



ESTUDO DE AVARIAS DO GRUPO DE APLICAÇÃO DE COLA NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

ADRIANA MACHADO RAMOS

novembro de 2020

ESTUDO DE AVARIAS DO GRUPO DE APLICAÇÃO DE COLA NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

Adriana Machado Ramos
1120191

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ESTUDO DE AVARIAS DO GRUPO DE APLICAÇÃO DE COLA NUMA EMPRESA DE MOBILIÁRIO

Adriana Machado Ramos
1120191

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Rafaela Carla Barros Casais.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutora Isabel Cristina Silva Barros Rodrigues Mendes Pinto
Professor Auxiliar, Universidade do Minho

Orientador

Doutora Rafaela Carla Barros Casais
Professor Adjunto, ISEP

Co-orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor Adjunto, ISEP

Arguente

Doutora Isabel da Silva Lopes
Professor Adjunto, ISEP

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à orientadora, Doutora Rafaela Casais, por toda a dedicação e apoio prestado para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus colegas do departamento de Manutenção, em especial ao meu responsável e atual responsável de departamento António Moreira, e aos meus colegas Sahara Guimerá, Fernanda Silva, José Barroso, António Barros e um especial obrigada ao Joel Machado. Obrigada por todo o apoio, esclarecimento de dúvidas e nunca me deixarem desistir.

Aos amigos, pelas conversas e motivação quando algo não estava a correr como desejava.

Por último, e mais importante, gostaria de agradecer ao José pelo apoio incondicional, pela paciência e principalmente, por sempre acreditar em mim.

A confiança por vós demonstrada fez com que eu não deixasse abalar e prosseguisse nesta caminhada.

PALAVRAS CHAVE

Manutenção preditiva, indústria 4.0, manutenção preventiva, manutenção baseada na condição

RESUMO

Com a crescente competitividade do mercado, há uma maior necessidade de melhorar a eficiência geral de processos internos para responder melhor à procura. Através da implementação de técnicas avançadas de automação da produção e novas estratégias de manutenção, podem-se ajudar empresas a abordar este desafio e satisfazer a procura dos clientes.

Hoje em dia, é possível apontar três objetivos de maneira a que as empresas sejam capazes de manter a sua competitividade: custos reduzidos, qualidade ótima de produto e tempos de produção menores. Para esse fim, a manutenção pode ser um bem precioso uma vez que, pela implementação de medidas preventivas e preditivas, disponibilizadas pelos desenvolvimentos tecnológicos recentes, podem-se atacar estes objetivos simultaneamente.

Nesta dissertação, foi feito um estudo nos grupos de cola das orladoras da Ikea *Industry* Portugal, de maneira a prevenir falhas, evitando impactar a produção. Adicionalmente, conseguimos encontrar tanto meios, rotinas e ações implementáveis de modo a reduzir tanto o número de falhas como o tempo gasto nestas.

KEYWORDS

predictive maintenance, industry 4.0, preventive maintenance, condition-based maintenance

ABSTRACT

With the growing competitiveness of the market, there is an increasing need to improve the overall efficiency of internal processes to better respond to the demand. Through the implementation of advanced automation techniques and new maintenance strategies, one could help companies tackle this challenge and satisfy the customers demand.

Nowadays, one could point out three goals so that companies are able to maintain competitive: reduced costs, optimal product quality and lower production times. To that end, maintenance may prove a valuable asset as, through the implementation of preventive and predictive measures, made available by the recent technological developments, one can tackle each goal simultaneously.

In this thesis, it is conducted a study on the glue groups on the IKEA *Industry* Portugal edgers, in order to prevent breakdowns and avoid impacting production. Additionally, we were able to find both means, routines and implementable actions to reduce both the number of failures and the time spent with them.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

<Termo>	<Designação>
BOF	Board on Frame
CBM	Condition Based Maintenance
CP	Coldpress
EBD	EdgeBand&Drill
EN	European normalization (Norma europeia)
HDF	High Density Fiber
IoT	Internet of Things (Internet das coisas)
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just in Time
KPI	Key Performance Indicator
LP	Lacquer&Print
MDF	Medium Density Fiber
MPI	Maintenance Performance Indicator
MTBF	Mean time between failure (Tempo médio entre falhas)
MTTF	Mean time to failure (Tempo médio até à falha)
MTTR	Mean time to repair (Tempo médio de reparação)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficiência global do equipamento)
PFF	Pigment Furniture Factory
TR	Time to repair (tempo de reparação)
TTF	Time to failure (tempo até à falha)

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<Termo>	<Designação>
Spare-part	Peça mantida em stock para substituir uma peça perdida ou danificada de uma máquina.
Setup	Processo completo de mudança de fabrico de um determinado produto e o fabrico de um produto diferente, até conseguir atingir uma determinada taxa de produção com qualidade. O processo de setup engloba atividades como troca de ferramentas da máquina ou de equipamentos, transporte de ferramentas, produção de algumas peças do novo lote, inspeção dessas peças e ajustes da máquina.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - METODOLOGIA UTILIZADA.	4
FIGURA 2 - TIPOS DE MANUTENÇÃO (EN 13306:2010)	13
FIGURA 3- MANUTENÇÃO PREVENTIVA	16
FIGURA 4 – EXEMPLO DE ANÁLISE DE DADOS PARA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO BASEADA NAS CONDIÇÕES	18
FIGURA 5 - MEAN TIME BETWEEN FAILURES	25
FIGURA 6 - MPI DA IKEA <i>INDUSTRY</i> PORTUGAL	26
FIGURA 7- OEE SEGUNDO A IKEA <i>INDUSTRY</i>	27
FIGURA 8 - IKEA <i>INDUSTRY</i> PORTUGAL	31
FIGURA 9 - ORGANIZAÇÃO DA UNIDADE FABRIL	32
FIGURA 10 - EXEMPLOS DE PRODUTOS DA FÁBRICA BOF	33
FIGURA 11 - <i>LAYOUT</i> DE FLUXO DA FÁBRICA LACQUER&PRINT (L&P)	33
FIGURA 12 - KPI DAS LINHAS EDGEBAND DO FLUXO LP	38
FIGURA 13 - KPI DAS LINHAS EDGEBAND DO FLUXO <i>FOIL</i>	38
FIGURA 14 - NÚMERO DE AVARIAS E SOMATÓRIO DO TEMPO DE INATIVIDADE DAS MÁQUINAS REPRESENTATIVAS DE 80% DE TODAS AS AVARIAS NAS ÁREAS EDGEBAND&DRILL	39
FIGURA 15 - PERCENTAGEM DE TEMPO DE INATIVIDADE POR FAMÍLIA DE MÁQUINA	40
FIGURA 16 – TEMPO DE INATIVIDADE E NÚMERO DE PARAGENS DAS ORLADORAS	40
FIGURA 17 - <i>LAYOUT</i> DAS LINHAS E MÁQUINAS DA ÁREA EDGEBAND&DRILL L&P	41
FIGURA 18 – ROBOT PALETIZADOR HOMAG	42
FIGURA 19 – BRAÇO DE VENTOSAS	42
FIGURA 20 - ORLADORA HOMAG	43
FIGURA 21 - FURADORA HOMAG	44
FIGURA 22 - CABEÇOS DE FURAÇÃO	44
FIGURA 23 - SPLITTER	44
FIGURA 24 - SWAPPER	45
FIGURA 25 - VIRADOR	45
FIGURA 26 - GRUPO DE COLAGEM DAS ORLADORAS HOMAG	47
FIGURA 27 - UNIDADE DE APLICAÇÃO DE COLA	48
FIGURA 28 - MODO DE DOSEAMENTO DE COLA APLICADA - GATES	48
FIGURA 29 - VASO DA COLA DIREITO E VASO DA COLA ESQUERDO	49
FIGURA 30 - DIAGRAMA DE ISHIKAWA "AVARIA NO VASO DA COLA ORIGINANDO PARAGEM DE PRODUÇÃO NÃO PLANEADA"	50
FIGURA 31 - MOTOR AFETADO POR DERRAME DE COLA	52
FIGURA 32 - DERRAME DE COLA EM ESTADO SÓLIDO	52
FIGURA 33 - CORPO DO VASO DANIFICADO	53
FIGURA 34 - ROLOS APLICADORES DE COLA DANIFICADOS	53
FIGURA 35 - ANALISADOR DE QUALIDADE DE POTÊNCIA E ENERGIA FLUKE 435-II	58

FIGURA 36 - CHAPA DE CARATERÍSTICAS DO MOTOR RESPONSÁVEL PELO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO DO ROLO DO VASO DA COLA.	59
FIGURA 37 - INTENSIDADE DE CORRENTE DE 14-06-2020 A 22-06-2020	59
FIGURA 38 - INTENSIDADE DE CORRENTE DE 22-06-2020 A 23-06-2020	61

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - NÍVEIS DE MANUTENÇÃO (EN 13306:2010)	10
TABELA 2 - EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO (MOUBRAY, 1991)	11
TABELA 3 - INDÚSTRIA 3.0 E INDÚSTRIA 4.0	12
TABELA 4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MANUTENÇÃO CORRETIVA. ADAPTADO DE PINTO, J.P (2013)	14
TABELA 5 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA. ADAPTADO DE WIREMAN (2004) E PINTO, J.P (2013)	15
TABELA 6 - EXEMPLOS DE ALGUMAS TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MANUTENÇÃO CONDICIONADA	20
TABELA 7 - EXEMPLOS DE ALGUMAS TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MANUTENÇÃO CONDICIONADA (CONTINUAÇÃO)	21
TABELA 8 - PERDAS DE PRODUTIVIDADE. ADAPTADO DE (OEE, 2020).	28
TABELA 9 - IDENTIFICAÇÃO DAS LINHAS EDGE BAND&DRILL	35
TABELA 10 - IMPACTO DAS AVARIAS DOS GRUPOS DE APLICAÇÃO DE COLA NAS LINHAS	46
TABELA 11 – ORIGEM DAS AVARIAS NO GRUPO DA COLA	48
TABELA 12 - MTBF E MTTR DE 01-01-2019 A 29-02-2020	54
TABELA 13 - NÚMERO DE PEÇAS PRODUZIDAS EM 60 MINUTOS	54
TABELA 14 – PRINCIPAIS CAUSAS PARA AS AVARIAS FREQUENTES NOS VASOS DA COLA	55
TABELA 15 - AÇÕES PARA COMBATER PRINCIPAIS CAUSAS PARA AS AVARIAS FREQUENTES NOS VASOS DA COLA	56
TABELA 16 - RESUMO DAS REFERÊNCIAS PRODUZIDAS E RESPECTIVOS DADOS DE 14-06-2020 A 22-06-2020	60
TABELA 17 - RESUMO DAS REFERÊNCIAS PRODUZIDAS E RESPECTIVOS DADOS DE 22-06-2020 A 23-06-2020	61

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Contextualização	3
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia utilizada	4
1.4 Empresa de acolhimento	4
1.5 Estrutura da dissertação	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Manutenção	9
2.1.1 Evolução da Manutenção	10
2.1.2 Manutenção na Indústria 4.0	11
2.1.3 Tipos de Manutenção	13
2.2 Manutenção corretiva.....	14
2.3 Manutenção preventiva.....	15
2.3.1 Manutenção Preventiva Predeterminada	16
2.3.2 Manutenção preventiva Baseada na Condição (Manutenção Condicionada)	17
2.4 Indicadores de desempenho.....	23
2.4.1 Indicadores de desempenho da Manutenção	24
2.4.2 <i>Overall Efficiency Equipment (OEE)</i>	26
3 DESENVOLVIMENTO	31
3.1 Caracterização da Empresa – <i>IKEA Industry Portugal</i>	31

3.1.1	Fábrica Board on Frame (BOF)	32
3.1.2	Indicadores de desempenho IKEA <i>Industry</i>	36
3.2	Caracterização do problema	37
3.2.1	Análise dos indicadores de desempenho e das ocorrências de avarias	37
3.2.2	Descrição do funcionamento da linha piloto	41
3.2.3	Descrição dos dados relativos a avarias ocorridas nas Orlandoras Homag nos grupos da cola	46
3.3	Grupo da cola	46
3.3.1	Constituintes e funcionamento do grupo da cola	46
3.3.2	Estudo das avarias	48
3.4	Grupo de aplicação de cola – Vaso da cola	49
3.4.1	Principais causas para avarias nos vasos da cola	51
3.4.2	KPI e custos associados a avarias de vasos da cola - Análise da situação atual	54
3.5	Propostas de soluções.....	55
3.5.1	Manutenção Preventiva	57
3.5.2	Manutenção Preventiva Baseada na Condição - Manutenção Condicionada	57
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	65
4.1	Conclusões	65
4.2	Proposta de trabalhos futuros	66
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	69
6	ANEXOS	73
6.1	Atribuição de KPI a diferentes áreas (ISO: 22400-2:2014).....	73

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia utilizada
- 1.4 Estrutura da dissertação
- 1.5 Empresa de acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com a crescente competitividade na indústria, organizações com altos níveis de produção procuram melhorar e desenvolver o seu sistema produtivo, de modo a conseguir rentabilizar todos os recursos disponíveis da forma mais eficiente.

