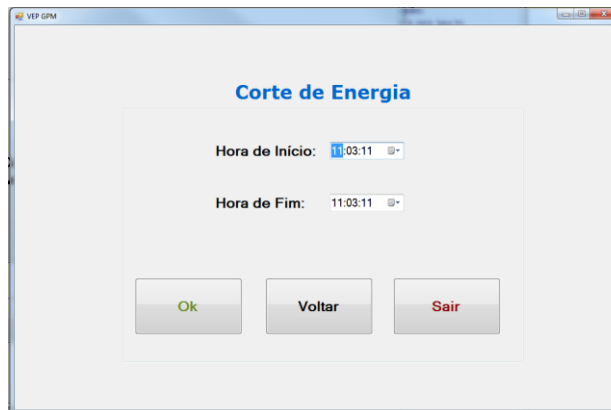


Figura 57: Ecrã do Corte de Energia

Novo Código de Avaria

Inserção de um novo código de avaria, através da introdução dos dados respetivos como podemos verificar na figura 58, sendo atualizado no momento o VEPGPM com o novo código e descrição deste.

- Os dados devem respeitar os formatos pré-definidos, caso contrário uma mensagem de erro surgirá a transmitir a mensagem de que os dados inseridos não são aceites.

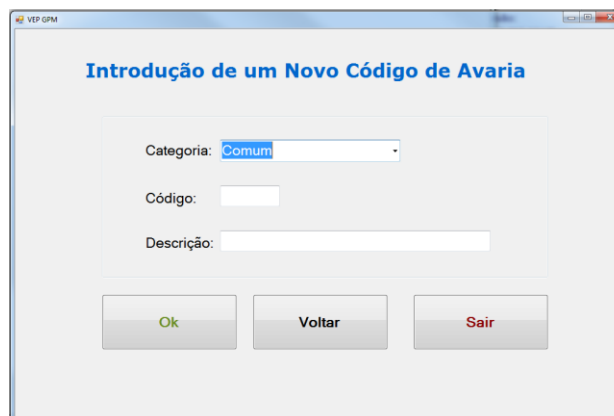


Figura 58: Ecrã de inserção de um novo código de avaria

Nova Password

Caso o utilizador se esqueça do cartão, é necessário que se crie uma *password* para este (figura 60).

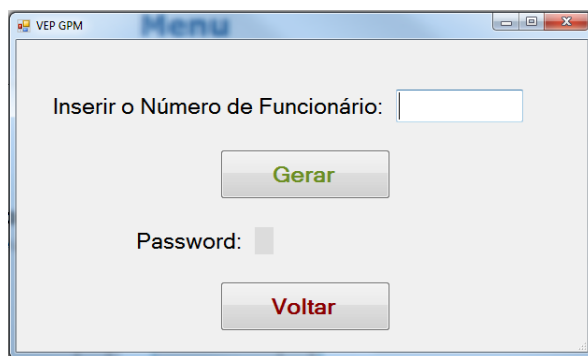


Figura 59. Ecrã de Geração de Passwords

Após introdução do número de funcionário, pressionar “Gerar” e uma nova *password* será disponibilizada para que o operador utilize o sistema (esta *password* apenas estará disponível até ao fim do dia).

Administração de Tarefas - Produção

Como podemos observar na figura 60, é possível transferir trabalhos em produção para outros operadores.

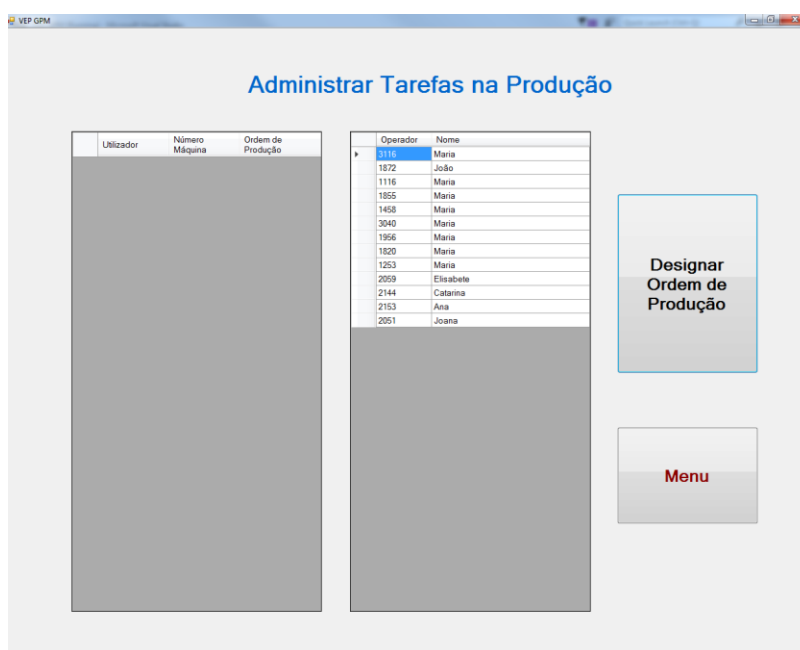


Figura 60. Ecrã de Administração de Tarefas na Produção

É necessário apenas selecionar um trabalho, um colaborador e pressionar o botão Designar Ordem de Produção.

Administração de Tarefas - Manutenção

Menu para selecionar máquinas em espera de intervenção ou já a serem intervencionadas, figura 61.

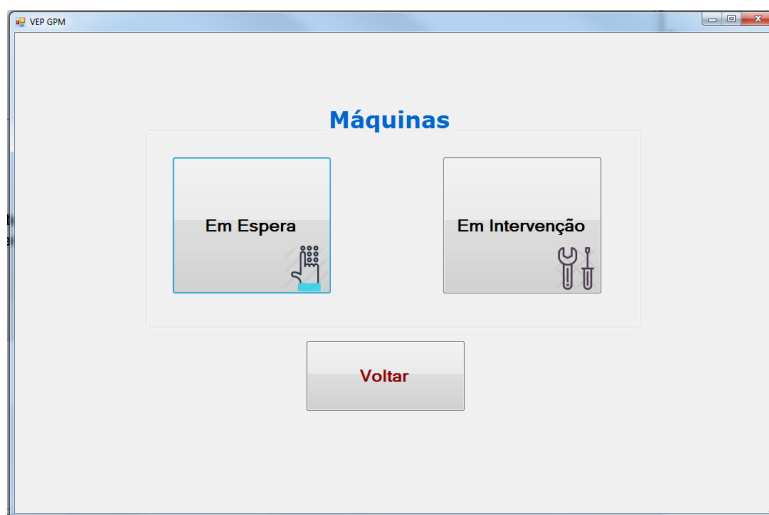


Figura 61: Ecrã do Menu de Administrar Tarefas de Manutenção

Opção “Em espera”:

O responsável de setor através desta funcionalidade pode alterar a categoria de avarias de máquinas como podemos observar na figura 62.



Figura 62: Ecrã de Administração de Tarefas de Manutenção à Espera

Para efetuar a alteração da categoria de uma avaria é necessário selecionar o número da máquina com a categoria errada, selecionar o botão que contém a categoria correta e pressionar o botão “Ok” para que a informação do VEPGPM seja atualizada.

Opção “Em espera”:

Nesta *interface* o responsável de setor pode também transferir avarias em intervenção para outros utilizadores como podemos observar na figura 63.



Figura 63. Ecrã de Administração de Tarefas na Manutenção

Como existem quatro categorias de avarias, é necessário seleccionar o botão correspondente para que as listagens sejam atualizadas com o conteúdo correto. Após a seleção da categoria, deve-se escolher uma avaria, o colaborador correto e pressionar o botão “Designar Paragem” como podemos observar na figura 63.

Todo este programa terá o apoio de uma base de dados que será consultada e editada ao longo dos mais diversos processos nos casos em que se justifique. Desta forma, o software desenvolvido fornecerá à ferramenta de análise um conjunto de informações vitais para análises futuras e que poderão ser fulcrais para tomadas de decisão nas varias áreas, com principal foco na gestão de produção.

6. INDICADORES DE DESEMPENHO

Para que seja possível estudar de que forma a implementação do *software* VEPGPM influenciou o funcionamento normal das máquinas do setor da bobinagem, serão efetuadas análises a vários indicadores de desempenho nos três meses de estudo. Os indicadores de desempenho utilizados são o OEE, o método multimomento, o MTBF e o MTTR.

6.1 Indicador OEE

De forma a que sejam abordadas todas as componentes do indicador de desempenho OEE, vai ser analisada de forma independente a componente disponibilidade, o desempenho e a qualidade.

Para o cálculo desta métrica foram utilizados dados de tempos como trabalho teórico, paragens, ciclo teórico, ciclo real e a taxa de desperdício. Incluindo o seguimento da produção de duas máquinas durante 6 meses de produção (apenas as máquinas STELLA 63 e M2 101 contém dados do OEE de outubro a março).

Nos 9 meses deste estudo (outubro a junho), de outubro a março será considerado o período de tempo antes da implementação do VEPGPM, os dados apresentados a partir do mês de abril foram retirados do VEPGPM, sendo mais corretos que os dados retirados anteriormente devido ao rigor do sistema contrastando com o sistema manual utilizado até março.

Com estes dados será efetuado um estudo comparativo para que seja analisado a influência do *software* na métrica de produtividade ao longo do período de tempo, através das máquinas STELLA 63 e M2 101, que tem disponíveis todos os dados necessários.

6.1.1 Disponibilidade

Ao longo do estudo do OEE pretende-se obter os melhores resultados possíveis, sendo necessário que os tempos de manutenção (não planeada) sejam os mínimos possíveis, uma vez que estes reduzem o tempo em que a máquina está em produção.

Na empresa Vishay, o cálculo da Disponibilidade segue:

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de Produção Planeada} - \text{Tempo de Paragens (não planeadas)}}{\text{Tempo de Produção Planeada}}$$

Em que no tempo de paragens não são incluídas as paragens planeadas, como fins-de-semana, máquinas paradas por falta de trabalho, reuniões e manutenções preventivas planeada.

Na figura 64 é apresentado um gráfico representativo da disponibilidade nos 9 meses analisados. Como podemos observar, o maior tempo em que a máquina STELLA 63 esteve a produzir foi no mês de março registando o valor de 100%. Neste período de tempo foram produzidas encomendas de grandes quantidades e de características semelhantes, o que levou à redução dos tempos de paragem uma vez que os componentes das máquinas não são alterados de forma significativa de encomenda para encomenda.

Para a máquina M2 101, o maior tempo de produção foi registado em março, com 99% de disponibilidade estando de acordo com a observação registada anteriormente.

Uma vez que como já referido os dados são mais precisos a partir de abril, podemos verificar que, neste espaço de tempo, para a máquina STELLA 63, o melhor registo foi para o mês de junho, e para a máquina M2 101 foi abril com valores de 96% e 98% respetivamente.

Podemos observar que a partir de abril (implementação do VEPGPM) os valores da disponibilidade no seu todo diminuíram ligeiramente em relação ao período anterior, porém existe a garantia de que os dados a partir dessa data são fidedignos e corretos.

No entanto, de maio para junho os valores da disponibilidade aumentaram, indicando um aumento do tempo de produção.

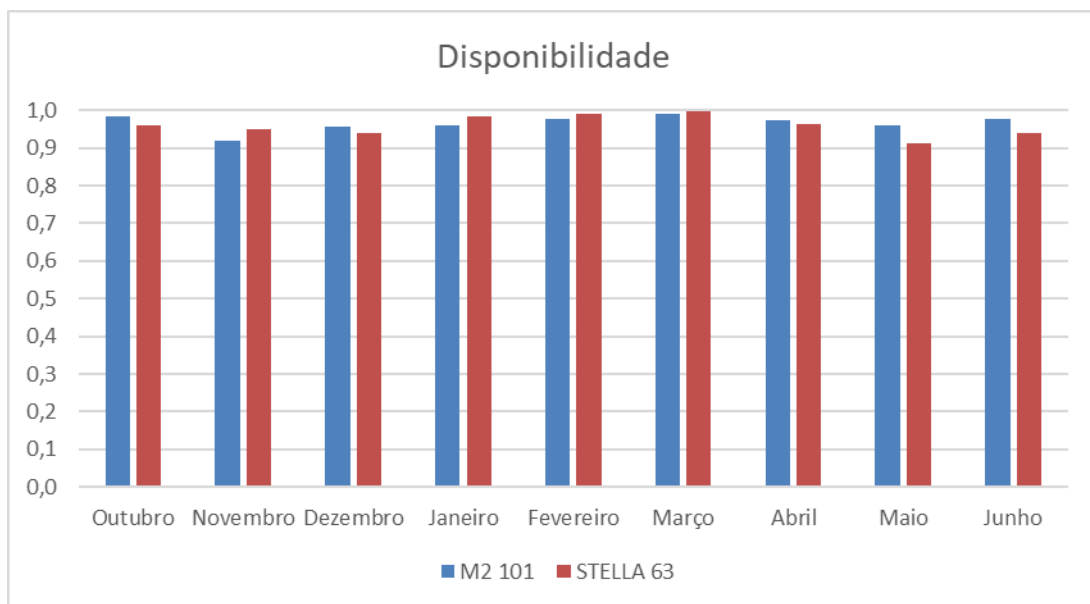


Figura 64: Fator Disponibilidade na máquina M2 101 e STELLA 63

Na figura 65 é possível observar todas as distribuições das paragens da máquina STELLA 63. Como podemos observar, a paragem que ocorreu durante mais tempo foi para afinações, ocupando 0,43% do tempo total da máquina.

As mudanças de serviço contêm apenas 0,39% das paragens, ocorrendo sempre que exista uma nova ordem de produção nas máquinas. O seu tempo não é o maior registado, pois tende a diminuir uma vez que é um trabalho recorrente e os mecânicos através da experiência obtida cada vez executam-no mais rapidamente.

Uma vez que o somatório das paragens resulta no valor de 3% do tempo total, assume-se que esta máquina se mantém 97% do tempo total, no estado de produção.