Uma boa estrutura e gestão de manutenção é um dos pilares para uma produção sustentável. O principal objetivo da manutenção na indústria é manter os equipamentos em condições favoráveis à produção com alta eficiência, afetando diretamente a produtividade, a qualidade e os custos diretos de produção.

Intervenções de manutenção requerem tempo que, teoricamente, poderia ser usado para a produção, mas o atraso de planos de manutenção pode aumentar a probabilidade de falha da máquina, ou seja, podem acontecer conflitos entre o planeamento de manutenção e a produção.

Dada a importância de evitar falhas de forma evitar tempos de inatividade não planeados, tanto para a manutenção como para a produção, há necessidade de estudar avarias sistémicas no processo e enunciar ações que permitam uma manutenção que antecipe a falha.

Com a evolução tecnológica, surgiram novas estratégias de manutenção preventiva como a manutenção condicionada e, por consequência, a manutenção preditiva. Estas estratégias consistem em monitorizar a condição de um equipamento em tempo real, utilizando-se por norma sensores que podem medir diferentes parâmetros, de acordo com o componente em monitorização. Ao ter conhecimento do estado atual do equipamento, é possível saber a existência de falhas e prever quando estas surgirão e, assim, planejar corretamente as ações de manutenção atempadamente, evitando as paragens não planeadas.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como foco o desenvolvimento de um sistema de manutenção através da Monitorização da Condição que permita identificar a necessidade de manutenção/troca dos aplicadores de cola que constituem as orladoras, instaladas na IKEA Industry Portugal.

A presente dissertação é desenvolvida com o propósito de identificar avarias comuns em máquinas de orlar - orladoras, com vista à criação um plano de ações e

implementações com o objetivo de, no futuro, conseguir detetar a falha de forma atempada. Assim espera-se diminuir o tempo de inatividade por avaria das orladoras.

Com a sua implementação, será possível monitorizar o estado deste componente ao longo do tempo, de forma a que a sua substituição possa ser planeada atempadamente, por vezes até incluída em intervenções de manutenção de outros componentes, em *setups*, ou até em pausas de refeições, de modo a reduzir o tempo de paragem das máquinas.

Deste modo pretende-se reduzir o número de paragens não planeadas e os respetivos tempos de inatividade das orladoras.

1.3 Metodologia utilizada

De acordo com os objetivos estipulados, a metodologia empregue foi a seguinte:

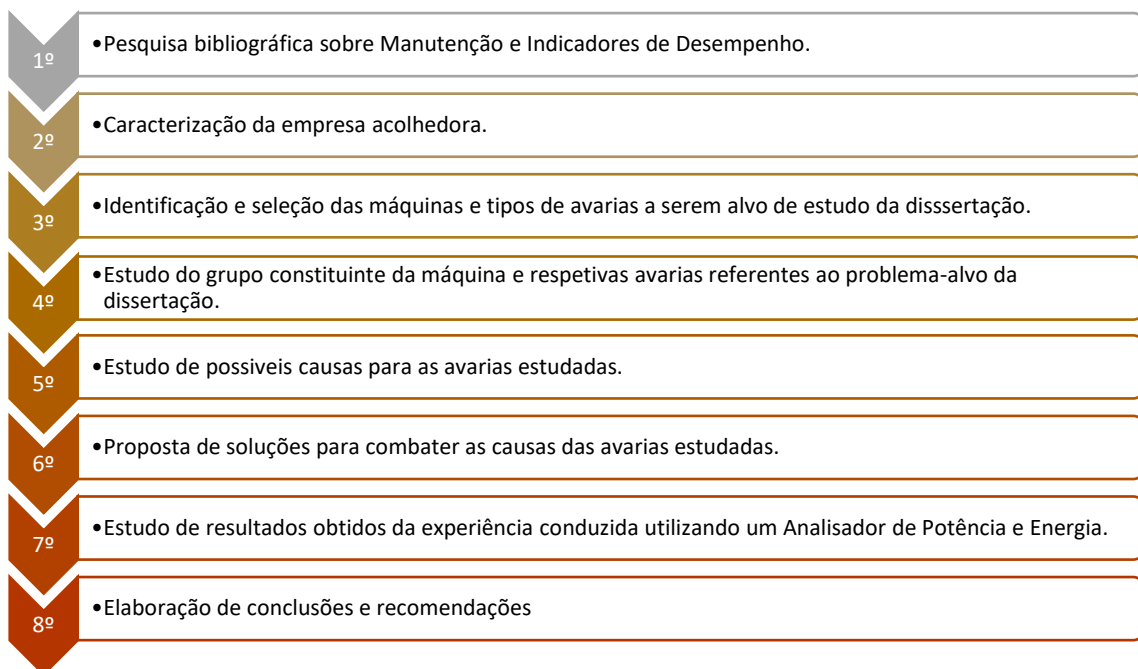


Figura 1 - Metodologia utilizada.

1.4 Empresa de acolhimento

Esta dissertação, foi desenvolvida âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e foi realizada em contexto de projeto no departamento de manutenção da empresa IKEA Industry Portugal, S.A., localizada em Paços de Ferreira.

A empresa encontra-se apresentada em detalhe na secção 3.1

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em quatro capítulos principais.

O primeiro capítulo é constituído pela introdução ao tema e descrição dos objetivos a atingir. É descrito também, a metodologia utilizada para a realização da dissertação, a estrutura do relatório e, por fim, é retratada a empresa de acolhimento.

No segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, são apresentados quatro subcapítulos; o primeiro relativo à introdução e contextualização da manutenção, o segundo e o terceiro sobre manutenção corretiva e manutenção preventiva, respetivamente. O quarto subcapítulo tem como tema indicadores de desempenho.

O desenvolvimento do trabalho é descrito no terceiro capítulo. Neste, encontra-se a descrição e a caracterização do problema a estudar, assim como propostas de soluções.

Por último, o quarto capítulo diz respeito às conclusões e propostas de trabalhos futuros, no qual se analisa se os objetivos propostos foram atingidos, as dificuldades sentidas e oportunidades de melhoria do projeto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

2.2 Manutenção corretiva

2.3 Manutenção preventiva

2.4 Indicadores de desempenho

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Cada vez mais, manutenção é considerada como uma ferramenta estratégica que visa aumentar a competitividade das empresas, justificando a sua importância acrescida (Farinha *et al.*, 2018).

Um dos principais fatores a considerar na contabilização de custos de uma unidade industrial é a manutenção uma vez que os encargos anuais com a esta podem representar até 40% do orçamento total, e entre 15 a 60% do custo dos produtos produzidos.

Boas práticas de manutenção no equipamento tem um impacto direto na respetiva disponibilidade e qualidade do produto. De fato, perdas de velocidade ou falta de precisão dos equipamentos estão geralmente associados a uma manutenção inadequada (Mourinho *et al.*, 2018).

Segundo a Norma Europeia EN 13306:2010, manutenção é definida como a combinação de todas ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um item de forma a preservar, ou reparar, de forma a que este possa desempenhar a sua função (EN 13306:2010). Já Moubrey *et al.* (1991) define manutenção como o conjunto de atos que asseguram que os equipamentos cumprem as funções que lhes são esperadas.

Assim, a função primária da manutenção é garantir que todo o parque de máquinas, equipamentos e sistemas necessários para a produção estão disponíveis e em boas condições de operação. Segundo Mobley *et al.* (2002), o principal objetivo da manutenção é prevenir todas as perdas causadas pelos equipamentos ou sistemas.

Num departamento de manutenção de uma organização, a principal missão é alcançar e sustentar os seguintes objetivos:

- Garantir a disponibilidade ótima do equipamento;
- Maximizar a utilização dos recursos da manutenção;
- Otimizar a vida do equipamento;
- Minimizar o stock interno de *spare-parts*;
- Manter bens e equipamentos em boas condições, bem configurados e em segurança para desempenhar a função requerida;
- Reagir rapidamente.

Para assegurar que os pontos supracitados são atingidos, o departamento de manutenção e a restante organização necessitam de estar alinhados. Entende-se, por

Gestão da Manutenção, todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, estratégia e responsabilidades relativas à manutenção. A Gestão da Manutenção está ainda encarregue de implementar as mesmas usando, para esse efeito, diversos meios, nomeadamente o planeamento, controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos (EN 13306, 2010).

Segundo a norma EN 13306:2010 a manutenção pode ser categorizada em 5 níveis, em dependendo do nível de complexidade das tarefas:

Tabela 1 - Níveis de manutenção (EN 13306:2010)

Nível	Definição	Executante
1	Tarefas simples efetuadas com o mínimo de formação necessária (inspeções visuais, lubrificações, etc.).	Operador
2	Tarefas básicas que devem ser executadas por pessoal qualificado (com formação) usando procedimentos detalhados.	Operador qualificado ou técnico de manutenção
3	Ações complexas que devem ser executadas por pessoal qualificado (com formação) usando procedimentos detalhados.	Técnico de manutenção
4	Ações que necessitam do <i>know-how</i> mais aprofundado sobre técnica/tecnologia, executadas por pessoal técnico especializado.	Técnico de manutenção ou técnicos especializados
5	Ações que necessitam do conhecimento do fabricante do equipamento ou de uma empresa especializada.	Técnicos especializados ou fabricante

2.1.1 Evolução da Manutenção

O conceito de manutenção e o modo como é abordada e gerida é altamente mutável, dado que é obrigado a evoluir a cada revolução industrial. Neste momento, o departamento de manutenção tem um papel fundamental para o cumprimento dos objetivos de eficiência e produtividade a que as organizações se propõem. Com efeito, existem cada vez mais expectativas relativas à manutenção dada a quantidade de ativos físicos (equipamentos e infraestruturas) a serem mantidos e a sua diversidade, os impactos de potenciais falhas no ambiente e segurança a sua importância na qualidade do produto e numa produção sustentável e eficiente (Moubray, 1991).

Assim, correntemente, a manutenção deixou de ser vista como “um mal necessário”, mas como uma necessidade intrínseca, uma vez que, as técnicas e métodos de gestão

usados até agora já não são suficientes para competir nos mercados internacionais (Mobley, 2002).

Moubray (1991) categoriza a evolução da manutenção em 3 gerações (Miranda, 2017):

Tabela 2 - Evolução da Manutenção (Moubray, 1991)

Gerações de Manutenção	
1ª Geração Séc.XVIII	Baixa mecanização da indústria; Equipamento simples, robusto e sobredimensionado; Focado na reparação após avaria.
2ª Geração Inicio do Séc.XX	Início da produção em massa com a utilização da energia elétrica; Aumento da complexidade tecnológica; Aumento da mecanização da indústria após a 2ª Guerra Mundial; Maior impacto das avarias; Focada na prevenção da avaria manutenção preventiva com intervalos fixos; Sistemas de planeamento e controlo da manutenção; Aumento do custo do capital conduziu a procura da maximização da vida dos ativos.
3ª Geração Década 70	Utilização de eletrónica e TI para automação; <i>Downtime</i> afeta a capacidade produtiva das fábricas altamente mecanizadas e de capital intensivo devido à reduzida disponibilidade dos equipamentos; Aumento dos custos de posse e operação; Aparecimento do JIT – sistemas produtivos Just In Time com baixos níveis de inventário de matérias primas dependentes da fiabilidade dos fornecedores; Clientes exigem padrões de qualidade mais elevados; Aumento dos custos de manutenção, em termos absolutos em termos percentuais da despesa total.