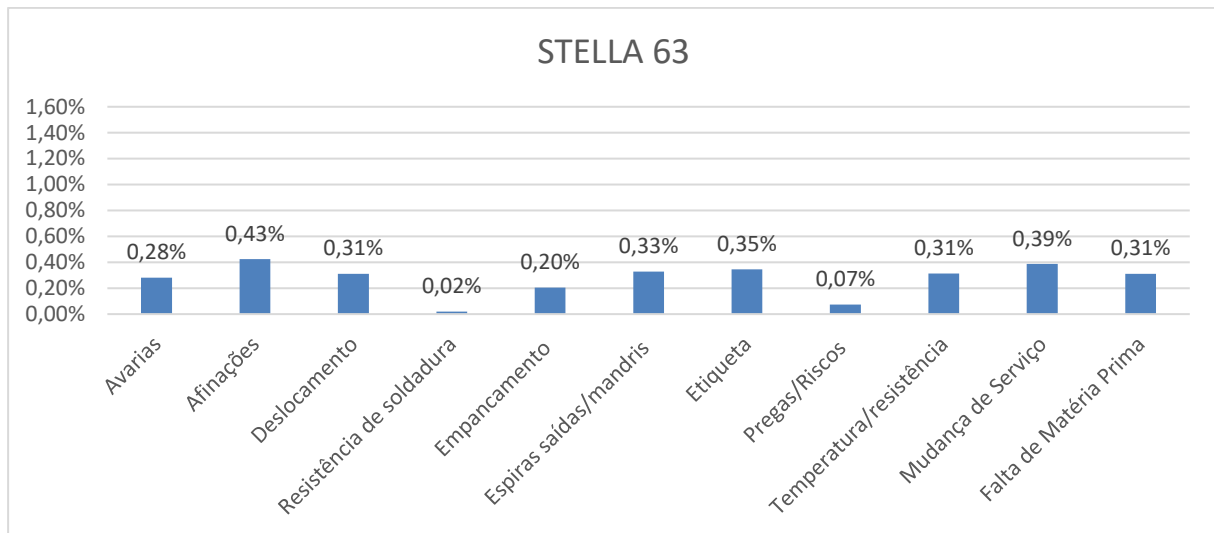


Figura 65: Tipos de Paragens ocorridas na máquina STELLA 63

Na máquina M2 101, apresentada na figura 66, as paragens ocorridas no período de tempo estudadas são de menor diversidade comparadas com a máquina anterior, com as avarias gerais (mecânicas e elétricas) a ocuparem 1,34% do tempo da máquina seguidas do 0,73% relacionados com pregas/riscos de bobines e 0,63% com paragens devido a espiras saídas ou mandrís.

A máquina M2 101 esteve 96% do tempo total em produção, sendo que o somatório dos tempos de paragem registou cerca de 4% do tempo total.

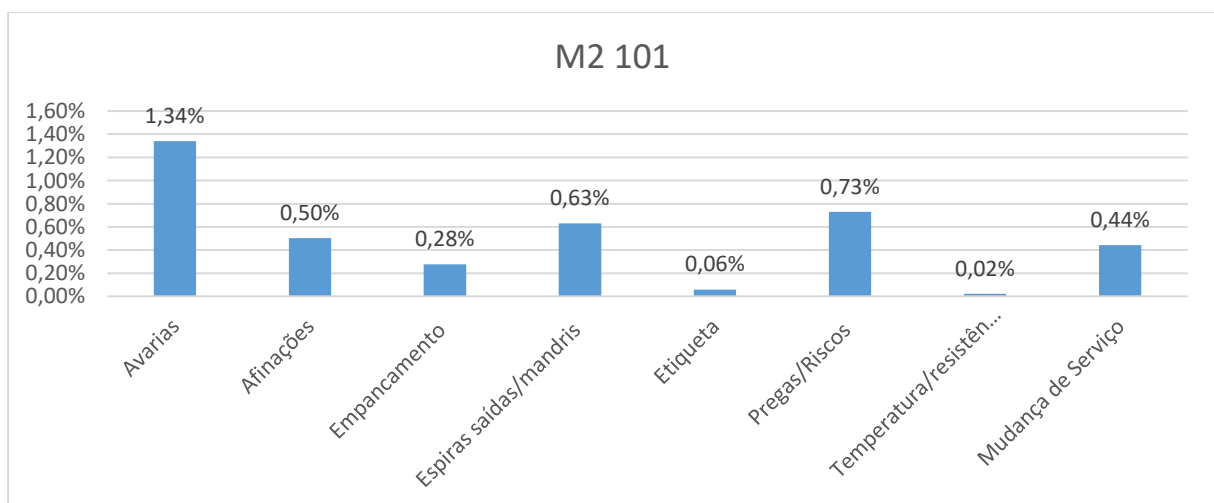


Figura 66: Paragens ocorridas na Máquina M2 101

6.1.2 Desempenho

Porém não é possível calcular desta forma este fator por indisponibilidade de alguns dados, sendo calculado por:

$$Desempenho = \frac{Tempo\ de\ Ciclo\ Teórico}{Tempo\ de\ Ciclo\ Real}$$

Existindo um tipo de bobine de dimensões maiores é recorrente que, para serem evitadas avarias nas máquinas, estas sejam parametrizadas para trabalhar a um ritmo mais lento, aumentando o tempo de ciclo real.

A partir de abril os dados do desempenho não foram obtidos pela fórmula descrita anteriormente, mas sim pelo cálculo:

$$Desempenho = \frac{Disponibilidade * (1 - Taxa\ de\ Refugo)}{100}$$

Em que a variável da Disponibilidade representa a disponibilidade da máquina no respetivo mês e a Taxa de Refugo a percentagem de tempo em que a máquina produz componentes defeituosos até estar calibrada para o novo condensador.

Apesar deste fator não ser calculado da melhor forma, os valores dos meses de abril, maio e junho servem como base de comparação para observar a evolução do OEE com o VEPGPM implementado na secção. O melhor resultado do fator desempenho da máquina M2 101 ocorreu após a implementação do VEPGPM, registando no mês de junho 92% deste fator. A máquina STELLA 63 registou o seu melhor resultado em abril com 94% como podemos observar na figura 67.

De realçar que, no período de tempo de abril a junho, o cálculo deste fator não foi calculado pela fórmula mais correta por indisponibilidade de dados. Assim, antes da implementação do VEPGPM os melhores resultados registaram-se em novembro com 88% na máquina STELLA 63 e em fevereiro na máquina M2 101 com 84%.

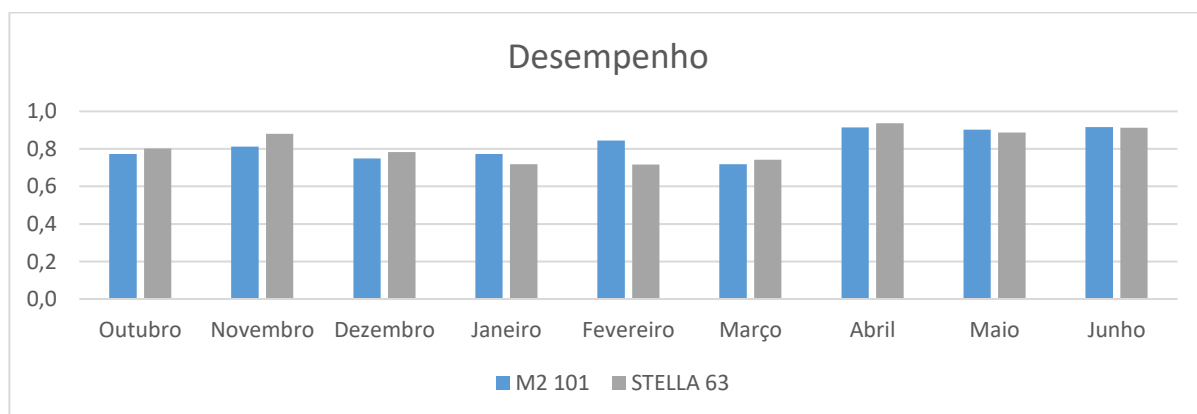


Figura 67: Fator Desempenho na máquina M2 101 e STELLA 63

A fim de avaliar o excedente de tempo que os componentes demoram a ser produzidos além do tempo de ciclo real foram elaborados os gráficos apresentados nas figuras 68 e 69, que apresentam as percentagens do tempo referido em média das duas máquinas estudadas ao longo das semanas 40 a 52 de 2016 e da semana 1 a 26 do ano de 2017.

É importante registar que, a partir de novembro a janeiro, os valores do desempenho diminuíram de forma generalizada, iniciando o seu aumento após esse período de tempo (com a exceção da diminuição em março para a máquina M2 101). Esse aumento pode dever-se ao aumento de encomendas que se registou, ocorrendo o sobretrabalho de operadores e dos colaboradores da manutenção.

Uma vez que os valores do desempenho das máquinas após a implementação do VEPGPM são baseados no fator disponibilidade, é de esperar que os registos correspondam à evolução deste.

No entanto, a disponibilidade diminuiu após a implementação da aplicação e o desempenho aumentou na razão inversa, devido à inclusão do valor da taxa de refugo no cálculo do desempenho.

Na máquina STELLA 63, e como podemos observar na figura 68, ocorreram grandes alterações de valores de tempo excedente em todo o período de tempo estudo.

O menor valor registado de tempo excedente foi observado em abril, após a implementação do VEPGPM, em que as máquinas produziram mais que o tempo teórico definido - cerca de 6,4%. O maior valor registado de tempo excedente ocorreu em fevereiro com 40,4%, sendo que a média de tempo de produção remanescente em todo o período de tempo registou o valor de 23%.

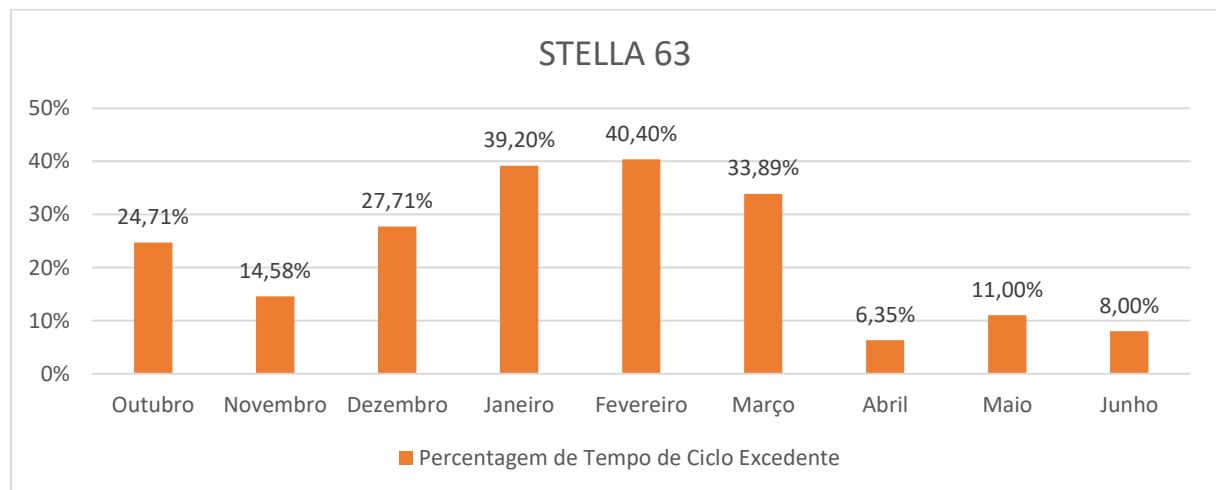


Figura 68: Percentagem de Tempo de Ciclo Excedente da máquina STELLA 63

Como podemos observar na figura 69, na máquina M2 101, à semelhança da máquina STELLA 63, contém valores díspares de tempos excedentes.

Ao longo do período em estudo, o menor valor observado foi em abril, registrando um tempo excedente de 8,6% e antes do VEPGPM o maior registo foi assinalado em dezembro, com aproximadamente 34,2% de tempo de ciclo excedido. A média de tempo excedido na produção de outubro a junho foi de 19%.

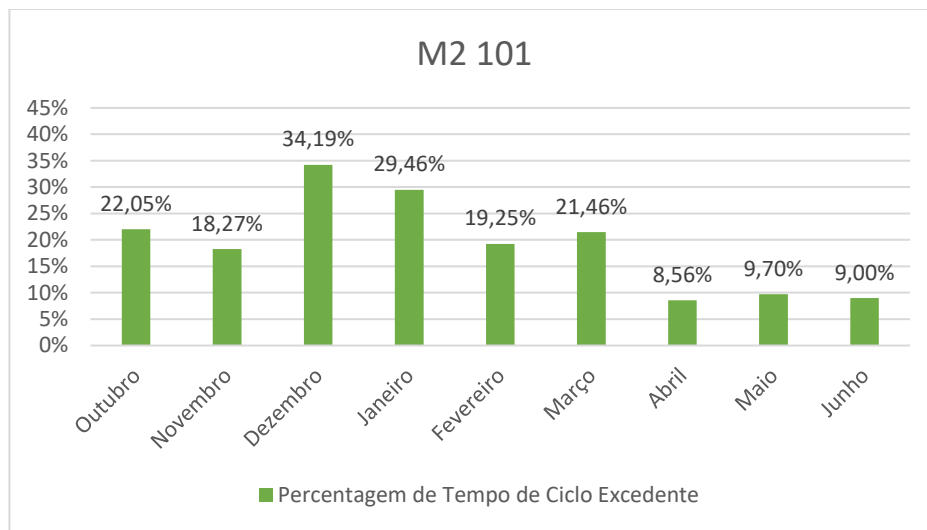


Figura 69: Percentagem de Tempo de Ciclo Excedente da máquina M2 101

6.1.3 Qualidade

Uma vez que os dados referentes ao cálculo da disponibilidade não estão disponíveis, não é possível calcular este fator, optando-se pela escolha do valor 1 por defeito para ambas as máquinas e no tempo estudado, como podemos observar na figura 70.