2.1.2 Manutenção na Indústria 4.0

Nos dias de hoje, a indústria está a enfrentar a 4ª revolução – Indústria 4.0. (Bokrantz *et al*, 2016)

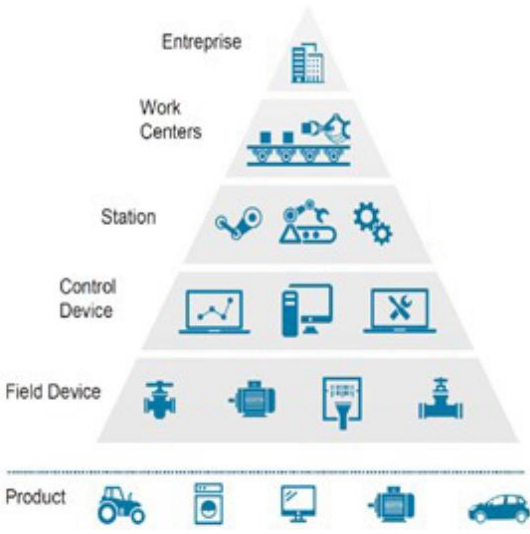
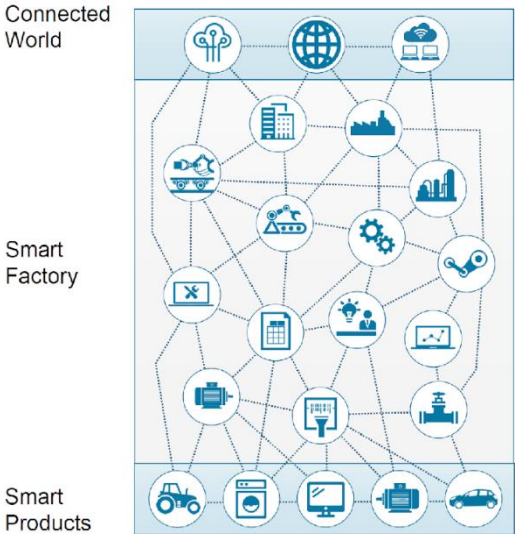
Dados os desenvolvimentos nas áreas das TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação), e na modularidade e interconectividade dos elementos que as compõem, testemunha-se agora a entrada no novo passo da evolução industrial.

O conceito de Indústria 4.0 é considerada como uma combinação de características como a digitalização das empresas e interligação e cruzamento de dados entre as diversas partes que contribuem para o desenvolvimento do produto/serviço final. Para tal, é

necessário a utilização dos mais variados tipos de sensores e análise de dados (Kiangala and Wang, 2018).

Com a Indústria 4.0 espera-se aumentos substanciais na produtividade e nos níveis de automação, derivados de melhorias relativamente ao uso eficiente dos recursos disponíveis (Bokrantz *et al*, 2016).

Tabela 3 - Indústria 3.0 e Indústria 4.0

Arquitetura da Indústria 3.0	Arquitetura da Indústria 4.0
<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação entre a cadeia de valor baseada em níveis; • O produto é isolado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas e máquinas flexíveis; • Todos os participantes para adição de valor comunicam entre si; • O próprio produto final faz parte da rede de comunicação.
	

Porém, no meio académico existe uma lacuna na pesquisa relativa às expectativas da manutenção perante a Indústria 4.0 - não há convergência sobre as mudanças que as organizações de manutenção poderão ter de empreender para acompanhar o desenvolvimento da Indústria 4.0 (Bokrantz *et al*, 2016).

Existe um conjunto de temáticas que poderá influenciar o ambiente interno das organizações de manutenção:

- Avanços na análise de dados e manutenção preditiva;
- Planeamento de manutenção com base em factos;
- Novos princípios para o planeamento de manutenção;
- Sistemas de informação interoperáveis;
- Ênfase na educação e formação;

- Reforço sobre standards e legislação a nível ambiental;
- Estudo na aplicação de controlos organizacionais, e culturais para eliminar falhas no equipamento.

2.1.3 Tipos de Manutenção

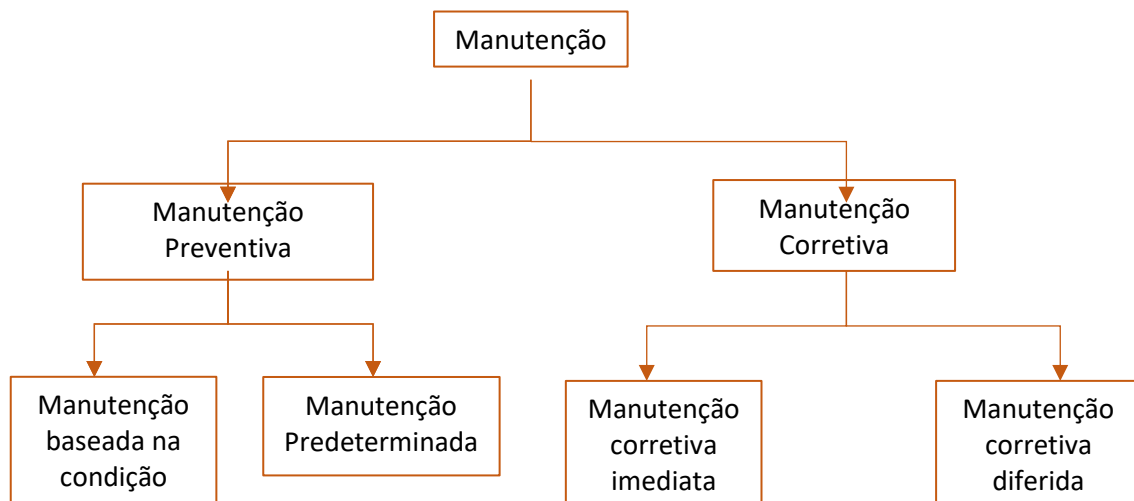
O processo de Manutenção pode ser definido em duas principais estratégias (Márquez, 2007):

- Manutenção preventiva: Ações orientadas de forma a manter certas condições operacionais de um item;
- Manutenção corretiva: Ações dedicadas a restaurar as condições operacionais de um item.

A estratégia de manutenção a escolher depende da situação e contexto de cada equipamento contemplado num parque de máquinas. Embora, seja preferível trabalhar numa estratégia que permita planear atividades de manutenção preventiva dependendo do impacto da falha de um equipamento para a produção e da dificuldade de medir e estudar padrões de falha, a estratégia de manutenção corretiva pode ser a melhor solução (Garbe, 2019).

Na literatura pode-se encontrar várias formas de categorizar a manutenção e as suas derivações. Nesta dissertação, será considerada a tipologia proposta pela norma EN 13306:2010, presente na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de Manutenção (EN 13306:2010)



2.2 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é realizada depois do reconhecimento de uma falha no equipamento. Tem como objetivo reabilitar o equipamento de forma a que este possa executar a sua função novamente (EN 13306:2010).

A manutenção corretiva pode ser imediata ou diferida:

- Manutenção corretiva imediata: realizada no momento da falha.
- Manutenção corretiva diferida: que não é realizada imediatamente após uma deteção de falha.

O método de implementação é simples: “Só intervém se alguma falha acontecer”. Raramente esta estratégia utilizada na forma original (“Só intervém se alguma falha acontecer”). Existe sempre alguma ação de manutenção aos equipamentos como limpezas, lubrificações, ajustes, inspeções, etc.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da Manutenção Corretiva. Adaptado de Pinto, J.P (2013)

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Menores custos associados à gestão e planeamento da manutenção; • Modelo de fácil implementação.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado custo de posse de <i>spare-parts</i> de forma a conseguir reagir a qualquer tipo de avaria; • Necessidade de disponibilidade de mão-de-obra imediata; • Frequente surgimento de situações imprevistas; • Frequente necessidade de horas-extra; • Acontecimento de falhas inesperadas; • Custos associados à disponibilidade do equipamento para produção; • Necessidade de ferramentas e fontes de informação de forma a conseguir a reagir a qualquer tipo de avaria.

Segundo Mobley (2002), os custos de manutenção indicam que uma intervenção efetuada de forma reativa, em média, custará três vezes mais que a mesma intervenção feita de forma calendarizada ou preventiva. No entanto, a implementação da estratégia de manutenção corretiva pode ser válida quando o custo e as consequências das falhas são inferiores ao custo da realização das ações preventivas, por exemplo (Garbe, 2019).

Na manutenção corretiva, a deteção da origem da falha e o seu diagnóstico são os principais fatores de gasto de tempo. De forma a combater esta perda, os problemas e causas que resultam em falhas deverão ser estudados e alvo de manutenção preventiva. Desta forma, o objetivo é detetar defeitos com o menor custo possível, iniciando-se a abordagem de manutenção preventiva.

2.3 Manutenção preventiva

Manutenção preventiva é o tipo de manutenção efetuada em períodos de tempo específicos ou sob um conjunto de diretrizes com o intuito de diminuir a probabilidade de avaria ou de degradação de um determinado equipamento (EN 13306:2010). Para tal é necessário ter em conta os seguintes objetivos:

- Prever as datas prováveis em que as avarias poderão acontecer;
- Reduzir ao mínimo os fatores que provoquem essas mesmas avarias;
- Minimizar, dentro do possível, as consequências da avaria.

Em suma, atividades de manutenção preventiva são aquelas feitas antes da falha acontecer. Este tipo de manutenção é, assim, adequado a equipamentos que exibam comportamento regular, e que permitam estimar com rigor os modos de falha e as respetivas necessidades de manutenção.

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens da Manutenção Preventiva. Adaptado de Wireman (2004) e Pinto, J.P (2013)

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor controlo dos custos de manutenção; • As operações e paragens são programadas de acordo com a produção; • Aumento da longevidade dos equipamentos; • Menor custo de posse das <i>spare-parts</i>; • Menor número de avarias; • Aumento da disponibilidade dos equipamentos.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Exige um planeamento bem definido; • Custos desnecessários e excessivos se as intervenções de manutenção não forem necessárias, causando desperdício de mão de obra, material, tempo e dinheiro (excesso de manutenção); • A frequência de trabalhos pode ser demasiado elevada, impedindo que os períodos de desgaste das peças do equipamento sejam exatamente determinados; • Pode provocar conflitos com a produção, devido à necessidade de condicionar o equipamento para cumprir o plano; • Não assegura que a manutenção corretiva seja totalmente eliminada. • Risco de falhas pós-manutenção (ex: dificuldades no arranque da máquina).

Pode ser caracterizada em manutenção predeterminada, ou em manutenção baseada na condição:

- Manutenção predeterminada: baseia-se num plano de ações (lubrificações, limpezas, trocas de *spare-parts*, etc.) definido para um intervalo de tempo estabelecido, ou num número de unidades de uso, mas se conhecimento algum da condição atual do item (EN 13306:2010).
- Manutenção baseada na condição: manutenção preventiva que é planeada consoante a monitorização da condição do equipamento, inspeções, testes e ações. A monitorização pode ser calendarizada, pontual ou em contínuo (EN 13306:2010).



Figura 3- Manutenção Preventiva

2.3.1 Manutenção Preventiva Predeterminada

Manutenção preventiva predeterminada é aquela que ocorre com uma determinada frequência pré-definida e que é realizada sem a verificação prévia da condição (EN 13306:2010).

Neste tipo de intervenções, tipicamente, os intervalos são baseados em janelas temporais. Contudo, a sua frequência pode ser baseada noutras variáveis como, por exemplo, o número de km, o número de arranques (ON/OFF) e o volume produzido (peças, metros, m², m³). Atividades de manutenção predeterminada são atividades planeadas e devidamente preparadas, no entanto, são executadas independentemente de serem necessárias ou não (Garbe, 2019).

Alguns exemplos de atividades predeterminadas incluem a lubrificação e troca de óleo em intervalos predeterminados e a troca periódica de peças de desgaste.

2.3.2 Manutenção preventiva Baseada na Condição (Manutenção Condicionada)

Para a otimização de recursos das atividades de manutenção, poderão ser utilizadas tecnologias de análise de diagnóstico que nos permitem programar as intervenções com base na condição dos equipamentos. A tipologia destas intervenções permite evitar custos associados à substituição de componentes, consumíveis e mão-de-obra em intervenções desnecessárias (TDGI, 2018).

Define-se Manutenção Condicionada (CBM) como a estratégia de manutenção preventiva baseada na monitorização de condições pré estipuladas, inspeção, e/ou testes dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando a sua análise e as ações daí consequentes. Incluem-se, entre alguns dos parâmetros de funcionamento, a temperatura, vibrações e a pressão, em que a sua recolha de dados pode ser realizada ou de forma contínua (vigilância permanente) ou periodicamente (em tempo real) de acordo com um dado intervalo de monitorização (EN 13306:2010).

Assim, a manutenção condicionada usa medições regulares de equipamento, indicando intervenções de manutenção somente quando esse equipamento pode falhar ou precisar de reparações. Para tal, é necessário determinar, de antemão, o ponto de manutenção preciso, seja pela inspeção visual de um dado equipamento, execução de testes nas especificações do equipamento ou recolha de dados e diagnósticos (Upkeep, 2020).

Este tipo de manutenção é, então, dependente da monitorização constante e da fiabilidade das medições dos parâmetros específicos de cada equipamento e o seu histórico. Idealmente, a recolha de dados e a sua avaliação deverá ser feita automaticamente, porém o grau de automação destes processos pode variar desde inspeções visuais a sistemas totalmente automatizados com sensores (Garbe, 2019).

Com efeito, CBM, apesar de subótimo, pode ser efetuada manualmente. Por exemplo, através da mensuração regular dos parâmetros de funcionamento dos equipamentos pelo pessoal da manutenção, pode-se ter uma visão generalista sobre a saúde do equipamento. Na deterioração do seu estado, no desencadeamento das condições que dele dependem, o pessoal de manutenção pode ou não intervir, retornando o equipamento ao seu estado de funcionamento normal.

Por exemplo, num cenário consistindo de um processo cujo sistema mede a quantidade de ruído produzido por um determinado motor e em que um nível de ruído mais elevado aponta para a necessidade de substituição desse motor, numa estratégia de manutenção condicionada, a equipa de manutenção saberá exatamente quando substituir esse motor devido a essa mensuração. Efetivamente, no momento em que o ruído atingir um nível estipulado, o motor deverá ser substituído (Upkeep, 2020).

A monitorização de condições procura, assim, mudanças drásticas no estado de um parâmetro específico do equipamento (como vibrações em um sistema) que podem ser indicativas de uma falha.

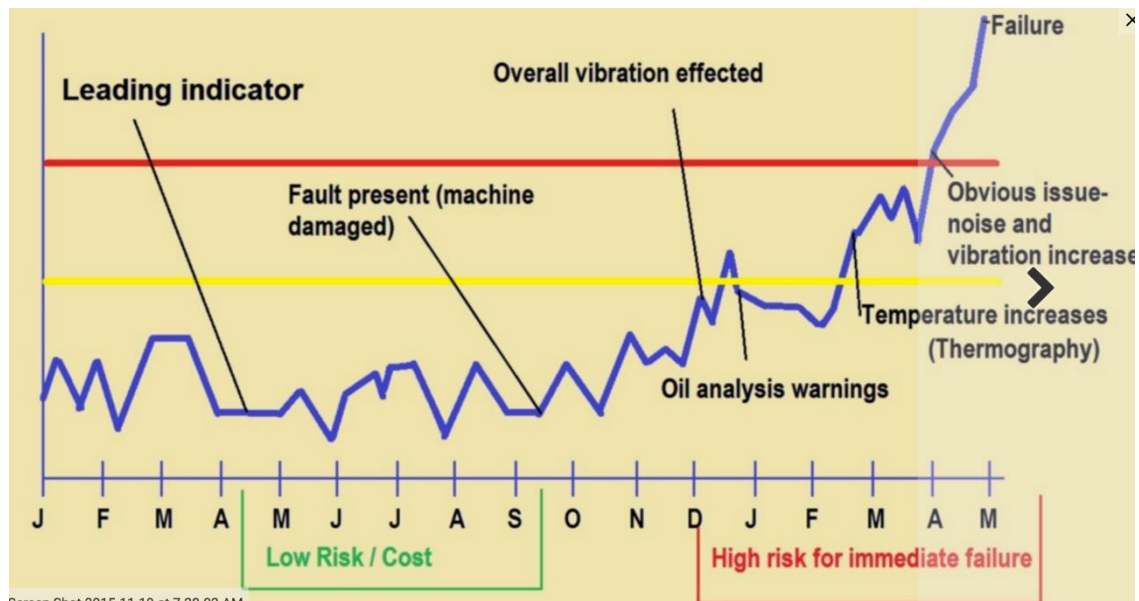


Figura 4 – Exemplo de análise de dados para estratégia de manutenção baseada nas condições

Deste modo, o estado dos componentes do equipamento são avaliados com o intuito de tirar conclusões sobre a necessidade ou não de intervenções de manutenção e, nesse caso, em que momento devem ser feitas as ações de manutenção para evitar falhas ou consequências (Figura 4). Consequentemente, as atividades de manutenção são executadas somente quando são necessárias (Garbe, 2019), ou mesmo antes da necessidade emergir. Por outras palavras, o objetivo da manutenção condicionada envolve desenvolver um plano de manutenção adequado acionável antes de qualquer falha prevista. Assim, através do conjunto de medidas consequentes desta estratégia de manutenção, espera-se uma minimização dos custos paralelamente a uma melhoria da segurança operacional e a uma redução da gravidade e quantidade de falhas no sistema de serviço (Kiangala and Wang, 2018).

De facto, isto diminui o tempo de inatividade resultante de falhas das máquinas. Com CBM, não há a existência de tempo de inatividade não planeado, uma vez que a intervenção de manutenção ocorre num ponto pré-definido, evitando a falha da máquina (Upkeep, 2020)

Esta estratégia de manutenção é particularmente útil em equipamentos críticos para o processo produtivo, ou para equipamentos de elevado valor comercial, uma vez que quaisquer otimizações de custos e recursos na manutenção dos mesmos resultarão num impacto mais benéfico para a organização (TDGI, 2018).

Alguns exemplos de intervenções de manutenção condicionada incluem (Garbe, 2020):

- troca de óleo devido à análise de partícula;
- troca de rolamentos devido a altas vibrações;
- troca de correia de transporte porque é avaliada como desgastada durante a atividade de inspeção.

As atividades desencadeadas pelo resultado de inspeções podem ser preventivas ou corretivas. Em termos gerais, é manutenção condicionada se algo estiver desgastado ou necessitar de ser trocado para evitar avarias.

Efetivamente, manutenção condicionada segue os mesmos padrões de funcionamento que as luzes de aviso de qualquer veículo. Por exemplo, a luz do óleo não acende quando o seu reservatório do veículo já se encontra vazio. Alternativamente, o veículo mede o conteúdo de óleo e, quando despoleta uma condição (o depósito encontra-se 20% cheio), informa o condutor que precisa de trocar ou reabastecer o óleo, permitindo-lhe tomar uma decisão informada para manter o seu veículo.

O mesmo cenário pode ser aplicado em ambientes de produção. Se uma máquina produz uma certa quantidade de calor em condições normais, mas aquece rapidamente na existência de um problema de energia, uma câmara termográfica pode detetar a mudança de calor e o sistema pode atuar apropriadamente (Upkeep, 2020).

A norma ISO 13381-1: 2004 enumera os seguintes passos para a manutenção condicionada (Kiangala *and* Wang, 2018):

- monitorização - deteção de problemas e/ou desvios do estado de funcionamento normal
- diagnóstico - identificação e descrição das falhas e as suas causas
- previsão - prognóstico de progressão futura de falhas
- ações posteriores - recomendação de ações de manutenção e *post mortem*, caso existente.

Uma manutenção efetiva com base nas condições permite (Kiangala *and* Wang, 2018; TDGI, 2018):

- Reduzir ações de manutenção corretiva, relacionadas com falhas catastróficas;
- Aumentar o tempo de vida da máquina;
- Reduzir os custos de manutenção com trocas desnecessárias de consumíveis e intervenções desnecessárias;
- Priorizar as intervenções de manutenção a efetuar tendo em conta o tempo disponível;
- Reduzir os custos com o armazenamento excessivo de *spare-parts*.

A implementação de manutenção condicionada pode parecer demasiado dispendiosa tendo em conta os seus benefícios limitados. Porém, numa organização com equipamentos críticos, a aplicação de uma estratégia de CBM bem implementada, garante a redução ou mesmo eliminação do tempo de inatividade não programado, resultando, portanto, em menores custos de manutenção, comprovando a sua eficácia em termos financeiros (Upkeep, 2020).

Tabela 6 - Exemplos de algumas técnicas de aquisição de dados para Manutenção Condicionada

Técnica	Descrição
Inspeção Visual	<p>A inspeção visual foi o primeiro método usado para manutenção condicionada. Desde o início da Revolução Industrial, os técnicos de manutenção realizam rotinas de inspeção nos sistemas críticos de produção, na tentativa de identificar possíveis falhas ou problemas relacionados à manutenção que possam afetar a produtividade e os custos de produção. A inspeção visual ainda é uma ferramenta de manutenção condicionada viável e deve ser incluída em qualquer programa de gestão de manutenção. (Mobley, 2002)</p>
Análise de vibrações	<p>A monitorização de vibrações é considerada como uma ferramenta primária de manutenção condicionada (Mobley, 2002), já que todos equipamentos mecânicos em movimento geram um perfil de vibração, ou assinatura, que reflete sua condição operacional (Kiangala <i>and</i> Wang, 2018; Mobley, 2002).</p> <p>Todas as possíveis anomalias de um equipamento rotativo apresentam comportamentos vibratórios característicos. Anomalias como desequilíbrios, desalinhamentos, folgas, avarias em rolamentos, entre outros, têm um padrão vibratório entre si que é detetável com o auxílio de um analisador de vibrações (Kiangala <i>and</i> Wang, 2018). Um aumento nas vibrações é prejudicial à saúde da máquina. Este resulta em falha inesperada da máquina e disponibilidade reduzida.</p> <p>Com o registo periódico dos níveis globais (severidade da vibração) é possível acompanhar o desenvolvimento de uma falha que originará uma futura avaria, conseguindo-se intervir de forma programada no momento mais conveniente à paragem de uma instalação. (TDGI, 2018)</p>

Tabela 7 - Exemplos de algumas técnicas de aquisição de dados para Manutenção Condicionada (continuação)

Técnica	Descrição
Análise termográfica	<p>A termografia é um método de análise da condição com uma vasta gama de aplicações. Avaliação de instalações mecânicas, elétricas, industriais e de edifícios são o algumas das áreas nas quais a termografia é uma ferramenta essencial no que à manutenção diz respeito (TDGI, 2018).</p> <p>Uma das aplicações mais comuns da termografia é a inspeção de instalações elétricas, permitindo de uma forma expedita e não intrusiva detetar, entre outras anomalias, desequilíbrios entre fases, sobrecargas, equipamentos defeituosos, desapertos ou ligações defeituosas. Esta análise permite evitar ações preventivas de reaperto e a realização de medições elétricas exaustivas para a deteção de anomalias.</p> <p>No caso da análise de sistemas mecânicos é possível detetar desalinhamentos, problemas em correias, lubrificação incorreta, problemas em rolamentos e outros tipos de anomalias. Por norma, os defeitos em equipamentos mecânicos são detetáveis pela termografia numa fase avançada da avaria, quando a mesma já apresenta uma alteração do comportamento térmico do componente. Para uma deteção mais atempada da anomalia deverão ser utilizadas outras tecnologias de análise e diagnóstico.</p>
Inspeção por ultrassons	<p>30% de todo ar comprimido produzido no setor industrial é desperdiçado (TDGI, 2018). Embora seja impossível de eliminar totalmente as fugas de instalação, existem diversas soluções que permitem a análise de anomalias.</p> <p>De entre essas soluções inclui-se a inspeção por ultrassons. Equipamentos de inspeção de ultrassons convertem os sons de frequências inaudíveis pelo ouvido humano para sons de frequência detetável, podendo, assim, fornecer informações sobre o funcionamento dos equipamentos sob escrutínio.</p> <p>De facto, este método é particularmente útil em válvulas e purgadores, evitando-se uma intervenção intrusiva na avaliação da sua performance. Adicionalmente, este tipo de inspeção permite avaliar o grau de lubrificação dos componentes mecânicos.</p> <p>Assim, a deteção de fugas por ultrassons representa uma alternativa viável para reduzir significativamente o consumo energético de uma instalação.</p>

2.3.2.1 *Manutenção Preditiva*

Segundo a norma EN 13306:2010, a manutenção preditiva é definida como uma estratégia baseada na condição do equipamento, realizada seguindo uma previsão derivada de análises repetidas ou características conhecidas, e avaliação dos parâmetros significativos da degradação do item (EN 13306:2010).

A maioria das falhas não acontecem instantaneamente - normalmente estão associadas a algum sintoma ou processo de degradação. Por isso, o estado dos componentes dos equipamentos deve ser estudado e previsto durante o processo de degradação, possibilitando o planeamento das ações de manutenção necessárias para evitar a falha (*breakdown*) (Kiangala and Wang, 2018).

Idealmente, deverão ser utilizadas tecnologias de monitorização da condição complementares, permitindo obter o máximo de informação possível sobre o estado de um dado equipamento (TDGI, 2018).