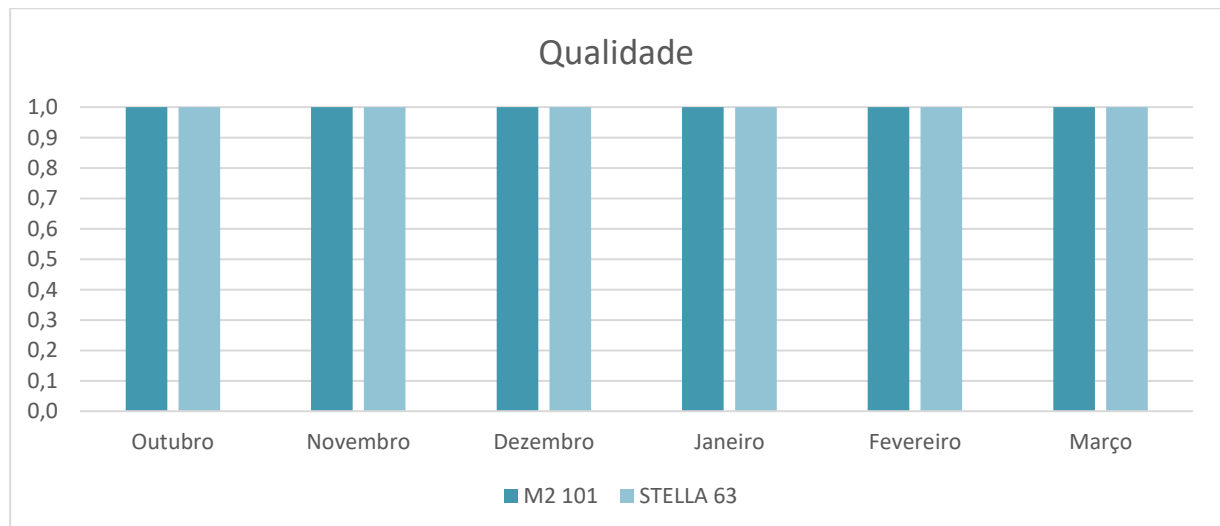


Figura 70. Fator Qualidade na máquina M2 101 e STELLA 63

6.1.4 Máquina M2 101

O fator do OEE com maior expressão média na máquina M2 101 foi a qualidade como esperado com o registo de 100%, seguida de 96% de disponibilidade e por fim o desempenho com apenas 78%.

Analisando a figura 71, retira-se a conclusão de que esta máquina teve poucas paragens para manutenções no tempo estudado, no entanto o tempo que demora a produzir um componente é maior 22% em relação ao tempo teórico definido.

Como já referido, o fator da qualidade manteve-se estático ao longo dos meses devido à falta de informação.

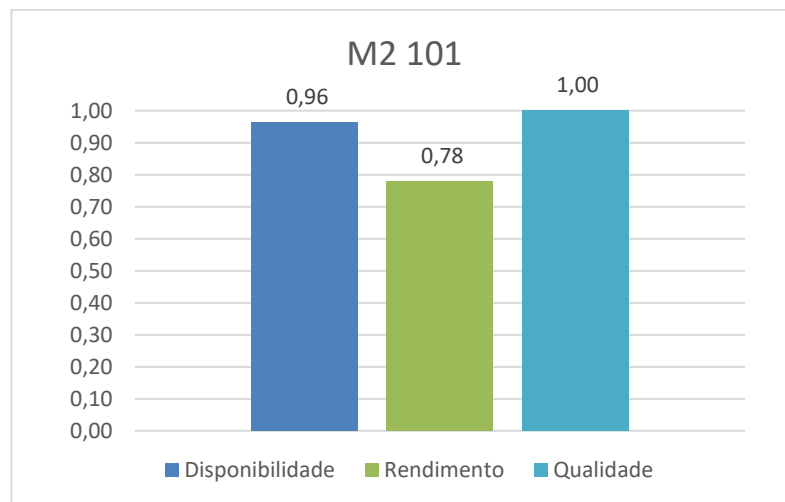


Figura 71: OEE da M2 101

Observando todos os fatores pertencentes à OEE da máquina M2 101 ao longo dos meses analisados na figura 72, podemos observar que o fator que expressou uma maior dispersão percentual foi o desempenho.

Este fator apresenta um intervalo de valores, com junho a registar o valor mais alto de 92% e março com o menor, 72%.

O fator disponibilidade registou valores mais altos que a rentabilidade, com os valores extremos registados em março com 99% e o menor, novembro com 92%.

Como já referido, o fator da qualidade manteve-se estático ao longo dos meses.

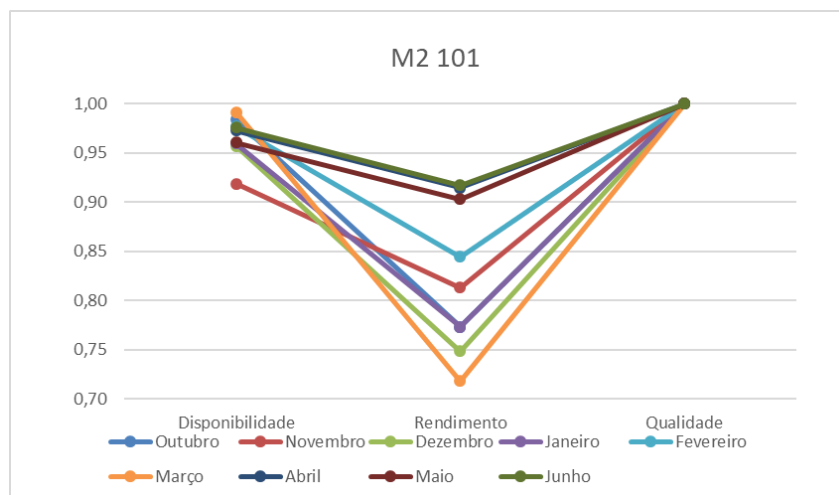


Figura 72: M2 101: Fatores do OEE

Na figura 73 está apresentada a evolução da medida de desempenho OEE na máquina M2 101, em que pode ser observado o menor valor registado em março, com 71% de eficiência geral nas máquinas. Porém, também é possível observar na figura 73 os valores mais altos registados como abril e junho, ambos com o valor de 89%, sendo que estes meses fazem parte do trimestre que registou os valores mais altos desta variável coincidindo com a utilização da aplicação desenvolvida.

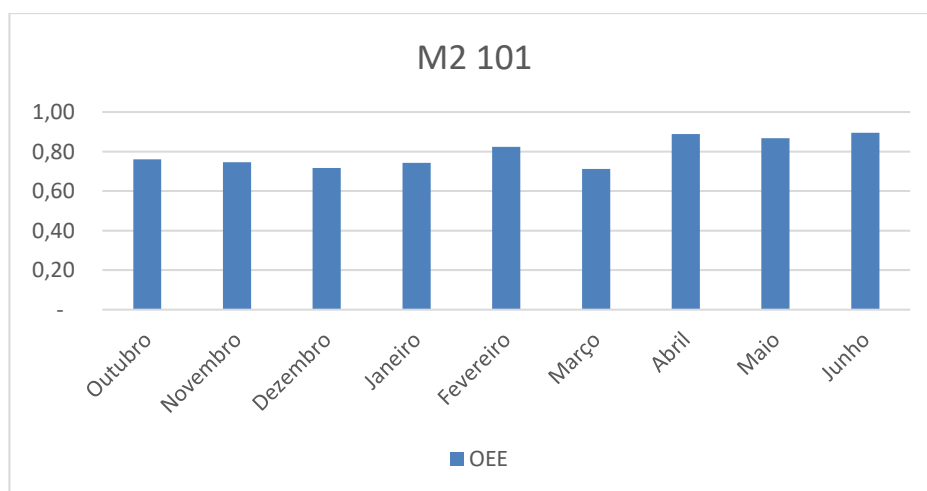


Figura 73: OEE da máquina M2 101

6.1.5 Máquina STELLA 63

Na máquina STELLA 63, o fator do OEE com o valor médio mais alto e como esperado, mais uma vez é a qualidade com o registo de 100%, seguida da disponibilidade com 97% e o desempenho com 77% como podemos observar na figura 74.

A máquina STELLA 63 registou poucas paragens no período de tempo de abril a junho, uma vez que o valor da disponibilidade alcançou os 97%, porém o desempenho teve um valor relativamente baixo,

indicando que o tempo de produção de cada encomenda ultrapassou 33% o tempo teórico em que deveria ser produzida.

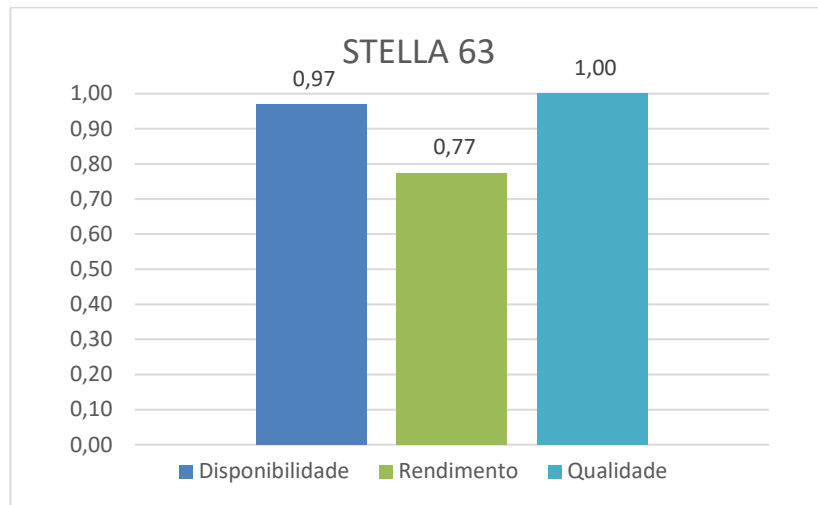


Figura 74: OEE da STELLA 63

Assim como observado na figura 75, nos diferentes fatores do OEE da máquina STELLA 63 presentes na figura 75 também se regista uma maior dispersão de valores no desempenho.

O desempenho contém abril a registar o maior valor com 94% e janeiro e fevereiro a conterem os menores valores, 72%.

O fator da disponibilidade como já observado contém valores mais altos que o fator anterior com março a apresentar a maior disponibilidade da máquina, com 100% e maio com a menor 91%.

Mais uma vez, como esperado, o valor da qualidade manteve-se inalterado ao longo do tempo analisado.

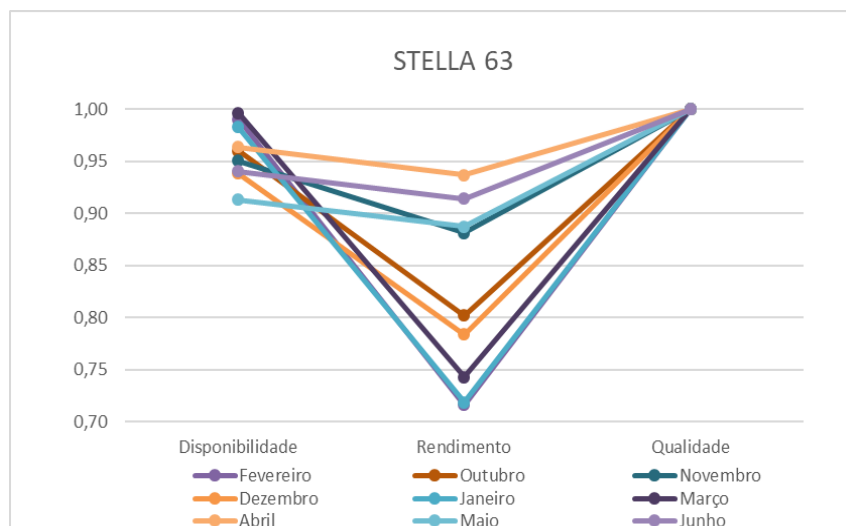


Figura 75: STELLA 63: Fatores do OEE

Na figura 76 está descrita a evolução da máquina STELLA 63 em relação à medida de desempenho OEE, os meses com o menor registo desta medida são janeiro e fevereiro, ambos com 71%.

O mês com o valor mais alto registado foi abril, com 90%, como ocorreu com a máquina M2 101.

Podemos assim concluir que o período de tempo após a implementação do VEPGPM registou em ambas as máquinas valores mais altos que o período de tempo que precedeu a aplicação.

Reafirmando a influência positiva do VEPGPM tanto na eficiência geral das máquinas (como já demonstrado), como nas máquinas estudadas (M2 101 e STELLA 63).

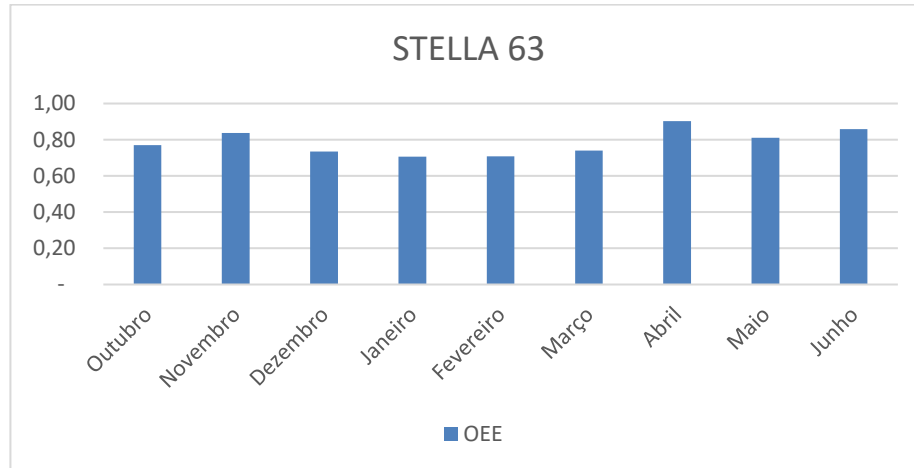


Figura 76: OEE da máquina STELLA 63

É possível também retirar a conclusão de que o fator desempenho é o maior responsável pela fraca prestação do OEE por apresentar os menores valores médios registados no período de tempo estudado, porém é necessário levar em consideração que o fator qualidade não está a ser analisado, tomando por defeito o valor de 100%, entrando para o cálculo apenas os outros dois fatores.

6.2 Método Multimomento: Registo de Tempos de Paragens de Máquinas

Foram efetuadas observações ao estado de 83 máquinas no setor da bobinagem, de forma a ser acompanhada a evolução dos vários estados ao longo do tempo, nos meses de março a junho, para ser possível acompanhar e registar as alterações que ocorreram. A recolha das observações ocorreu durante três dias em cada mês, nos dois turnos existentes, três momentos em cada, somando o total de 5976 observações.

Em cada momento de registo de observações percorreu-se o circuito no setor como demonstrado na figura 77.

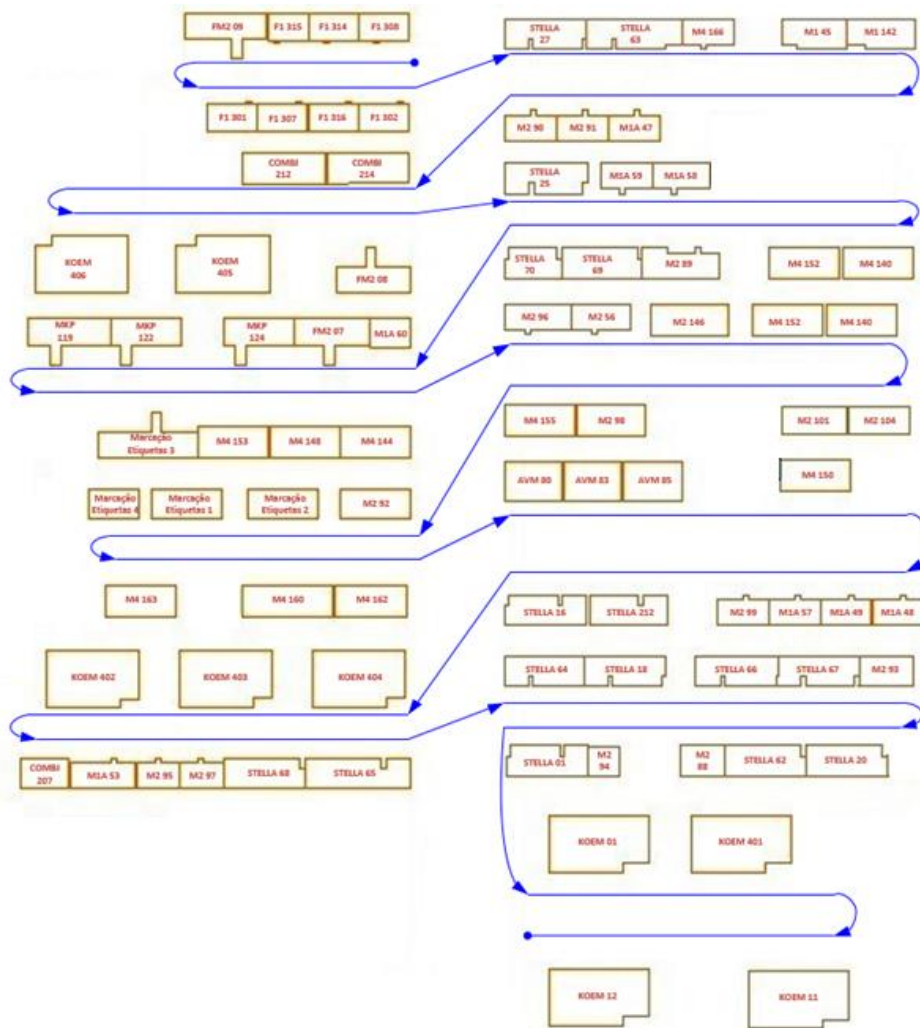


Figura 77. Diagrama Spaguetti da Bobinagem

6.2.1 Evolução e Análise das paragens de máquinas no tempo estudado

Ao longo das 5976 observações no período de tempo de março a junho esperou-se obter diferenças nas observações dos cinco estados, nomeadamente diminuições nos estados relacionados com paragens. Como podemos observar na figura 78 e na figura 79 ao longo do período de tempo estudado e como pretendido, o estado de intervenção, espera de intervenção e *setup* diminuíram os seus tempos de uma forma gradual.

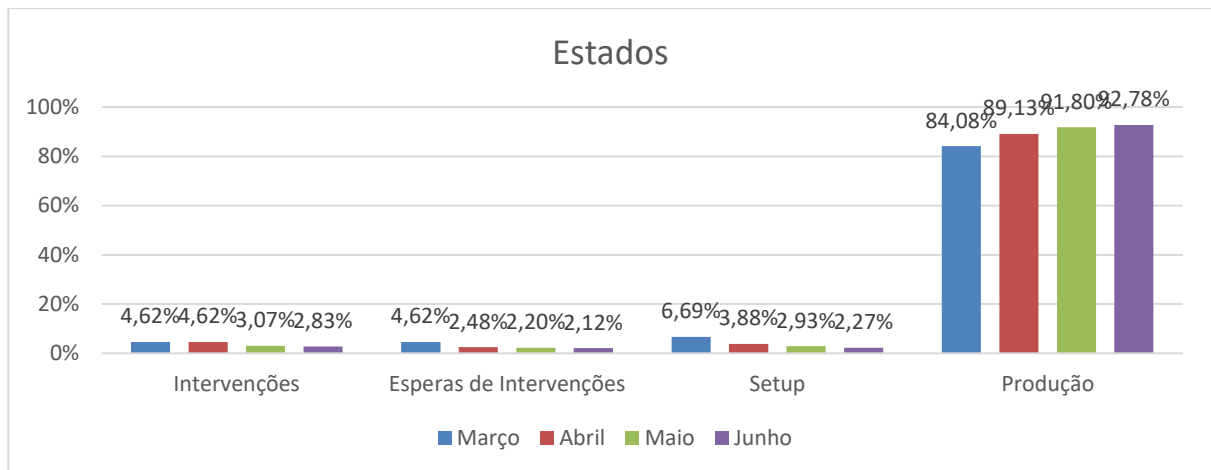


Figura 78: Evolução numérica dos Estados

É possível observar que o estado de intervenção registou o intervalo de tempo com maior intervalo percentual de abril para maio com 1,55 pontos percentuais. Do início do estudo para o fim, a diferença de expressão correspondeu a 1,79 pontos percentuais como podemos observar na figura 78, ou como segundo a figura 79, cerca de 39%.

O estado de espera de intervenção dos meses de março a abril apresentou um decréscimo notório de quase 46% ao registar a alteração de 4,62% para 2,48%. De março a junho houve uma diminuição geral de 2,5 pontos percentuais, resultando na diferença de 54% menos observações de paragens por esperas de intervenção.

O *setup* foi o estado com a maior diferença observada com a implementação do VEPGPM. Do mês de abril para junho houve uma diferença de 4,42 pontos percentuais, equivalendo a uma diminuição de 66%. A sua maior diferença registou-se no período de tempo de março para abril registando-se menos 42% paragens.

Por fim, o estado de produção foi o único que aumentou a sua expressão, como esperado pela diminuição das paragens. Com o aumento percentual de 10% e 8,7 pontos percentuais do momento inicial até ao

final, este estado teve o seu maior aumento de observações do mês de março para abril de 5,05 pontos percentuais.

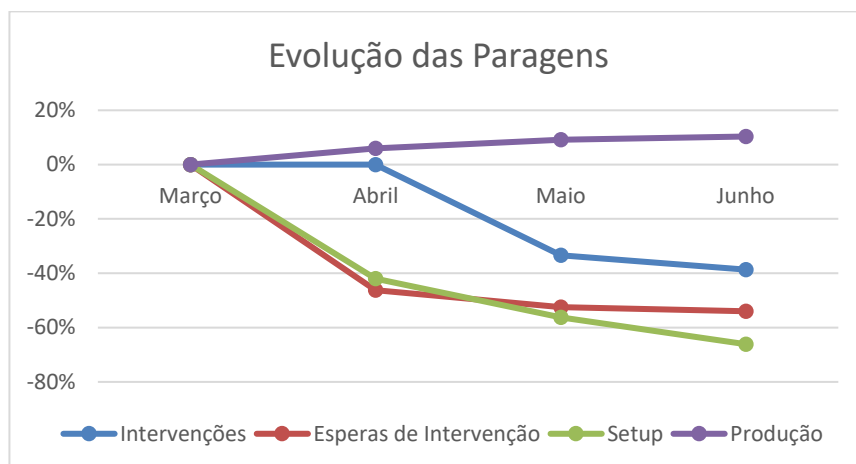


Figura 79. Evolução percentual dos estados

Para que seja possível saber o tempo em que as máquinas estão presentes em cada estado, no setor da bobinagem num turno (8 horas), foi efetuada uma análise que obteve o tempo em minutos que as máquinas estão em média nos estados de produção, intervenção, espera de intervenção e *setup* nos quatro meses estudados.

Como podemos confirmar mais uma vez, e como esperado, as máquinas aumentaram o tempo no estado de produção e diminuíram nos estados relacionados com paragens, como podemos verificar na tabela 13 no estado de intervenção, espera de intervenção e *setup*.

Tabela 13: Minutos parados nos Estados das Máquinas (antes da implementação)

Estado	Minutos num Turno			
	Março	Abril	Maio	Junho
Produção	404	428	441	445
Intervenção	22	22	15	14
Espera de Intervenção	22	12	11	10
Setup	32	19	14	11

De forma a ser analisada a diminuição de paragens gerais que ocorreram após a implementação do VEPGPM criou-se o gráfico da figura 80. Como esperado pelo estudo da figura 79, as paragens diminuíram ao longo do período de tempo, ocorrendo a maior diminuição de observações de paragens do mês de março para abril, com uma diminuição de 5,05 pontos percentuais, contudo o decréscimo dos estados de paragem continua presente ao longo do período estudado, resultando numa diminuição de abril para maio de 2,67 pontos percentuais e de maio para junho de 0,98.

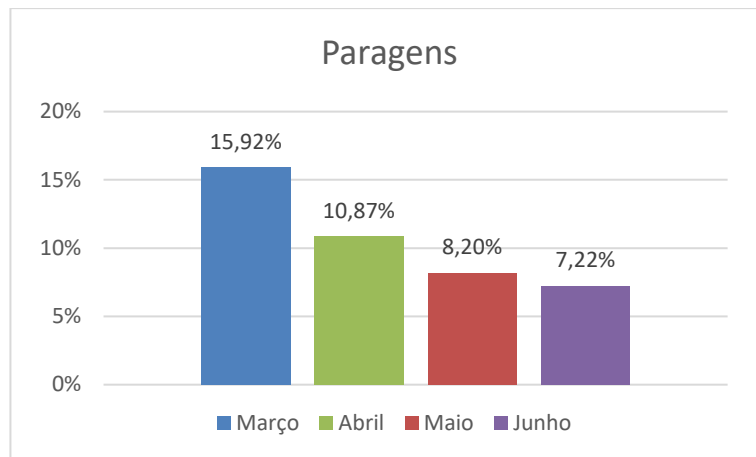


Figura 80: Evolução das paragens

Do início para o fim do estudo registou-se uma diminuição de 45% do tempo de paragens, devendo-se à diminuição geral a partir de março e coincidindo com a utilização do VEPGPM.

De forma a ser possível calcular o nível de confiança do método multimomento para todos os estados, será utilizado a fórmula desenvolvida por Swann, 1973:

$$N = \frac{4 * P * (100 - P)}{L^2}$$

Em que N é o número de observações, P a percentagem de ocorrência de um estado e o L o limite de precisão dos dados (distribuição normal padrão, valor de z).

Neste caso como é conhecido o valor de N a fórmula é calculada:

$$L = \sqrt{\frac{4 * P * (100 - P)}{N}}$$

Estado de produção:

N = 2384

P = 89,45%

L = 1,26

Nível de confiança = 96 %

Estado de intervenção:

N = 99

P = 3,79%

L = 3,83

Nível de confiança = 95%

Estado de espera de intervenção:

N = 75

P = 2,86%

L = 3,84

Nível de confiança = 95%

Estado de *setup*:

N = 103

P = 3,94%

L = 3,83

Nível de confiança = 95%

À exceção dos valores do nível de confiança do estado de produção que obtém o melhor valor, de 96%, os estados que representam paragens possuem um nível de 95% não contendo valores tão fiáveis na sua análise.

6.2.2 Indicador MTBF

No gráfico da figura 81 e 82 estão presentes as expressões médias de 67 máquinas nos meses de abril, maio e junho.

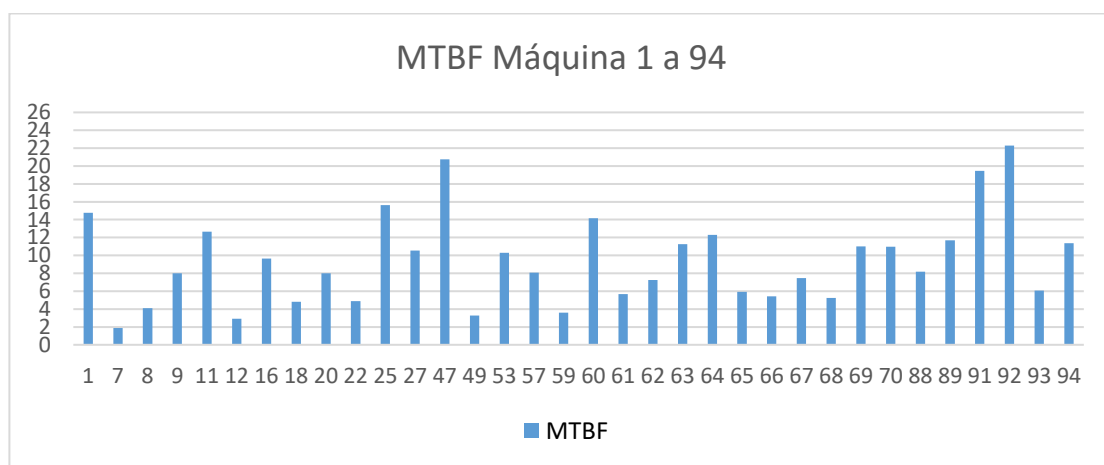


Figura 81: MTBF Máquina 1 a 94

Não estão presentes todas as máquinas da secção por falta de dados, uma vez que de abril a junho as restantes 16 máquinas não tiveram trabalhos alocados ou foram objetos de manutenção preventiva.