Manutenção preditiva tem, portanto, uma base estatística. Através da informação gerada pelas paragens, podem-se desenvolver modelos estatísticos capazes de prever próximas falhas, permitindo desenvolver melhores planos de manutenção preventiva (Kiangala and Wang, 2018; Mobley, 2002).

A estratégia de manutenção preditiva possui várias vantagens sobre as estratégias de manutenção anteriores (Mourinho *et al.*, 2018):

- Redução de custos de manutenção em 50%;
- Redução de falhas inesperadas em 55%;
- Redução do tempo de reparo e revisão em 60%;
- Redução do estoque de peças de reposição em 30%;
- Aumento do tempo médio entre falhas (MTBF) em 30%;
- Aumento de 30% no tempo de atividade do equipamento.

Esta estratégia também tem alguns custos associados ao custo de mão-de-obra qualificada e formação dos colaboradores para o melhor proveito da estratégia de manutenção, e aquisição de equipamentos necessários para aquisição de dados que lhe é implícita nesta estratégia de manutenção, pelo que nem todos os equipamentos deverão estar incluídos nesta análise (TDGI, 2018).

Dados os atuais desenvolvimentos tecnológicos, é agora possível a execução de modelos preditivos mais avançados. De facto, treinando-se estes modelos sobre o conjunto de parâmetros em estudo, é possível implementar algoritmos que auxiliem a tomada de decisão.

Através da previsão dos momentos de falha, as intervenções são somente executadas quando necessárias antes da falha do equipamento, evitando quebras potencialmente catastróficas e interrupções desnecessárias da produção.

2.4 Indicadores de desempenho

A contínua medição do desempenho de uma organização é fundamental para o seu desenvolvimento. Os indicadores-chave de performance - KPI (Key Performance Indicators) são definidos como métricas quantificáveis e estratégicas que refletem os fatores críticos de uma organização (ISO 22400-2:2014). Um KPI permite, então, a mensuração do desempenho de uma organização, de acordo com os seus objetivos internos, sendo tanto mais úteis quanto a sua capacidade de identificar tendências em relação a esses objetivos (ISO 22400-1:2014). Com efeito, um indicador pode variar desde os que medem a eficácia das ações empregues ao longo de todo o processo, individualmente ou enquanto conjunto, aos que calculam as diferenças entre previsões e os resultados operacionais, capacitando, assim, as empresas, com conhecimentos acionáveis sobre a sua operação (Ferreira, 1998).

A análise contínua dos KPI é, então, crítica para o bom funcionamento da organização, possibilitando a redução de desperdícios ou alcançar outros objetivos estratégicos pré-definidos (ISO22400-2:2014). Em termos gerais, o uso de KPI na gestão de operações capacita as empresas das ferramentas de melhorar os seus processos de criação de valor (ISO 22400-1:2014).

Um indicador pode, ainda, ser o produto de vários aspetos ou fatores, sendo, essencialmente, capaz de gerar um valor quantificável indicativo do nível de desempenho (Aditya e Kumar, 2006). Estes indicadores permitem ainda a comparação cruzada de dados advindos de diversas fontes, quer externas ou internas (Ferreira, 1998).

Os valores alcançados pelos KPI são fundamentais para o processo de tomada de decisão, uma vez que permite a identificação de problemas e a consequente realização de ações corretivas ou de melhoria (Kikolski, 2020; Ferreira, 1998; Wireman, 2004). A introdução de KPI no processo de produção visa, portanto, fornecer suporte aos gestores e permitir uma análise rápida, fácil e transparente sobre o estado geral de todos os processos de produção envolvidos (Kikolski, 2020). Com efeito, o uso adequado do output dos KPI (Anexo 6.1) contribuem ativamente para uma gestão mais eficaz dos recursos da organização (Wireman, 2004).

Podem-se, inclusivamente, definir certos limites com o intuito da gestão automática dos indicadores. Estes limites ramificam-se em duas vertentes: limites de aviso e limites de ação. Limites de aviso constituem aqueles que emitem alertas aquando da deteção de tendências positivas ou negativos no processo e equipamentos antes que os objetivos específicos da organização sejam postos em causa (ISO22400-2:2014). Um limite de ação, por outro lado, indica o ponto em que o processo ou equipamentos estão no ponto crítico, comprometendo o seu bom funcionamento.

Outra questão a considerar é o facto destes indicadores de desempenho serem um ponto de referência para os funcionários, refletindo o processo atual, ao mesmo tempo que estruturam, as regras de colaboração necessárias para atingir os objetivos definidos, de forma clara e aceitável para todas as partes (Kikolski, 2020).

Por outras palavras, é essencial que, sendo uma ferramenta para transmissão de informação sobre o desempenho do seu trabalho (Amaral, 2016), que todos os membros envolvidos entendam os indicadores, e que os seus alvos são descritos ao nível da equipa, quando apropriado e onde faz sentido (Garbe, 2019). Para tal, é necessário que sejam de simples compreensão e claros, ainda que complexos na sua estruturação, devendo-se evitar a redundância e contradição entre o conjunto de indicadores (Amaral, 2016).

Outro pré-requisito consiste na fiabilidade dos dados recolhidos. Um indicador de performance serve para perceber o desempenho da organização ao longo do tempo através da recolha de dados sobre a eficiência do processo. Assim, o benchmarking de indicadores depende dos dados existentes - todos os indicadores devem ter dados válidos e apropriados, o que significa que todas as perdas na produção são medidas e codificadas corretamente (Garbe, 2020), e ser específicos a certas áreas de possível atuação. Objetivamente, para garantir a recolha e a mensuração dos dados, é necessário que os KPI sejam definidos com objetivos claros e com o intuito de, na existência de desvios negativos nos mesmos, agir em conformidade (Amaral, 2016).

2.4.1 Indicadores de desempenho da Manutenção

Os indicadores de desempenho da manutenção medem o resultado das atividades de manutenção, com o intuito da alocação de recursos para manter um ativo num estado cujo desempenho se enquadre com o desejado para a sua função.

Atualmente, a manutenção faz parte da cadeia de valor de qualquer processo e, portanto, a sua consideração é crítica para o desenvolvimento de qualquer organização, de modo a permanecer competitiva. Contudo, para tal o sistema de medição de desempenho necessita de estar alinhado com a estratégia organizacional (Aditya e Kumar, 2006).

Maintenance Performance Indicators (MPI) - os KPI relativos à área da manutenção - refletem a *performance* dos esforços de manutenção. Como tudo relativamente à manutenção, é necessário estruturar os MPI de acordo com as entradas e saídas do processo. Uma projeção ótima dos MPI, permite uma alocação e controle de recursos otimizada, bem como a identificação automática das áreas problemáticas, contribuição para manutenção, *benchmarking*, desempenho do pessoal e contribuição os objetivos gerais da organização (Aditya e Kumar, 2006).

De facto, um fator a ter em atenção na seleção de MPI, é o foco nas necessidades e expectativas do utilizador de acordo com o output das operações de manutenção, não restringindo os meios disponíveis que vão ao encontro a essas necessidades e expectativas. (ISO 22400-1:2014).

Com efeito, uma das principais prioridades na gestão da manutenção é garantir a máxima disponibilidade operacional dos equipamentos a que está associada, mantendo a operação segura e eficiente. Assim, conforme supracitado, é necessário que todos os membros envolvidos compreendam o uso dos indicadores e como é que estes são

calculados, capacitando-os para determinarem, com maior precisão, qual a altura mais provável para a falha de um dado ativo crítico.

Com base no conhecimento gerado pelos indicadores, podem-se desenvolver melhores estratégias de gestão de ativos e melhorar os processos atuais. De facto, espera-se que as organizações sejam capazes de delinear planos de manutenção com base no desempenho disposto pelos indicadores, reduzindo a frequência de ações de manutenção corretiva em favor de ações de manutenção preventiva (preditiva), cuja alteração de paradigma poderá ser um fator diferenciador, estimulando o crescimento da organização (Limble CMMS, 2020).

ISO 22400 entrega à Manutenção os seguintes KPIs:

- Mean time to repair - O tempo médio de reparação (MTTR) indica o tempo médio desde o momento que uma determinada máquina falha até ao momento que esta resume a sua operação.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempo de reparação}}{\text{N}^\circ \text{ total de reparações nesse período}} \quad (1)$$

- Mean time between failures - O tempo médio de operação entre falhas (MTBF) é a medida de tempo médio entre duas falhas consecutivas, incluindo, portanto, o tempo de reparação (TR) e o tempo de operação do equipamento (TTF) (Figura 5).

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tempo útil de funcionamento}}{\text{N}^\circ \text{ total de falhas nesse período}} \quad (2)$$

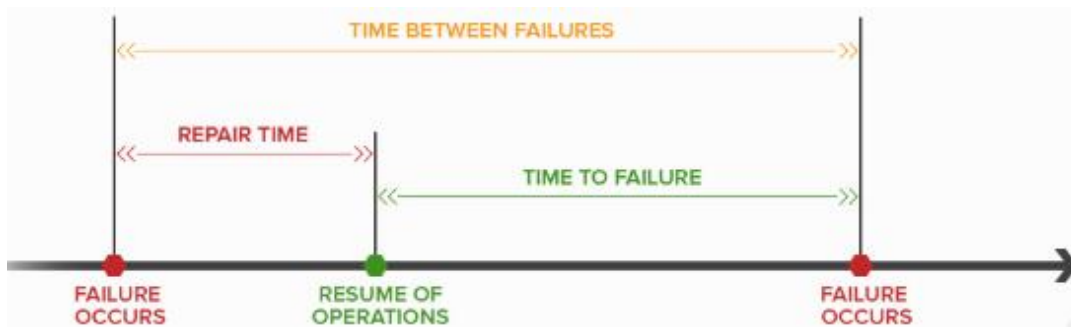


Figura 5 - Mean Time between Failures

- Mean time to failure - O tempo médio até à falha (MTTF) indica o tempo médio desde o momento de conclusão de uma falha até ao momento da próxima. É, portanto, o tempo médio de atividade de uma máquina. O MTTF e o MTBF diferem no seguinte: o MTTF é referente a componentes que não são reparados, ou seja, tem de ser substituídos após a falha; o MTBF é referente a componentes que podem ser reparados, de forma a poderem continuar a fazer a sua função.
- Corrective maintenance ratio - O rácio de manutenção corretiva consiste no indicador que avalia a magnitude das tarefas corretivas. Para tal, calcula-se a

proporção entre o tempo gasto em tarefas de manutenção corretivas e o tempo gasto em tarefas de manutenção geral.

$$\text{Rácio de manutenção corretiva} = \frac{\sum \text{Tempo gasto em manutenção corretiva}}{\sum \text{Tempo gasto em manutenção}} \quad (3)$$

Na organização onde a presente dissertação é desenvolvida, o departamento de Manutenção segue o seguinte conjunto de KPIs que estão divididos em três categorias: Técnica, Económica e Organizacional.

Category	Description	Formula	Unit	Area of measurement	Frequency
Technical	Operational availability	OEE / Efficiency / Utilization Index	%	To be measured on critical machines/lines	Daily/Weekly
	Availability related to maintenance	$\frac{\text{Running Time}}{\text{Running Time} + \text{Downtime due to maintenance}^*}$	%	To be measured on critical machines/lines	Monthly
	Mean Time To Restoration (MTTR)	$\frac{\text{Total Time for corrective maintenance}}{\text{Number of breakdowns}}$	Hours	To be measured on critical machines/lines	Monthly
	Mean Time Between Failures (MTBF)	$\frac{\text{Running Time}}{\text{Number of breakdowns}}$	Hours	To be measured on critical machines/lines	Monthly
Economical	Direct maintenance cost in relation to output	$\frac{\text{Direct maintenance cost}}{\text{Output}}$	Euro / m ³	To be measured per line for critical machines	Monthly
	Direct maintenance cost in relation to COGS	$\frac{\text{Total maintenance cost}}{\text{Production transformation cost}}$	%	To be measured per unit	Yearly
	Direct maintenance cost in relation to availability	$\frac{\text{Availability related to maintenance}}{\text{Direct maintenance cost}}$	% / Euro	To be measured on critical machines/lines	Monthly
	Total maintenance cost in relation to total asset value	$\frac{\text{Total maintenance cost}}{\text{Assets replacement value}}$	%	To be measured on unit level	Yearly
	Spare part turnover	$\frac{\text{Total purchase cost of spare parts}}{\text{Average WHS stock value during period}}$	%	To be measured on unit level	Yearly
Organizational	Ratio of preventive maintenance	$\frac{\text{Man-hours used for preventive maintenance}}{\text{Total man-hours available}}$	%	To be measured for the unit	Monthly
	Adherence to plan	$\frac{\text{Number of work orders performed as scheduled}}{\text{Total number of work orders scheduled}}$	%	To be measured for the unit	Weekly
	Quality of work (TBO)	$\frac{\text{Number of works reworked}}{\text{Total number of works performed}}$	%	To be measured for the unit	Monthly

*Both preventive and corrective maintenance is included

Figura 6 - MPI da IKEA Industry Portugal

2.4.2 Overall Efficiency Equipment (OEE)

OEE é uma métrica desenvolvida por Nakajima (1988) que permite um cálculo da eficiência atual de um sistema produtivo, dando uma imagem global do equipamento.