Na figura 81 estão apresentados graficamente os valores médios da máquina 1 a 94, e na figura 82 da máquina 95 a 406. Estes valores estão divididos por dois gráficos de forma a ser possível analisar de forma clara os valores correspondentes a cada uma.

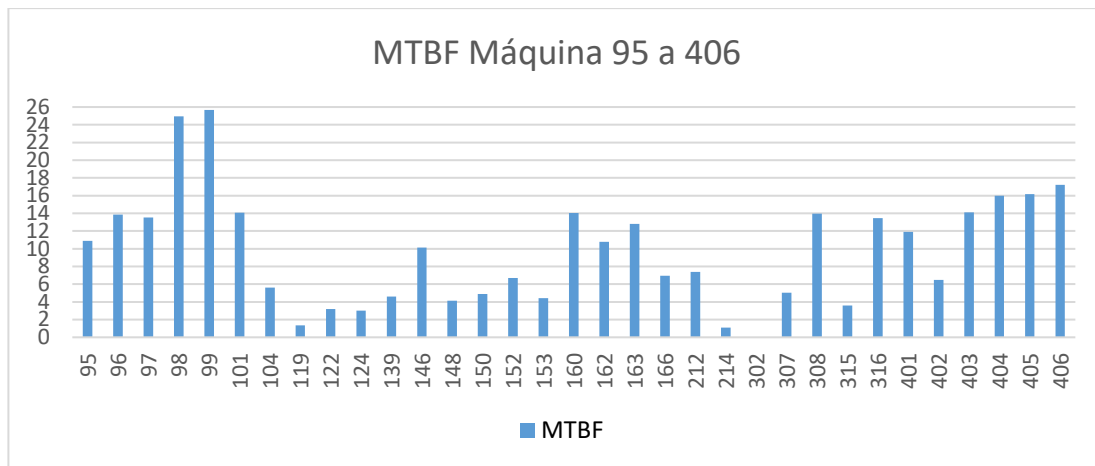


Figura 82. MTBF Máquina 95 a 406

Nas 67 máquinas em que o MTBF foi estudado, o valor mais alto registado ocorreu na máquina 99 registando 25,7 horas, e o menor valor foi pela máquina 119 com 1,37 horas.

As máquinas com maior intervalo de tempo médio são as 99, 98 e 91, pertencentes do modelo M2. Porém, existem máquinas a necessitar de intervenção ou de novas políticas de utilização para aumentar o seu MTBF, uma vez que registaram os menores valores, como a máquina 302, 314 do modelo F1, e a máquina 119 do modelo MKP.

De forma a ser possível analisar a evolução do MTBF ao longo do período de tempo estudado foi elaborado o gráfico da figura 83 que contempla as médias das 67 máquinas nos períodos de tempo definidos.

Para que o objetivo desta métrica seja bem-sucedida é imperativo que os seus valores aumentem ao longo do tempo. Porém, no gráfico da figura 83 podemos observar que, embora os valores dos meses de abril, maio e junho sejam muito próximos, existiu uma diminuição do tempo médio entre os valores de abril para maio em cerca de 0,10 horas.

De maio para junho ocorreu um aumento do MTBF de 0,49 horas e, se o gráfico da figura 83 for visto da perspetiva do início do estudo para o fim (abril e junho respetivamente), os valores desta métrica aumentaram 0,39 horas ou 23 minutos, sugerindo que as intervenções foram mais efetivas ou que existiu uma melhor utilização das máquinas, registando um maior intervalo de tempo entre as avarias ocorridas, correspondendo a mais tempo para produção de componentes.

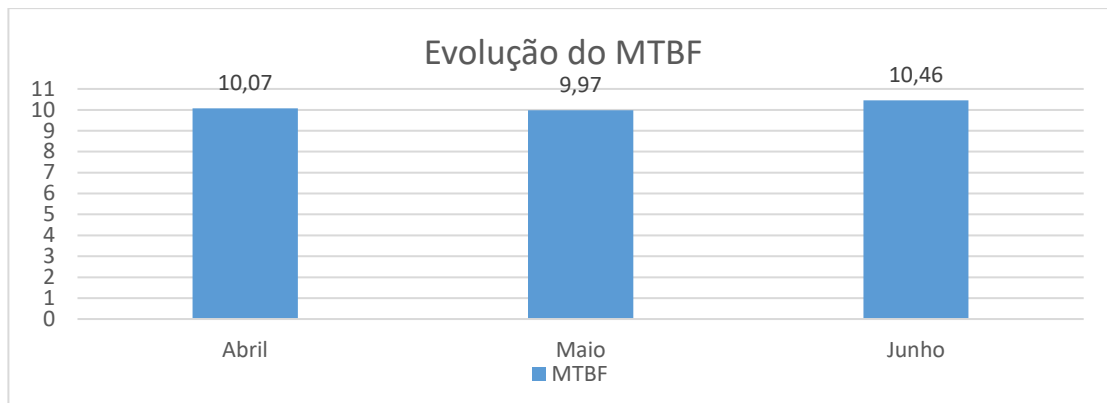


Figura 83: Evolução do MTBF

6.2.3 Indicador MTTR

Para demonstrar a expressão de todas as máquinas e suas expressões médias deste indicador de desempenho, foi necessário criar dois gráficos para demonstrar uma métrica. Para demonstrar o tempo médio para reparar as máquinas foram criados os gráficos da figura 84 e 85.

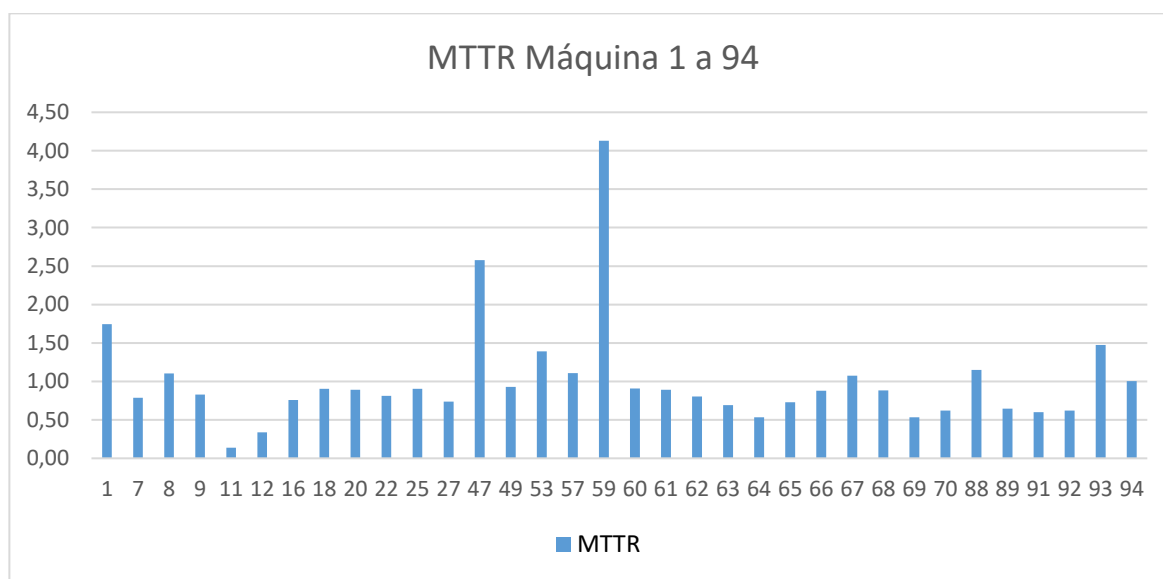


Figura 84: MTTR Máquina 1 a 94

Na figura 84 está presente o MTTR médio das máquinas 1 a 94 e na figura 85 da máquina 95 a 406, estando presentes 67 máquinas neste estudo. Como na secção da bobinagem existem 83 máquinas, falta informação relativa às restantes 16 máquinas, que se encontraram sem trabalhos alocados, em manutenção preventiva ou em produção sem terem sido intervencionadas.

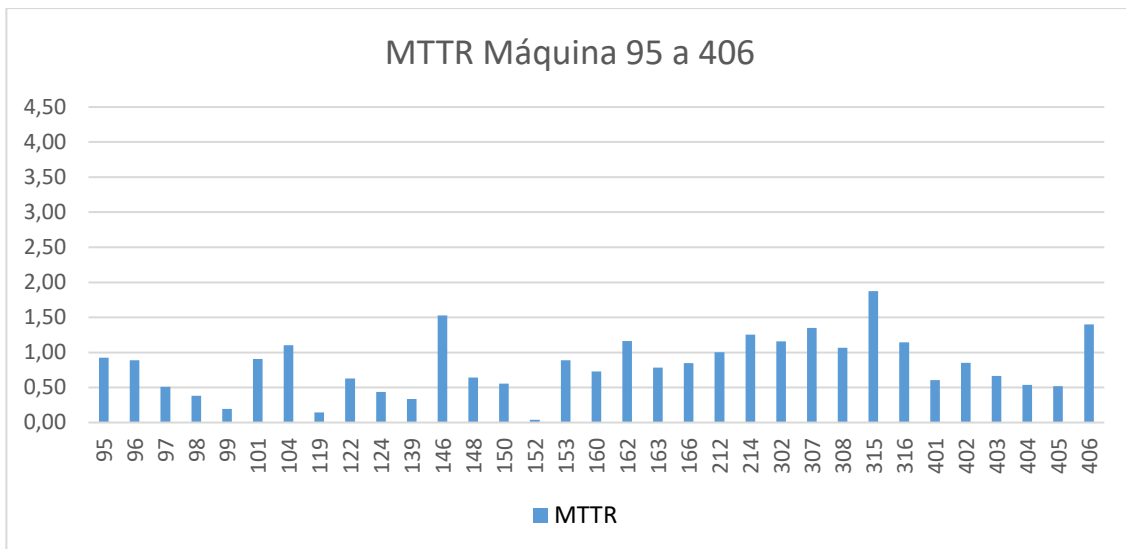


Figura 85: MTTR Máquina 95 a 406

Em todas as máquinas de estudo o maior valor registado de tempo médio para reparação de máquinas ocorreu na máquina 59 que registou 4,13 horas, enquanto que o menor valor corresponde à máquina 152 com 0,04 horas.

Uma vez que nesta métrica o objetivo é obter o menor valor possível, as máquinas com o melhor MTTR são as com o número 152, 11 e 119 de diferentes modelos (não existe relação entre estas). Sendo que as máquinas como a 59 e 47 do modelo M1 e a máquina 135 do modelo M4, contêm os maiores valores desta métrica necessitando de maior atenção por parte dos colaboradores da manutenção.

No gráfico da figura 86 está apresentada a evolução do MTTR nos meses de abril, maio e junho com o valor médio de todas as máquinas presentes no estudo.

Ao contrário de outras métricas como o MTBF, pretende-se que o MTTR tenha o menor valor possível, uma vez que representa o período de tempo em que a máquina não está a produzir componentes e está parada à espera de ser intervencionada.

Como podemos observar na figura 86, o comportamento do MTTR ao longo dos meses estudados não foi o esperado, através da diminuição geral de valores. Porém, ocorreu uma diminuição de tempo médio de reparação de máquinas do mês de abril para o de maio, de cerca de 0,07 horas. De maio para junho houve um aumento de valores do MTTR, de cerca de 0,15 horas.

Se compararmos estes valores com os obtidos na métrica MTBF, descritos na figura 83, podemos concluir que como ambas as variáveis apresentaram uma evolução crescente de maio para junho, o tempo em que as máquinas estão a produzir aumentou, aumentando da mesma forma o tempo em que as máquinas estão paradas para manutenção, indicando a diminuição do número de manutenções corretivas a que as máquinas foram sujeitas.

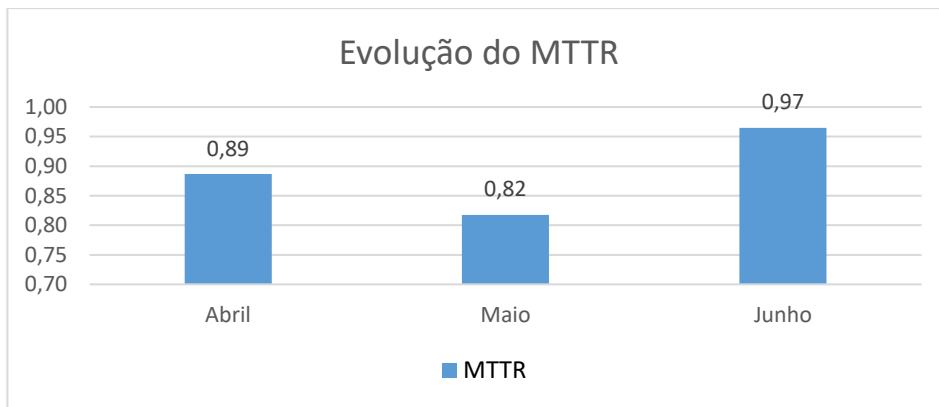


Figura 86: Evolução do MTTR

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo pretende-se obter a informação sobre de que forma o *software* desenvolvido influenciou os indicadores de desempenho OEE e o método multimomento antes e depois da implementação do VEPGPM e de que forma ocorreu a evolução do MTBF e MTTR após a implementação da aplicação já referida. Estes dados serão utilizados para fundamentar as conclusões finais.

7.1 Indicador OEE

As máquinas M2 101 e STELLA 63 registaram uma melhor eficiência em períodos de tempo semelhantes como podemos observar na figura 87. Em todo o período estudado, a máquina M2, número 101, obteve o seu melhor valor em abril e junho com o mesmo valor de 89%, sendo que o valor médio dos registos é de 79% de eficiência geral das máquinas.

Na máquina STELLA, número 63, o valor do OEE mais alto registado foi em abril com 90% e o valor médio registado de todos os meses é de 79% como ocorreu na máquina anterior.

Se analisarmos o OEE antes da implementação do VEPGPM retira-se as conclusões de que o mês em que as máquinas foram mais eficientes foi em fevereiro registando 82% de OEE para a máquina M2 101, enquanto que para a máquina STELLA 63 for em novembro com o valor de 84%.

O OEE registou assim, de forma generalizada o aumento dos seus registos após a implementação do VEPGPM - como podemos observar na figura 87 -, sendo que o registo dos valores mais altos foram ambos no mês de abril como já descrito.

Nos três meses em que foi utilizada a aplicação, registaram-se os maiores valores do OEE sendo que, após o mês de abril, os valores diminuíram ligeiramente. Esta evolução pode estar relacionada com eventos internos como avarias de grande duração e o facto das mudanças efetuadas causarem um grande impacto nos utilizadores no momento inicial, mas que com o passar do tempo estes tornam-se menos rigorosos com os registos das máquinas.

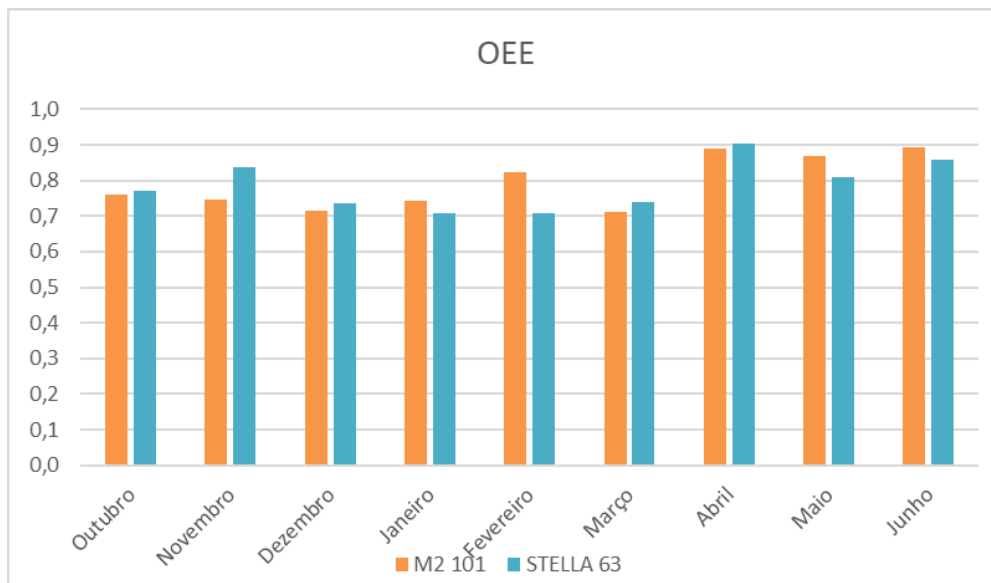


Figura 87: OEE da máquina M2 101 e STELLA 63

7.2 Análise Multimomento

Para ser possível retirar conclusões sobre a diminuição de tempos de paragens de máquinas após a implementação do VEPGPM, irão ser realizadas análises a fim de serem abordadas todas as componentes importantes a este estudo. As observações que se realizaram antes e depois da implementação do *software* realizaram-se em períodos de tempo diferentes, no mês de março e em junho, respetivamente.

O mês de junho, apesar de não ter sido o mês seguinte à implementação do VEPGPM, foi o último mês em que foram obtidos dados e, de forma a que estes não sejam influenciados pela novidade, má utilização do *software* desenvolvido ou alterações efetuadas no funcionamento geral de produção, utilizou-se o período de tempo de junho com os colaboradores já familiarizados com a aplicação e assim aumentando a fiabilidade dos dados.

Para ser efetuada uma análise geral aos resultados e observar potenciais alterações dos estados das máquinas foi efetuado o gráfico da figura 88 com o registo dos vários estados, antes e depois da implementação do VEPGPM.

O esperado será que, depois da implementação, os estados de paragem como espera de intervenção, de intervenção e *setup* diminuam. Como podemos observar na figura 88, as intervenções diminuíram de 4,62% em março para 2,83% em junho, registando uma diferença de 39% após a utilização do VEPGPM, também as esperas de intervenção registaram uma descida de valores de 2,5 pontos percentuais em relação a março, cerca de 54%.

Por fim, o *setup* diminuiu 4,42 pontos percentuais do início do estudo para o fim, registando um decréscimo de 66%.

Por sua vez, o estado de produção aumentou a sua expressão (como esperado, uma vez que diminuíram os tempos de espera de intervenção e *setup*) de março de 84,08% para 92,78% em junho, correspondendo a um aumento de 10% em relação ao mês anterior à utilização do VEPGPM.

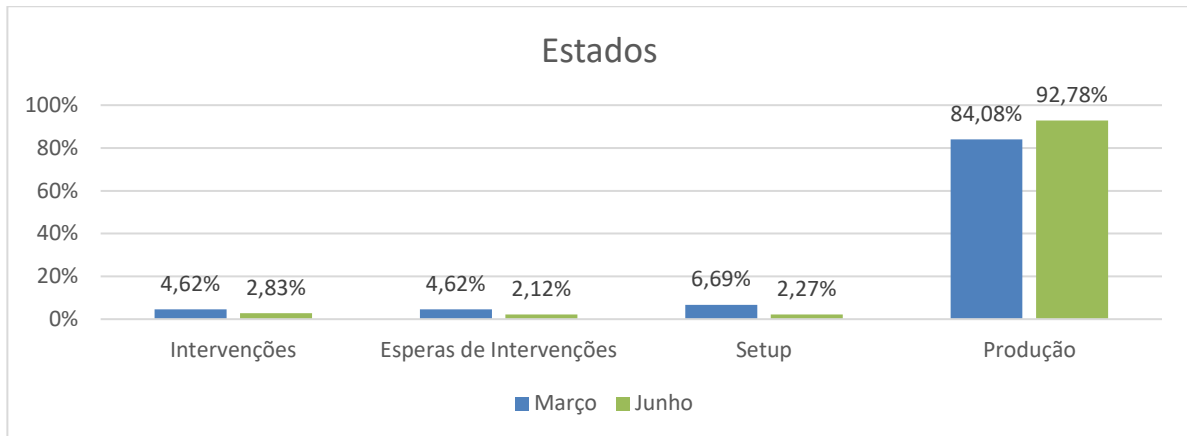


Figura 88: Estados das Máquinas

Como podemos observar na figura 89, as paragens diminuíram após a implementação do *software* cerca de 54%, concluindo que o objetivo principal foi alcançado, de diminuir os tempos em que as máquinas estão paradas.

Estes valores vêm demonstrar algo que os intervenientes nesta secção já tinham relatado - que com o *software* e o segundo ecrã apresentando o estado do *shop floor*, os tempos de esperas para intervenção e de intervenção diminuíram. Principalmente pelos eletricitistas, que seriam os colaboradores da manutenção que mais tempo demoravam a deslocar-se às máquinas.

Como todos os tempos relacionados com as máquinas são registados, as intervenções e esperas de intervenções tornaram-se menores devido ao controlo existente conhecido pelos colaboradores.

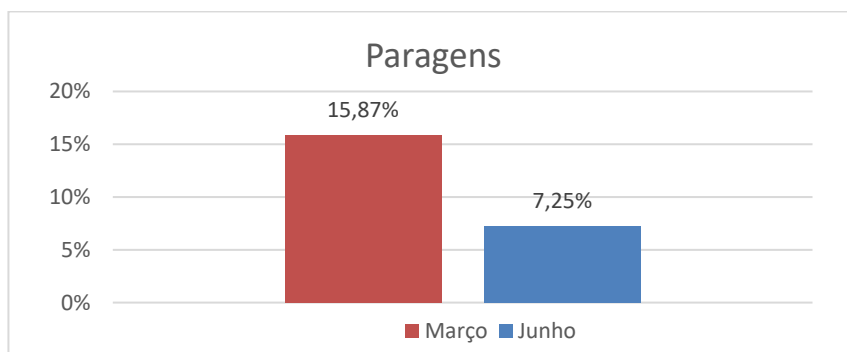


Figura 89: Paragens em março e junho

Para que exista uma comparação prática dos resultados obtidos, foi criada uma tabela - tabela 14 -, que apresenta o tempo em que as máquinas estão em média em cada estado num turno, antes e depois da implementação do sistema.

Como podemos observar pela análise da tabela 14, os estados que diminuíram os tempos foram a intervenção, espera de intervenção e setup, sendo que o estado da produção foi o único que aumentou o seu período de tempo de 404 minutos para 445.

Nos estados que diminuíram os tempos, a intervenção diminuiu de 22 para 14 minutos, a espera de intervenção de 22 para 10 e o *setup* de 32 para 11 minutos.

Tabela 14: Minutos num turno por Estados de Máquinas

Estado	Minutos num Turno	
	Antes	Depois
Produção	404	445
Intervenção	22	14
Espera de Intervenção	22	10
Setup	32	11

Como podemos observar, estes tempos não perfazem as 8 horas habituais de um turno, uma vez que não estão apresentados os tempos das máquinas que estão fora de serviço.

Na tabela 15 podemos observar os minutos que aumentarão ou diminuirão após a implementação do VEPGPM a curto e médio prazo, podendo verificar-se os benefícios deste *software*.

De referir que os minutos a negativo são os minutos que diminuirão no espaço de tempo respetivo e os a positivo os que aumentarão.

Como podemos observar, num turno, os ganhos de tempo não parecem significativos em 8 horas, porém, quando comparados num ano, os períodos de tempo já são consideráveis, representando diferenças na produção de aproximadamente 21 dias ganhos, na intervenção diminuição de 4 dias, na espera de intervenção diminuição de aproximadamente 6 dias e no *setup* diminuição de 11 dias.

O tempo ganho com a implementação do VEPGPM através das paragens pode ser aplicado para produção, formação de colaboradores ou outras atividades benéficas para a empresa e para colaboradores.

Pode-se concluir assim que esta ferramenta é benéfica para a empresa, não apenas pelo registo de todos os dados das máquinas, como para o aumento de tempo de produção de bobines na secção.

Tabela 15: Diferença de tempos após implementação do VEPGPM

	Turno	Dia	Semana	Mês	Ano
Produção	42	84	209	835	10022

Intervenção	-9	-17	-84	-171	-2056
Espera de Intervenção	-12	-24	-90	-239	-2872
Setup	-21	-42	-139	-424	-5094

7.3 MTBF e MTTR

Como não é possível saber de que forma o VEPGPM afetou o MTBF e o MTTR por falta de dados do período anterior à implementação, foi analisado a evolução nos três meses em que foi possível retirar dados do *software* desenvolvido.

Estas métricas utilizadas para demonstrar que é possível utilizar os dados provenientes do VEPGPM para várias análises a várias métricas além do OEE, e para diversos propósitos como tomadas de decisão, definição de objetivos, acompanhamento da evolução de métricas.

Na figura 90 estão presentes as evoluções do MTBF e do MTTR de forma a ser possível comparar o comportamento de ambas métricas. A evolução desejável do MTBF seria o aumento dos seus valores (aumento de tempo entre avarias) e diminuição dos valores do MTTR (menos tempo de avarias).

Pelo observado no gráfico da figura 90 apenas a métrica MTBF apresenta uma evolução desejada, apesar de no mês de maio ter diminuído os seus valores. No geral houve um aumento de cerca de 4% correspondendo a 0,39 horas.

O MTTR registou uma diminuição dos seus valores do mês de abril para maio mas, no seu todo, o tempo entre reparações aumentou 7%, cerca de 0,06 horas.

Assim, apesar do tempo entre avarias ter aumentado do início ao fim do estudo, o tempo até as máquinas estarem reparadas aumentou também, correspondendo a um maior intervalo entre avarias pelo MTBF e um maior tempo de máquinas indisponíveis para intervenção pelo MTTR.

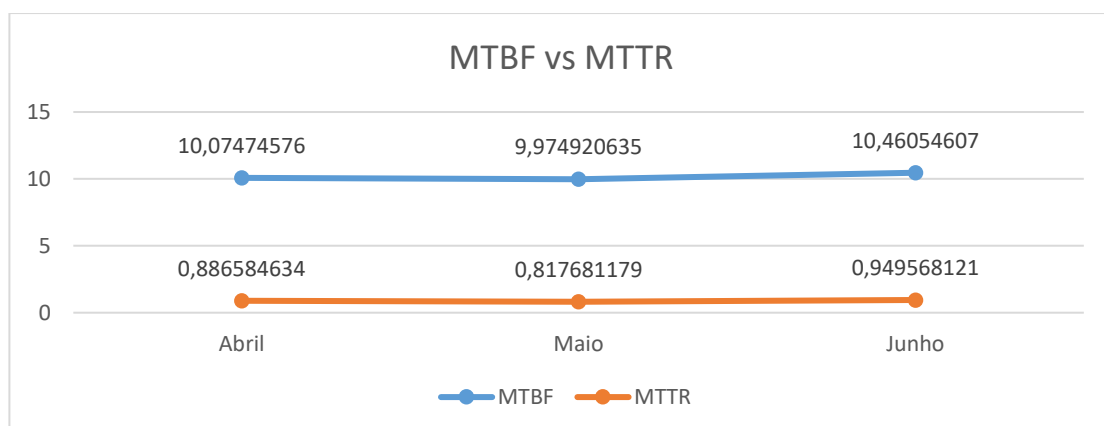


Figura 90. Evolução do MTBF vs MTTR

Na tabela 16, temos os valores médios da métrica MTBF e MTTR em horas, concluindo que, nos três meses de estudo, o tempo médio entre avarias nas 67 máquinas foi de 10,17 horas ou 10 horas e 10 minutos e o tempo médio até as máquinas estarem reparadas foi de 0,88 horas, correspondendo a 52 minutos, concluindo-se que em média, a cada 10 horas e 10 minutos de produção, as máquinas são sujeitas a manutenções curativas de 52 minutos.