A análise deste indicador, mostra o potencial de melhoria dentro do equipamento (Albano *et al.*, 2018). Pode também ser utilizado para medir impactos de melhorias ou alterações implementadas nos equipamentos (Santos, 2018).

O OEE é determinado com base nas três seguintes métricas:

- *Availability* - Disponibilidade - Percentagem de tempo em que a máquina está disponível para produção;
- *Performance* - Desempenho - Comparação entre a desempenho efetivo, isto é, produção real, e o desempenho ideal (produção teórica máxima);
- *Quality* - Qualidade - Percentagem de unidades produzidas dentro das especificações de qualidade.

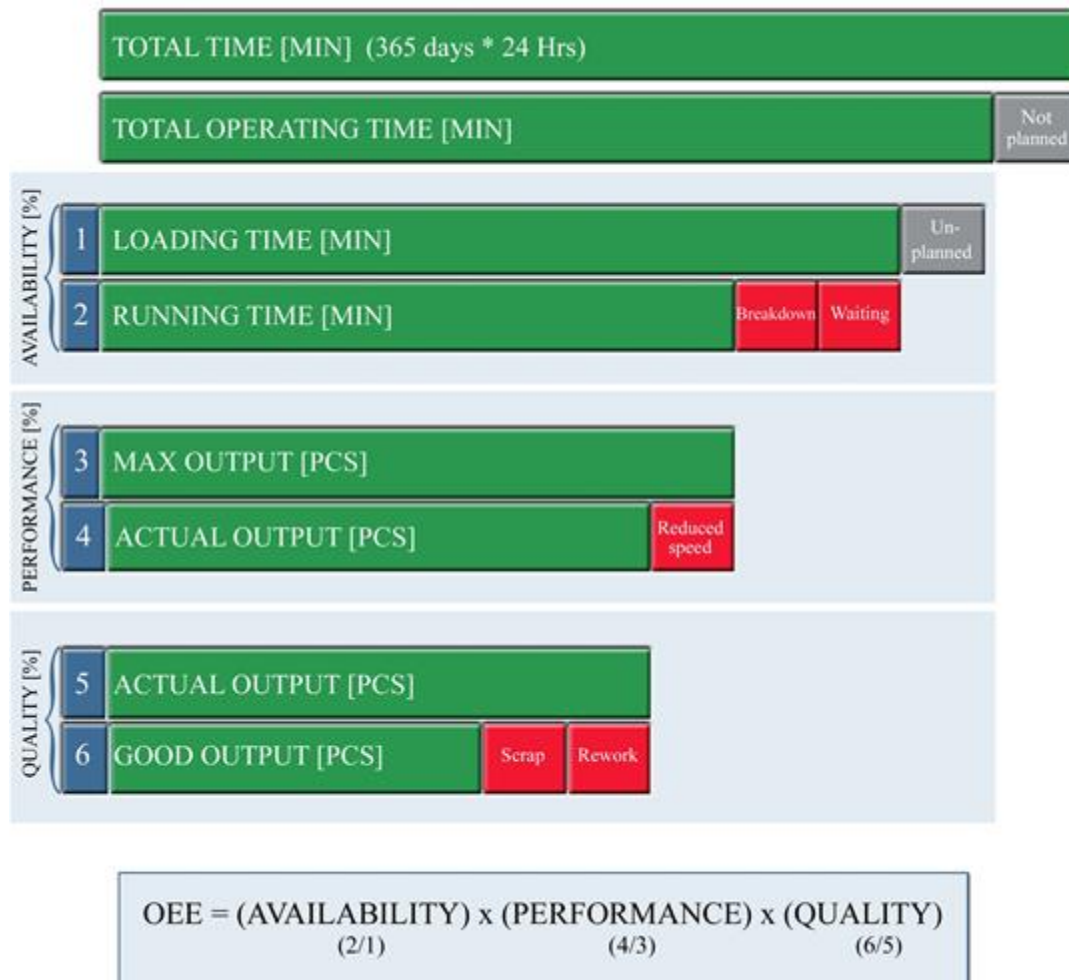


Figura 7- OEE segundo a IKEA Industry

Um dos principais objetivos do seguimento contínuo do OEE é reduzir e/ou eliminar o que é chamado de Seis Grandes Perdas (identificadas na Figura 7) - as causas mais comuns de perda de produtividade (OEE, 2020).

Tabela 8 - Perdas de produtividade. Adaptado de (OEE, 2020).

Fator OEE	Perdas	Descrição
Perdas de Disponibilidade	Falha de equipamento (<i>breakdown</i>)	Paragens não planeadas ou tempo de inatividade devido a falhas. O equipamento não produz devido a problemas técnicos.
	Setup e Ajustes (<i>Waiting time</i>)	Período de tempo em que o equipamento está programado para produção, mas não está em execução devido a uma troca ou outro ajuste do equipamento. Exemplos: configuração, trocas, ajustes principais e ajustes de ferramentas.
Perda de Desempenho	Pequenas e micro-paragens	Tempo em que o equipamento para por um curto período de tempo (normalmente um ou dois minutos) em que o problema é resolvido pelo operador. Exemplos: atolamentos de material, fluxo de produto obstruído, configurações incorretas, sensores desalinhados ou bloqueados, etc.
	Velocidade reduzida (<i>Reduced Speed</i>)	Tempo em que o equipamento é mais lento que o tempo ideal do ciclo (o tempo teórico mais rápido possível para fabricar uma peça). Exemplos de razões comuns para velocidade reduzida: falta de limpeza do equipamento, falta de lubrificação, inexperiência do operador, etc.
Perda de Qualidade	Defeitos do processo (<i>Rework&Scrap</i>)	Peças defeituosas produzidas durante a produção. Exemplos de razões para defeitos: configurações incorretas do equipamento, erros de operador ou do equipamento.
	Rendimento do processo	Peças defeituosas produzidas desde o início da produção até que a produção estável seja alcançada. Exemplos de razões comuns para o rendimento: <i>setups</i> , configurações incorretas quando uma nova peça é executada ou equipamento que precisa de ciclos de aquecimento ou que cria inevitavelmente desperdício após a inicialização.

DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da Empresa – IKEA *Industry* Portugal

3.2 Caracterização do problema

3.3 Grupo da cola

3.4 Grupo de aplicação de cola – Vaso da cola

3.5 Propostas de soluções

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da Empresa – IKEA *Industry* Portugal

A IKEA *Industry* Portugal, ilustrada na Figura 8, encontra-se localizada em Paços de Ferreira, apresenta instalações com cerca de 200 000 m² e, atualmente, conta com cerca de 1500 colaboradores. A localização desta fábrica é um ponto estratégico para a exportação de mobiliário para três grandes mercados: Europa (inclusive Portugal), Ásia-Pacífico e América do Norte. É um fornecedor exclusivo da IKEA e produz móveis essencialmente mobiliário de quarto, cozinha, escritório e sala.



Figura 8 - IKEA *Industry* Portugal

Neste momento, quanto ao sector de negócio, a IKEA *Industry* Portugal faz parte da divisão Flat Line (método de produção de móveis com uma estrutura leve e muito resistente). A empresa encontra-se subdividida fisicamente em duas fábricas: Pigment Furniture Factory (PFF) e Board on Frame (BOF). A fábrica PFF está dedicada à produção de mobiliário para cozinha enquanto a fábrica BOF está dedicada à produção de mobiliário para quarto, escritório e sala. Consequentemente, esta última engloba dois fluxos de produção, que diferem pelo tipo de materiais utilizados nos componentes de mobiliário e também nos processos de pintura. Estes setores denominam-se por *Foil* e *Lacquer&Print* (LP). Na Figura 9 pode-se observar a forma como a unidade fabril está organizada.



Figura 9 - Organização da unidade fabril

3.1.1 Fábrica Board on Frame (BOF)

Tal como foi referido na secção anterior, a fábrica BOF encontra-se seccionada em dois fluxos de produção. A grande diferença entre estes dois fluxos insere-se no acabamento que é dado à peça.

No caso da *Foil* é aplicada uma película de papel no produto semi-acabado e no fluxo L&P a peça é pintada com a cor pretendida para o móvel: branco, preto, castanho, entre outros.

Apesar da diferenciação entre as linhas de produção, o formato dos produtos em ambos os setores da fábrica BOF são quase idênticos. Tratam-se de produtos do tipo “sandwich” e correspondem a peças de mobiliário de sala, escritório ou quarto (estantes, mesas de escritório, entre outros). Relativamente ao mobiliário da L&P, a sua construção tem como base a formação de uma estrutura retangular fechada, denominada por *frame*.

No caso da *Foil*, tem como base duas camadas de *High Density Fiber* - HDF separadas por ripas de madeira (em que o material utilizado é *Medium Density Fiber* - MDF ou aglomerado de madeira). De seguida, ambas as estruturas são preenchidas com cartão “favo de mel” (*Honeycomb*), para reforçar a sua consistência.

Após este processo, o material é sujeito à aplicação de orla, de papel ou tinta (outro aspeto que diferencia os setores referidos), furação e envernizamento, caso faça parte do procedimento de acabamento da peça. Este tipo de produtos proporciona ao consumidor uma relação preço/qualidade bastante competitiva e, ao mesmo tempo, apresentam um design moderno. Na Figura 10 encontram-se representados exemplos de produtos da BOF.

Como o presente trabalho foi desenvolvido no fluxo LP, nesta secção é abordada uma breve descrição desse setor. Por outro lado, são considerados alguns aspetos importantes no conceito de produção da fábrica, são apresentados os tipos de produtos

fabricados e o respetivo *layout* do fluxo. Por fim, é descrita cada área que constitui o setor.



Figura 10 - Exemplos de produtos da fábrica BOF

3.1.1.1 *Layout geral da fábrica L&P*

A Figura 11 apresenta o *layout* do fluxo Laquer&Print. Este é composto por cinco áreas de produção distintas: Cutting, Frames&Coldpress, EdgeBand&Drill, Laquering e Packing.