Uma vez que a análise dos valores dos indicadores MTBF e MTTR foram retirados de uma base diária, é normal que estes ultrapassem o valor das 8 horas (um turno), uma vez que na empresa em que foi elaborada a dissertação existem dois turnos diários, justificando o valor obtido para o indicador MTBF de 10,17 horas.

Tabela 16: Valores médios MTBF e MTTR

MTBF	MTTR
10,17	0,88

8. CONCLUSÕES

De forma a terminar esta dissertação, neste capítulo serão apresentadas as conclusões finais que resumem os resultados mais importantes que se obteve ao longo do trabalho desenvolvido e o trabalho futuro, em que se propôs novas funcionalidades.

8.1 Conclusões Finais

Esta dissertação foi desenvolvida na empresa Vishay Enterprise Portugal com o objetivo de desenvolver uma aplicação de monitorização de produção para a secção de Bobinagem. Com o desenvolvimento da aplicação VEPGPM pretendia-se que existisse um registo de todas as ações que ocorrem nas máquinas sendo o objetivo principal diminuir os tempos em que as máquinas estão paradas para intervenção.

Durante a realização deste trabalho, alterou-se a forma de como os registos de manutenção corretiva ocorriam na secção para uma interação com um sistema informatizado, sendo que também foi possível desenvolver uma funcionalidade de apoio que demonstra o estado do *shop floor* com informação atualizada em tempo real do VEPGPM, aos colaboradores que se encontrem na secção.

Após levantamento de todos os processos, modelação e definição do VEPGPM foi possível calcular algumas métricas de desempenho com o objetivo de comparar o estado do *shop floor* antes e depois da implementação da aplicação desenvolvida.

Com a análise do OEE foi possível perceber que, após a utilização do VEPGPM (a partir do mês de abril), a eficiência geral das máquinas aumentou de forma generalizada.

O estudo do método multimomento obteve a informação de que os estados de paragem como intervenção, espera de intervenção e *setup* diminuíram cerca de 45%, enquanto que o estado de produção aumentou 10% após a implementação do *software*. Daqui resultaram ganhos de 21 dias para a produção num ano, devido à diminuição de 4 dias do estado de intervenção, 6 de espera de intervenção e 11 dias de *setup*.

Com os dados obtidos pelo VEPGPM será possível efetuar a análise do OEE e de outras métricas, como o MTBF e o MTTR, calculados nesta dissertação apenas com dados a partir de abril, uma vez que só existem estes dados após a implementação da aplicação.

A funcionalidade de apoio tornou-se uma ferramenta essencial no dia-a-dia dos supervisores e gestores de produção, ao ponto de ter sido implementada no próprio ERP da empresa, para que esteja à distância de um clique. Também o cálculo das métricas de OEE, MTBF e MTTR estão disponíveis no próprio ERP para que os responsáveis da manutenção possam calcular os respetivos valores.

Através do acesso aos dados recolhidos pelo VEPGPM é possível analisar todos os registos como já referido, calcular diversas métricas, monitorizar a produção, definir objetivos, comparar valores e auxiliar as tomadas de decisão, funcionalidades que não existiam até à execução deste projeto.

8.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, sugere-se a utilização de *tablets* com a aplicação VEPGPM instalada, de forma a não ser obrigatória a deslocação a um dos três computadores instalados na secção com o propósito de utilização do VEPGPM.

Com o intuito de reduzir-se mais os tempos de paragem de máquinas para intervenção, sugere-se a criação de uma funcionalidade no VEPGPM, que consiste no envio de mensagens instantâneas aos colaboradores da manutenção respetivos, caso uma máquina esteja em espera de intervenção por mais de, por exemplo, 10 minutos, ou ao responsável da produção após, por exemplo, 25 minutos de espera. Seria também interessante desenvolver um quadro que apresenta a média dos tempos de resolução de avarias por cada turno, para que exista uma competição saudável e, mais uma vez, fossem reduzidos os tempos de intervenção.

Por último, após a implementação do VEPGPM, da funcionalidade de apoio e respetivo sucesso na secção da bobinagem, estes *softwares* serão aplicados nas restantes secções da empresa a fim de se obterem os mesmos resultados.

BIBLIOGRAFIA

- Adegbulugbe, T. A., Bello, R. S., & Oniyire, S. O. (2015). Investigation into industrial generator maintenance culture in agro-based industries in Ibadan, South-West Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(2), 39–44.
- Al-Najjar, B. (2008). Maintenance from Different Relevant Perspectives: Total Quality Maintenance (TQMain) for a Comprehensive Asset Maintenance, (1997), 1–8. Retrieved from <http://lnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:548715>
- Allani, O., & Ghannouchi, S. A. (2016). Verification of BPMN 2.0 Process Models: An Event Log-based Approach. *Procedia Computer Science*, 100, 1064–1070. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.282>
- Alshazly, A. A., Elfatraty, A. M., & Abougabal, M. S. (2014). Detecting defects in software requirements specification. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), 513–527. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.06.001>
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70–78. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.06.057>
- Amer, T. S. (1993). Entity-Relationship and Relational Database Modeling Representations for the Audit Review of Accounting Applications: An Experimental Examination of Effectiveness. *Journal Information Systems*, 7(1), 1–15.
- Bolloju, N., & Sun, S. X. Y. (2012). Benefits of supplementing use case narratives with activity diagrams—An exploratory study. *Journal of Systems and Software*, 85(9), 2182–2191. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.04.076>
- Brace, W., & Cheutet, V. (2012). A framework to support requirements analysis in engineering design. *Journal of Engineering Design*, 23(12), 876–904. <https://doi.org/10.1080/09544828.2011.636735>
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., & Zammori, F. (2012a). Data classification and MTBF prediction with a multivariate analysis approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 97(1), 27–35. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.09.010>
- Braglia, M., Carmignani, G., Frosolini, M., & Zammori, F. (2012b). Data classification and MTBF prediction with a multivariate analysis approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 97(1), 27–35. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2011.09.010>
- Busse, S., Hiller, M., Kahlen, K., & Himmelmann, P. (2016). MTBF comparison of cutting edge medium voltage drive topologies for oil & gas applications. *Petroleum and Chemical Industry Conference Europe Conference Proceedings, PCIC EUROPE*. <https://doi.org/10.1109/PCICEurope.2015.7790028>
- Chen, P. P. (1976). The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data Model. *ACM Transactions on Database Systems*, 1(1), 9–36. <https://doi.org/10.1145/320434.320440>
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34(1), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002>
- Cockburn, A. (2001). Writing effective use cases. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 26. <https://doi.org/10.1145/505894.505918>
- Codd, E. F. (1970). A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM*, 13(6), 377–387. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=bth&AN=5221525>
- Codd, E. F. (1979). Extending the database relational model to capture more meaning. *ACM Transactions on Database Systems*, 4(4), 397–434. <https://doi.org/10.1145/320107.320109>

- Colliat, G. (1996). OLAP, relational, and multidimensional database systems. *ACM SIGMOD Record*, 25(3), 64–69. <https://doi.org/10.1145/234889.234901>
- De Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2006). OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research*, 44(23), 4987–5003. <https://doi.org/10.1080/00207540600573402>
- Dong, Y.-H., & Jang, J. (2012). Production rescheduling for machine breakdown at a job shop. *International Journal of Production Research*, 50(10), 2681–2691. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=bth&AN=76312411>
- Gupta, P., Gupta, S., & Gandhi, O. P. (2013). Modelling and evaluation of mean time to repair at product design stage based on contextual criteria. *Journal of Engineering Design*, 24(7), 499–523. <https://doi.org/10.1080/09544828.2013.772955>
- Haron, H., & Ghani, A. A. A. (2015). A Survey on Ambiguity Awareness towards Malay System Requirement Specification (SRS) among Industrial IT Practitioners. *Procedia Computer Science*, 72, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.139>
- Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q., Razzak, M. A., Bodhale, R., & Robinson, D. E. (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 41(3), 513–527. <https://doi.org/10.1080/0020754021000042391>
- Hunka, F., & Matula, J. (2016). Conceptual and logical level of database modeling. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1738, p. 120014). Ostrava: AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4951897>
- Jacobson, I., Spence, I., & Kerr, B. (2016). Use-case 2.0. *Communications of the ACM*, 59(5), 61–69. <https://doi.org/10.1145/2890778>
- Jonsson, P., & Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(1), 55–78. <https://doi.org/10.1108/01443579910244223>
- Krasich, M. (2009). How to estimate and use MTTF/MTBF would the real MTBF please stand up? In *2009 Annual Reliability and Maintainability Symposium* (pp. 353–359). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAMS.2009.4914702>
- Lu, Z., Cui, W., & Han, X. (2015). Integrated production and preventive maintenance scheduling for a single machine with failure uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 80, 236–244. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036083521400446X>
- Mu, K., Hong, J., Jin, Z., & Liu, W. (2013). From inconsistency handling to non-canonical requirements management: A logical perspective. *International Journal of Approximate Reasoning*, 54(1), 109–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2012.07.006>
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Preventative Maintenance Series*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
- Palchun, Y. A., & Yelistratova, I. B. (2014). Assessment of mean time between failures of metrological support and control of production. In *2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE)* (pp. 184–186). IEEE. <https://doi.org/10.1109/APEIE.2014.7040869>
- Pillat, R. M., Oliveira, T. C., Alencar, P. S. C., & Cowan, D. D. (2015). BPMNt: A BPMN extension for specifying software process tailoring. *Information and Software Technology*, 57, 95–115. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.09.004>
- Pizka, M., & Deißböck, F. (2003). How to effectively define and measure maintainability. *Complexity*.
- Rathee, N., & Kaur, M. (2016). A Two Phase Model for Effective Database and ER Diagram Design.

- International Journal of Computer Science & Management Studies*, 28(1), 9. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=edb&AN=119107337>
- Rob, P., & Coronel, C. (2009). *Database Systems Design, Implementation And Management* (8th ed.). Massachusetts: Course Technology.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *for business students fi fth edition* (5th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- Scanniello, G., & Erra, U. (2014). Distributed modeling of use case diagrams with a method based on think-pair-square: Results from two controlled experiments. *Journal of Visual Languages & Computing*, 25(4), 494–517. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2014.03.002>
- Soler, J., Boada, I., Prados, F., & Poch, J. (2006). A Web-based Problem-Solving Environment for Database Normalization. Girona. Retrieved from <http://acme.udg.cat/articles/siie2006.pdf>
- Stellman, A., & Greene, J. (2006). *Applied Software Project Management*. Retrieved from [http://212.50.14.233/Knowledge/Computing %26 Games/3_Programming and Software Development/Applied Software Project Management.pdf](http://212.50.14.233/Knowledge/Computing%26Games/3_ProgrammingandSoftwareDevelopment/AppliedSoftwareProjectManagement.pdf)
- Stiglich, P. (2014). Data Modeling in the Age of Big Data. *Business Intelligence Journal*, 19(4), 17–22. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=bth&AN=99835220>
- Svensson, R., Olsson, T., & Regnell, B. (2013). An investigation of how quality requirements are specified in industrial practice. *Information and Software Technology*, 55(7), 1224–1236. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2013.01.006>
- Swann, K. (1973). *Techniques for Production Efficiency. International Journal of Production Economics* (Vol. 105). London: Macmillan Education UK. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-01790-4>
- Torell, B. W., & Avelar, V. (2004). Mean Time Between Failure: Explanation and Standards. *Power*, 78, 1–10. Retrieved from http://support.casit.net/Portals/0/NTForums_Attach/VAVR-5WGTSB_RO_EN.pdf
- Torell, W., & Avelar, V. (2015). Performing Effective MTBF Comparisons for Data Center Infrastructure, 112, 1–15.
- Wang, D.-J., Liu, F., Wang, Y.-Z., & Jin, Y. (2015). A knowledge-based evolutionary proactive scheduling approach in the presence of machine breakdown and deterioration effect. *Knowledge-Based Systems*, 90, 70–80. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950705115003718>
- White, S. A., & Miers, D. (2008). *BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN*. Lighthouse Point: Future Strategies Inc., Book Division. Retrieved from [http://media.techtarget.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=YT95rnxyymPbCo7XIDQGGf1Ae_FPixhfg7a0a6Mqlw,](http://media.techtarget.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=YT95rnxyymPbCo7XIDQGGf1Ae_FPixhfg7a0a6Mqlw)

ANEXO I - DIAGRAMAS DE CASOS DE USO

Figura 31: Caso de Uso Produção: Processo Manual



Figura 30: Caso de Uso Paragens: Processo Manual

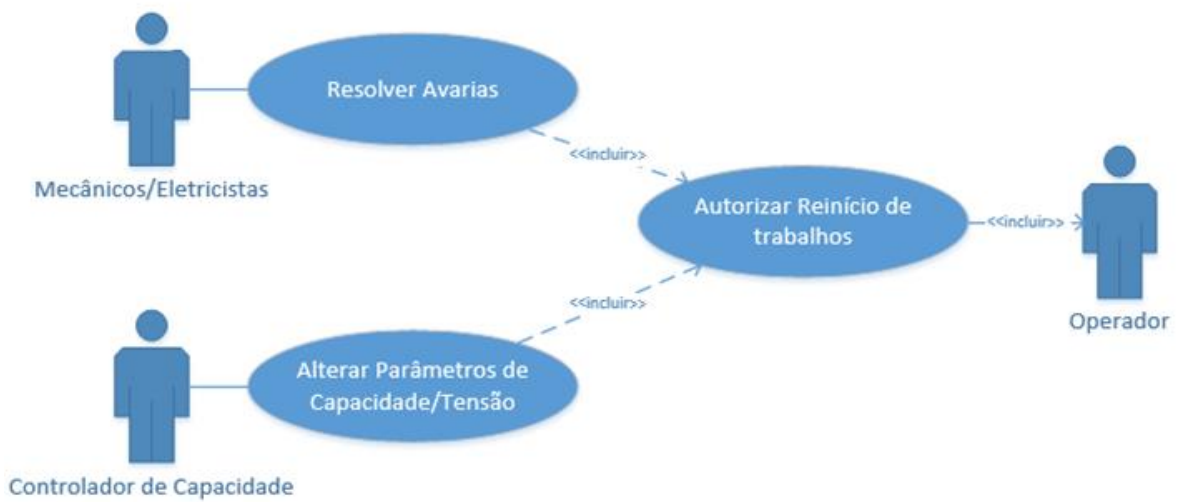


Figura 31: Caso de Uso Produção: VEPGPM

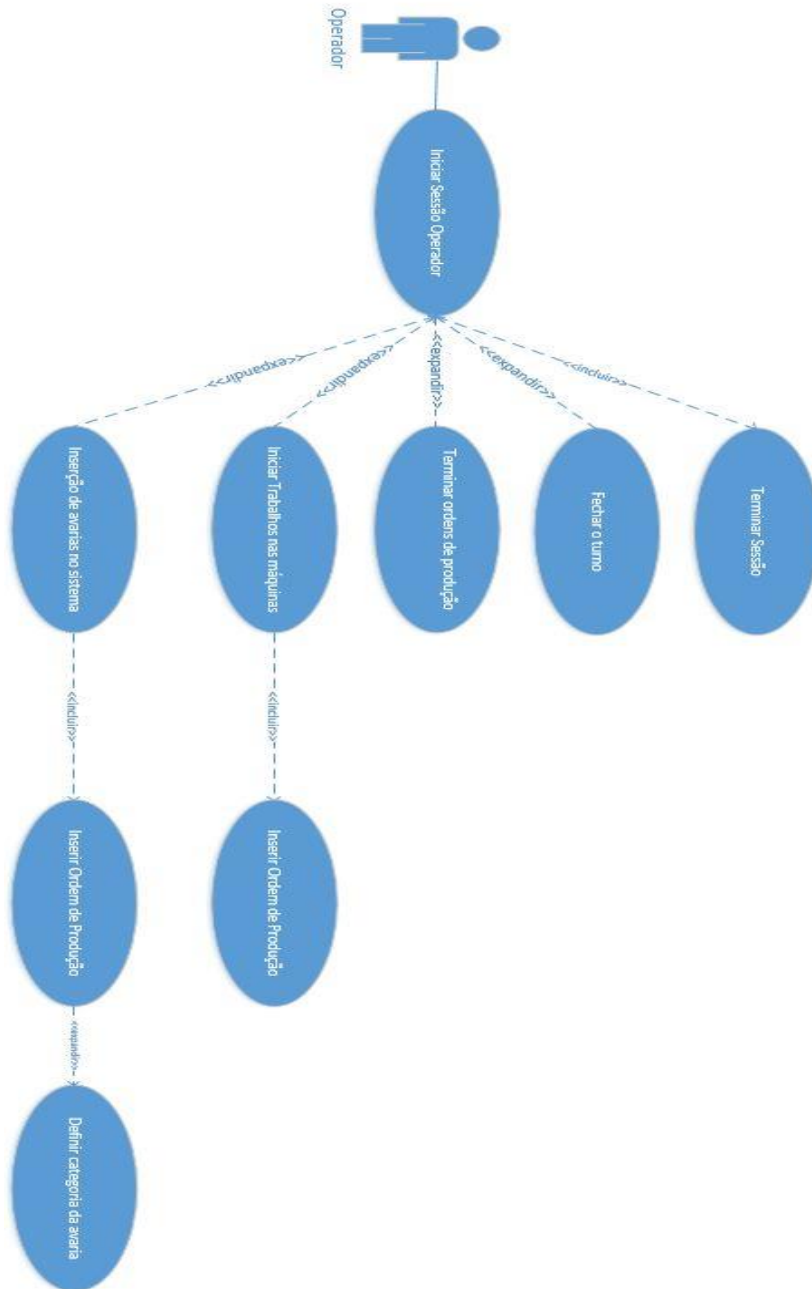


Figura 32: Caso de Uso Paragens: VEPGPM

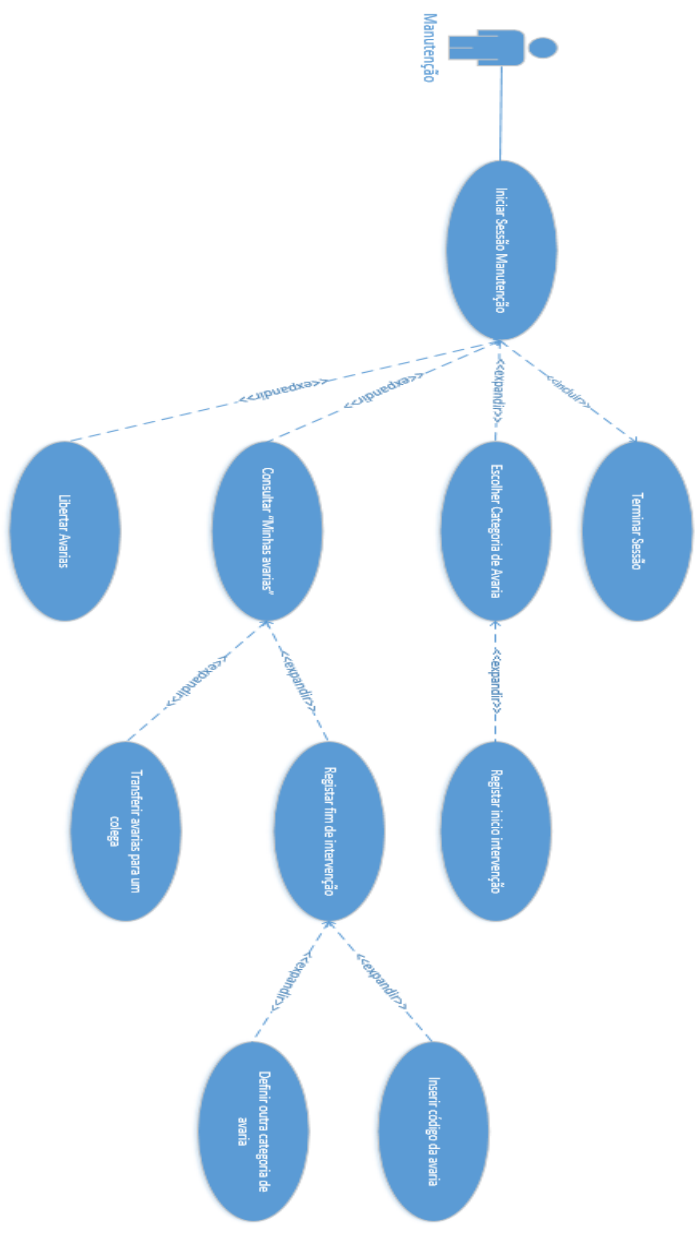
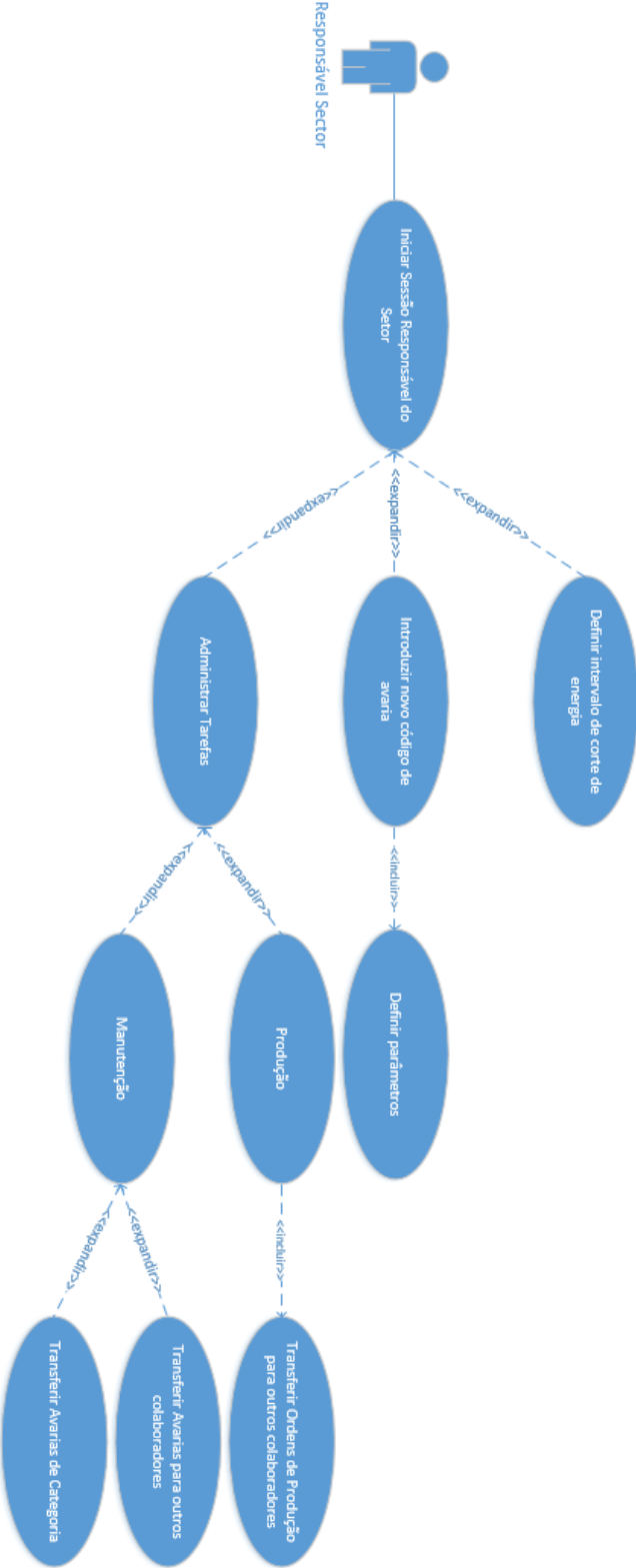


Figura 33: Caso de Uso Responsável do Setor: VEPGPM



ANEXO II – DIAGRAMAS DE ATIVIDADES

Figura 34: BPMN Processo Manual

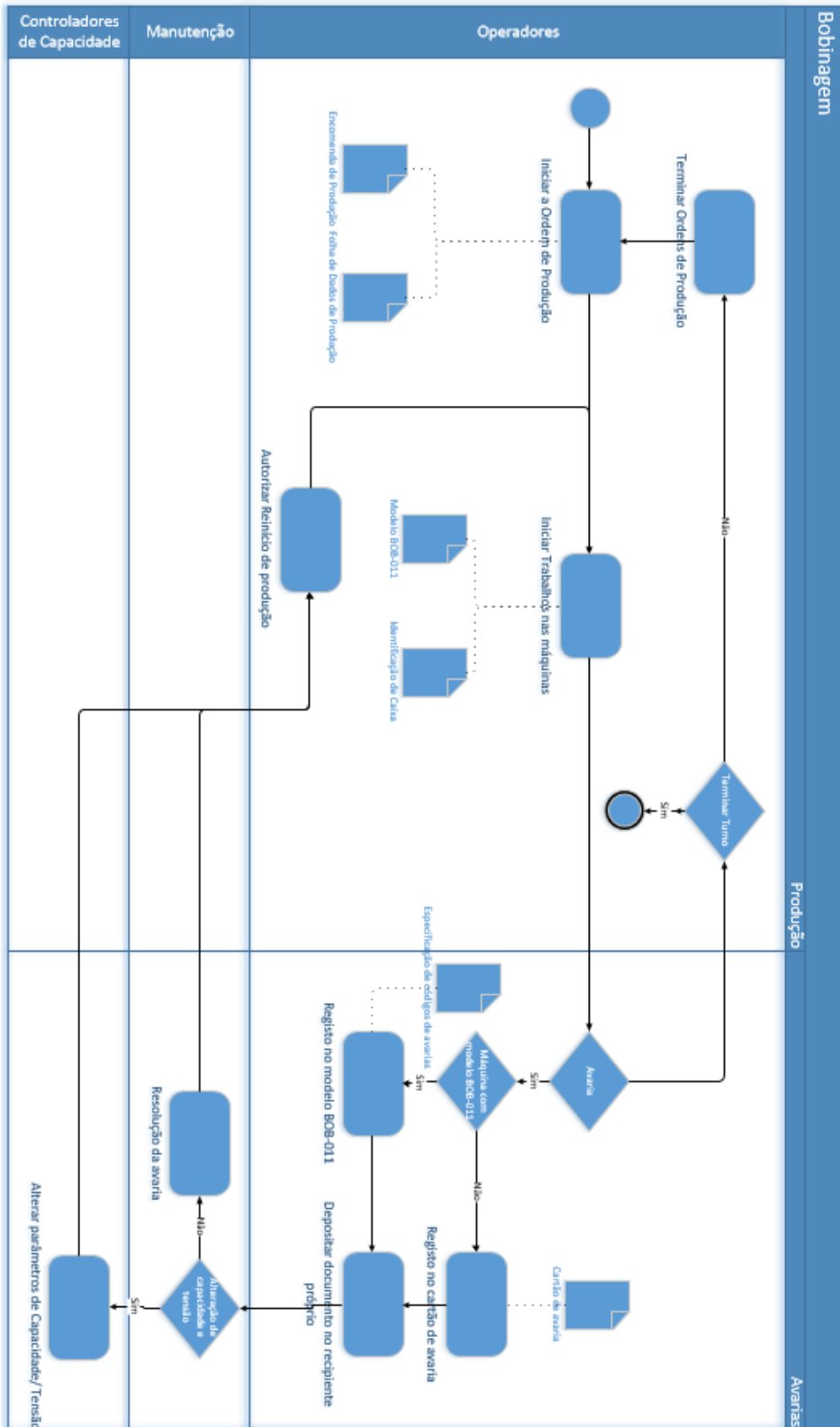


Figura 35: BPMN do VEPGPM