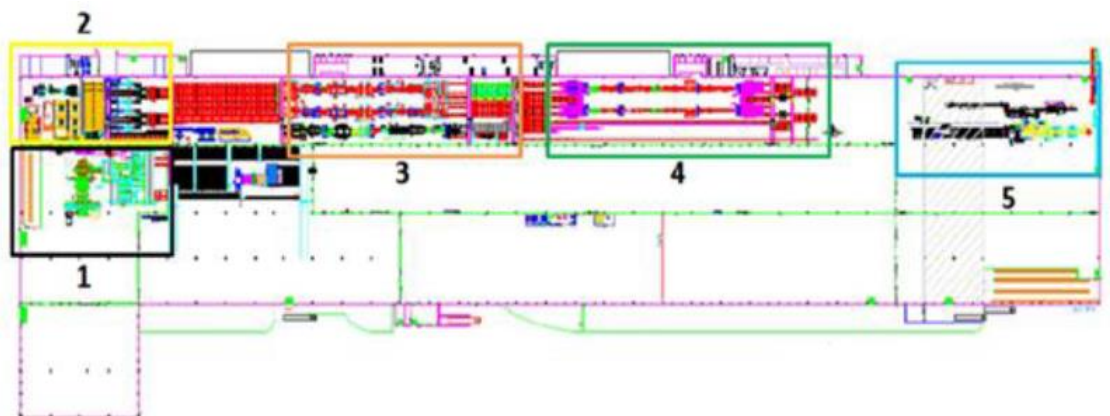


Figura 11 - *Layout* de fluxo da fábrica Lacquer&Print (L&P)

Legenda:

- 1- Cutting;
- 2- Frames&ColdPress;
- 3- EdgeBand&Drill;

4- Lacquering;

5- Packing;

Cada uma das áreas é liderada por um Supervisor (responsável de área), e a mão-de-obra de cada área está dividida por equipas de modo assegurar a rotatividade dos grupos. A atividade e interação entre as diferentes áreas de produção são apresentadas nas subsecções seguintes:

- **CUTTING**: A área *Cutting* corresponde à primeira etapa do sistema produtivo e é a área responsável pelo corte da madeira de forma a se obterem placas de *High Density Fiber* (HDF), *Medium Density Fiber* (MDF), Aglomerado ou *chipboard* e melamina, fornecendo material para os dois fluxos da fábrica (LP e *Foil*). O corte das placas é realizado com recurso a um programa de otimização permitindo a obtenção das placas com as dimensões especificadas e minimizando o desperdício. Os diferentes tipos de material estão associados a fluxos diferentes, sendo que os produtos de MDF e *chipboard* são enviados à área de *Frames*, o HDF à área de *Coldpress* (CP) e a melamina à área *EdgeBand&Drill*;
- **FRAMES&COLDPRESS**: A montagem da estrutura dos produtos BOF é realizada na área *Frames&Coldpress*. O processo inicia-se nesta área pelo corte de ripas de MDF ou *chipboard*, fornecidos pela área *Cutting*, em ripas de dimensões específicas e em cubos. O passo seguinte consiste na montagem da estrutura, fazendo a união das ripas e cubos através da colagem dos componentes na área dos *Frames*. A estrutura montada é posteriormente preenchida com papel *honeycomb* e são-lhe depois coladas duas placas de HDF, sendo a peça por fim prensada para garantir a colagem (área CP);
- **EDGE BAND&DRILL**: A área *EdgeBand&Drill* é constituída por três linhas de produção e é a área responsável pela aplicação de orla com a cor pretendida e furação das peças BOF fornecidas pela área *Frames&Coldpress*. Para além do processamento dos elementos BOF, é realizada nesta área a aplicação de orla e a furação de peças de melamina fornecidas diretamente pelo *Cutting*. Devido a este facto, uma das linhas da área está inteiramente dedicada ao processamento de peças em melamina, enquanto as restantes duas linhas se dedicam exclusivamente à orlagem e furação de elementos BOF;
- **LACQUERING**: A área do *Lacquering* compreende duas linhas de pintura para os elementos BOF. Os produtos de melamina não passam pelo processo de pintura uma vez que são já fornecidos com a cor pretendida. Por ser a área que antecede o embalamento dos produtos, no final de cada linha é realizada a inspeção visual para controlo de qualidade das peças;
- **PACKING**: No *Packing* procede-se ao embalamento dos componentes de cada produto, filmados em plástico, ou em caixas de cartão. A área é constituída por seis linhas de embalamento: duas destinam-se ao embalamento de produtos *Foil* em cartão, outras duas estão dedicadas ao embalamento de produtos LP em cartão e mais duas destinam-se tanto a produtos LP como *Foil*, que embalam em plástico, seguindo as especificações técnicas IKEA. Assim, os diferentes

componentes do produto (tampos, fundos, laterais, entre outros) são colocados nas caixas de cartão ou filmado em plástico (prateleiras), juntamente com os fittings (ferramentas e ferragens para realizar a montagem do móvel) e as instruções de montagem;

- **WAREHOUSE:** Apesar de não fazer diretamente parte do processo produtivo, o *Warehouse* é o local onde todos os produtos embalados da fábrica BOF são armazenados e de onde são, posteriormente, expedidos para o cliente final – as lojas IKEA.

O apresentado foi apenas o fluxo LP. O fluxo *Foil* também contém uma área *Edegeband* com 3 linhas de produção. A presente tese foi desenvolvida numa linha *Edgeband* com o intuito que se for obtido bons resultados, o projeto poderia ser replicado para as restantes linhas (6 no total).

As 6 linhas de produção que constituem as áreas de produção *EdgeBand&Drill L&P* e *Foil* são identificadas da seguinte forma:

Tabela 9 - Identificação das linhas EdgeBand&Drill

Edgband&Drill	Identificação das Linhas	Fabricante da Linha	
		Homag	Biesse
L&P	L1	x	
	L2	x	
	L3		x
<i>Foil</i>	L1		x
	L2	x	
	L3		x

3.1.2 Indicadores de desempenho IKEA *Industry*

De forma a analisar o desempenho das suas linhas de produção, a IKEA *Industry* Portugal, definiu um conjunto de indicadores (*Key Performance Indicators – KPI*) que devem ser seguidos de forma rigorosa, de forma a atingir os objetivos propostos pela empresa. Alguns exemplos de KPI são sucata (em número de peças), absentismo, disponibilidade, segregação (peças retrabalhadas), performance (quantidade de peças) e eficiência.

Atendendo ao conjunto de indicadores, a empresa considera como principais KPI: Desempenho (*Performance*), Disponibilidade (*Availability*) e Eficiência (*Efficiency*).

A Eficiência é definida pela seguinte expressão:

$$\text{Eficiência} = \text{Desempenho} \times \text{Disponibilidade} \quad (4)$$

Onde,

$$\text{Desempenho (Performance)} = \frac{\text{Número de peças produzidas}}{\text{Número máximo de peças previstas}} \quad (5)$$

e,

$$\text{Disponibilidade (Availability)} = \frac{\text{Tempo real de produção}}{\text{Tempo previsto para a produção}} \quad (6)$$

Uma linha de produção está dimensionada para produzir um determinado número de peças num determinado intervalo de tempo. Porém, se esta não estiver nas condições desejadas, a disponibilidade e desempenho poderão ser afetados pelas ocorrências de avarias que tem como consequência um volume de tempo de paragens não programadas.

3.2 Caracterização do problema

3.2.1 Análise dos indicadores de desempenho e das ocorrências de avarias

Por sugestão da empresa, a presente tese foi desenvolvida na área que orla e fura, a EdgeBand&Drill, uma vez que é uma área onde se encontra equipamentos críticos para o fluxo e existem dados com boa qualidade para ser iniciado o estudo. Outra vantagem em desenvolver o projeto na área EdgBand&Drill baseia-se na quantidade de equipamentos e linhas de produção iguais na restante fábrica, possibilitando assim a replicação do projeto noutras linhas/equipamentos.

Neste sub-capítulo é apresentado a descrição da área escolhida para o desenvolvimento do trabalho, a EdgeBand&Drill, pertencente ao fluxo Laquer&Print, juntamente com uma apresentação dos valores de desempenho medidos entre janeiro de 2018 e fevereiro de 2020 para a seleção da linha para o projeto. De seguida é realizado um levantamento da situação da linha selecionada, descrevendo-se análise de indicadores, o seu funcionamento e problemas associados.

3.2.1.1 Análise dos principais indicadores das linhas EdgeBand&Drill

Foram analisados os indicadores Eficiência, Performance e Disponibilidade das 6 linhas que constituem as linhas EdgeBand LP e *Foil* dos anos 2018, 2019 e início do ano 2020 janeiro e fevereiro.

Os KPI relativos à EdgeBand LP (Figura 12) mostram que as linhas com Eficiência mais baixa é a Linha 3 (L3) e a Linha 1 (L1). Os dados de 2020 da Linha 3 (EdgeB&Drill Biesse) mostram um aumento considerável na disponibilidade. Esse aumento é consequência de todo o investimento em manutenção preventiva que a linha recebeu no durante o mês de agosto de 2019 até aos dias de hoje.

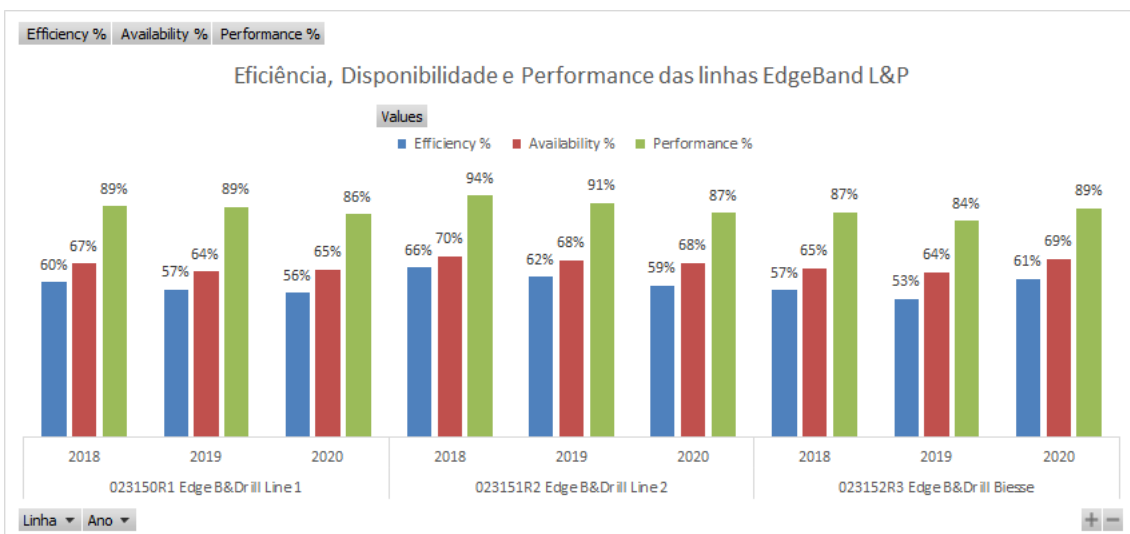


Figura 12 - KPI das linhas EdgeBand do fluxo LP

Os dados da L1 referentes a 2020 mostram uma tendência de retrocesso em comparação com os outros anos.

No caso das linhas *Foil*, analisando os indicadores Disponibilidade, Performance e Eficiência (Figura 13) conclui-se que o problema é na Performance. O objetivo deste projeto é aumentar a disponibilidade das linhas Edgeband&Drill como consequência da diminuição dos tempos de paragem por avarias.

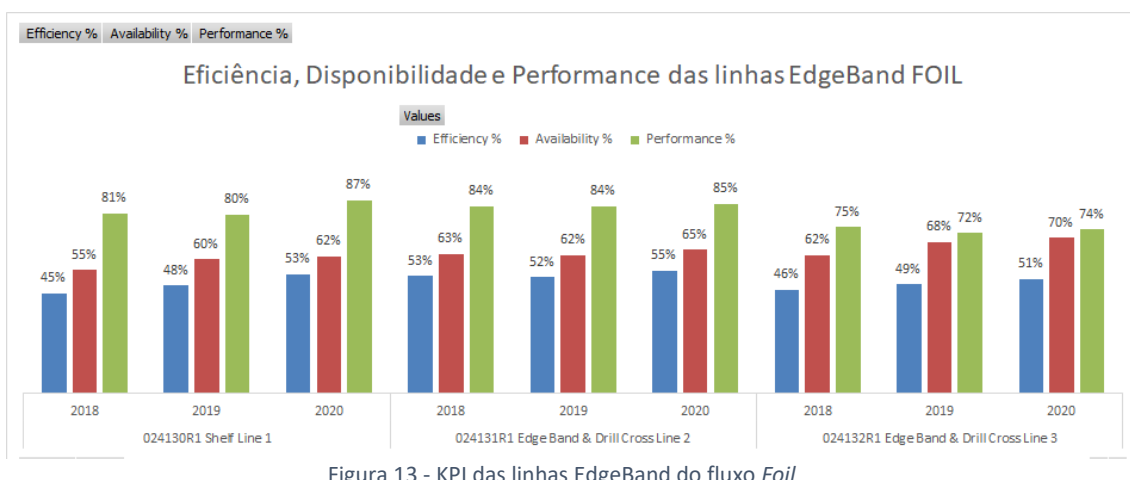


Figura 13 - KPI das linhas EdgeBand do fluxo *Foil*

Concluindo, embora os níveis de eficiência da EBD *FOIL* tenham mais margem de evolução que a EDB LP, o grande problema da EBD *FOIL* é Performance e o objetivo deste projeto é aumentar a disponibilidade das linhas. Outro argumento em ter em consideração, é que as linhas EBD LP têm uma taxa de ocupação maior que as da *Foil*, logo, qualquer melhoria nos indicadores, será uma mais-valia.

3.2.1.2 Análise da ocorrência de avarias por máquina ocorridas entre janeiro de 2018 e fevereiro de 2020

Como mencionado anteriormente, o fluxo de produção *Foil* também contém uma área de produção *Edgband&Drill* bastante similar, pelo que a maior parte dos equipamentos são iguais aos da *Edgband&Drill LP*.

De forma a aumentar a amostragem das avarias para o estudo, foram analisadas todas as avarias registadas no parque de máquinas das áreas de produção *EdgeBand&Drill LP* e *Foil* dentro do período janeiro de 2018 a fevereiro de 2020.

Das 68 máquinas analisadas, concluiu-se que as linhas de produção com as máquinas que mais avarias tem registadas são, também, as que mais tempo de inatividade tiveram.

Na Figura 14, podem-se encontrar o número de avarias e o somatório do tempo de inatividade do conjunto de máquinas cujas avarias representam cerca de 80% das avarias durante o período em estudo.

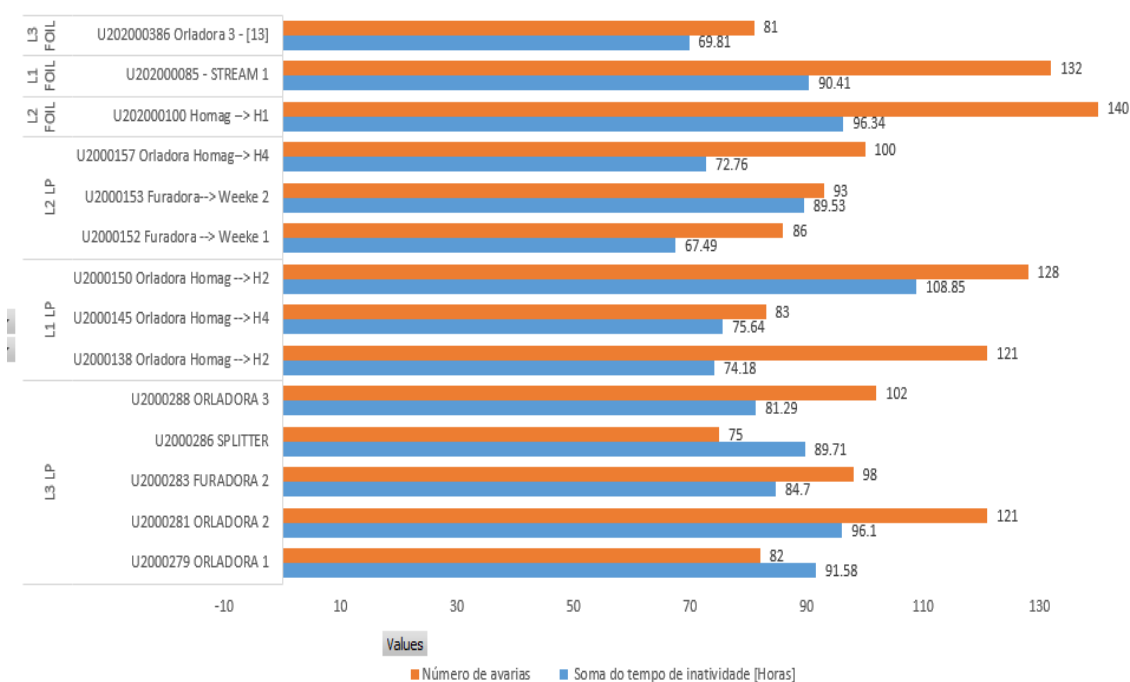


Figura 14 - Número de avarias e somatório do tempo de inatividade das máquinas representativas de 80% de todas as avarias nas áreas *EdgeBand&Drill*

De entre este conjunto, destacam-se as máquinas inseridas no fluxo LP. De facto, em termos absolutos, pode-se observar que as linhas com máquinas com maior número de avarias e volume de horas de inatividade correspondem às linhas do fluxo LP, comprovando-se a necessidade de estudar as avarias nas máquinas da área *EdgeBand&Drill* deste fluxo.

3.2.1.3 Análise das avarias ocorridas por família de máquinas

Cada um dos registos de avarias (3429 no total) é associado a uma máquina. Como as linhas de produção são iguais entre si (diferem no fabricante), as máquinas foram categorizadas por famílias com o propósito de tentar identificar uma família de máquinas que tenha uma pior performance.

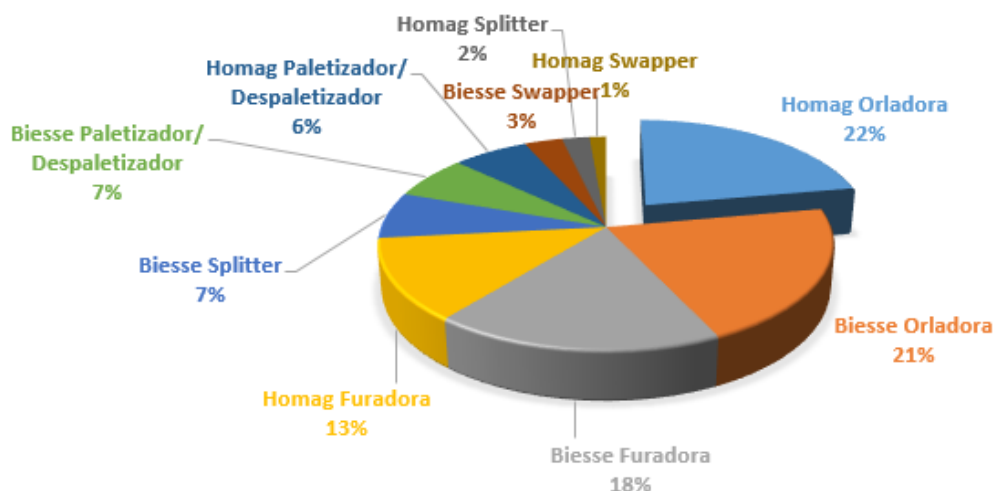


Figura 15 - Percentagem de tempo de inatividade por família de máquina

Da Figura 15, verifica-se que família com mais avarias e mais tempo de inatividade é a família das orladoras da fabricante Homag, ou seja, as orladoras da L1 LP, L2 LP e L2 FOIL. Com efeito, conforme ilustrado na Figura 14, pode-se observar que, durante o período de observação de dados, ocorreram um total de 751 avarias, resultando num tempo de inatividade total de 588 horas.

Analisando as orladoras (Figura 16) de forma a perceber a quais são as sub-ótimas, e a que linha pertencem, conclui-se que as máquinas da L1 LP e L2 LP são as que necessitam de mais atenção.

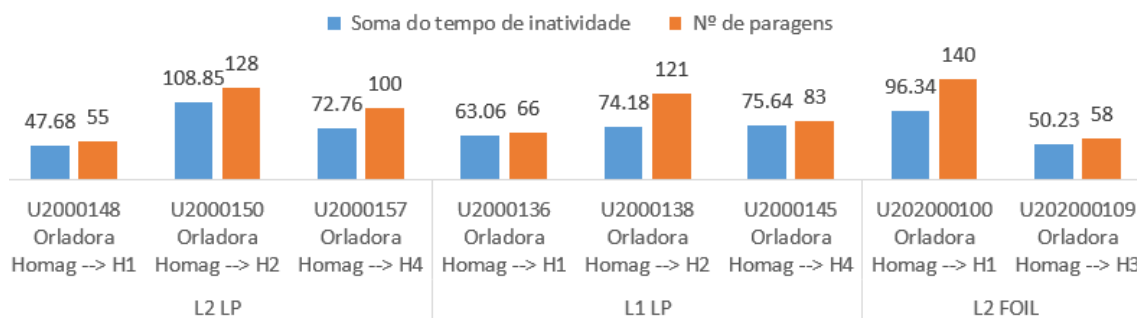


Figura 16 – Tempo de inatividade e número de paragens das orladoras

Tendo em conta a análise exploratória apresentada, confirma-se a necessidade de um estudo das avarias das Orladoras Homag, mais concretamente das do Fluxo *Lacquer&Print*.

3.2.2 Descrição do funcionamento da linha piloto

Tal como foi referido na subsecção 3.1.1.1, a EdgeBand&Drill, é a área responsável pela colocação de orla e furação nas peças BOF e melamina, criando orifícios para os parafusos a serem inseridos na montagem do produto pelo cliente final. Na Figura 17 apresenta-se o layout da área, juntamente com a representação dos postos de trabalho de cada linha e a área abrangida pelas suas atividades

O processamento nesta área tem um grau de automatização bastante elevado, não existindo qualquer intervenção humana no fluxo de produção regular ao longo das linhas. A linha transporta as peças unidirecionalmente em tapetes de rolos automáticos, desde a sua entrada na linha até à saída, e através de todas as máquinas nelas existentes, onde sofrem as transformações necessárias.

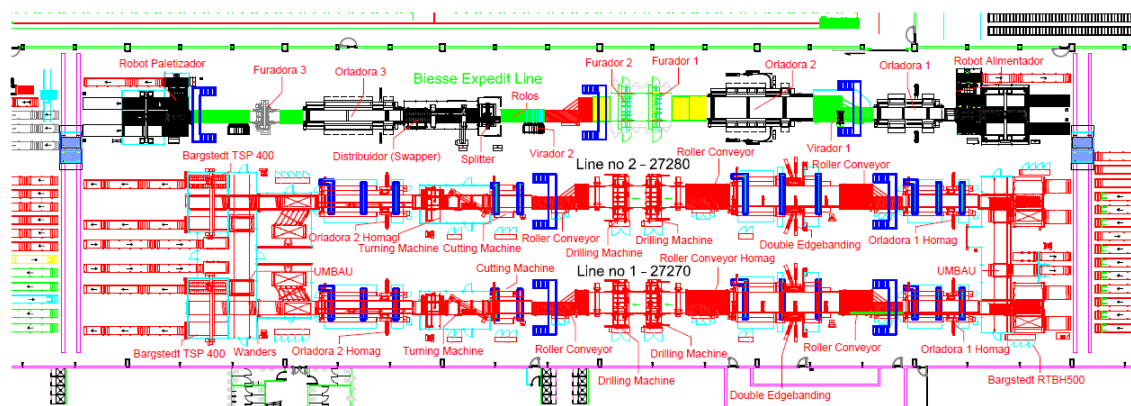


Figura 17 - Layout das linhas e máquinas da área EdgeBand&Drill L&P

Na Figura 17 é possível observar o *layout* da linha 1 com a identificação das máquinas que a constituem e a direção do fluxo de materiais.

A linha homag são constituídas por oito máquinas: Robot de Entrada (Robot despaletizador), Orladora 1, Orladora 2, Furadora, Splitter, Swapper, Orladora 3 e Robot de Saída. Segue-se a explicação do funcionamento da linha, máquina a máquina.

O Robot de Entrada (despaletizador) (Figura 18) localiza-se no início da linha fornecendo-lhe as peças necessárias à produção. Este é constituído por dois tapetes de rolos (1) (*conveyors*) de carga de paletes (em ambos os lados, direito e esquerdo).



Figura 18 – Robot paletizador Homag

No centro existe um braço automatizado equipado com ventosas (Figura 19), que retira as peças dos conveyors de carga de paletes e as coloca no *conveyor* central da linha, para as peças serem encaminhadas para a Orladora 1.



Figura 19 – Braço de ventosas

As orladoras (1, 2 e 3) são máquinas idênticas (Figura 20), cuja função é aparar os excessos dimensionais dos *frames* e colocar orla nas faces laterais das peças. Estas são constituídas por seis unidades: corte, colocação de cola e orla, *groove*, pré-fresagem, fresagem fina e limpeza final. A unidade de corte tem como objetivo formatar a peça em ambos os lados (em comprimento); a unidade de colocação de cola e orla, tal como o nome indica, aplica cola e orla num ou em ambos os lados da peça e a unidade de *groove* é utilizada só para peças que levem um encaixe e nas quais é feito um corte (rasgo) na parte inferior ou superior. As unidades de pré-fresagem, fresagem e limpeza servem para retirar o excedente da orla e dar o acabamento final à peça. As orladoras 2 e 3 diferem da orladora 1 por terem mais uma unidade de acabamento, denominada multiperfil. As orladoras, dependendo do número de faces orladas da peça ao longo da linha, podem encontrar-se em modo de transporte (a orladora está desativada e as peças passam simplesmente pelas guias), de formatação (só as unidades de fresagem e limpeza estão ativadas) e de formatação e orlagem (todas as unidades estão ativas).



Figura 20 - Orladora Homag

A Furadora (Figura 21) tem como função furar as peças na lateral, na parte superior e inferior. Esta está dividida em duas furadoras consecutivas, chamadas Weeke 1 e Weeke 2 e ambas realizam furação na lateral e furação superior e inferior. Cada Weeke é constituída por brocas que modificam a peça em diâmetro e profundidade, as quais estão acopladas aos cabeços (Figura 22) que ditam o local da colocação das brocas.

Tanto as brocas como os cabeços são removíveis.



Figura 21 - Furadora Homag

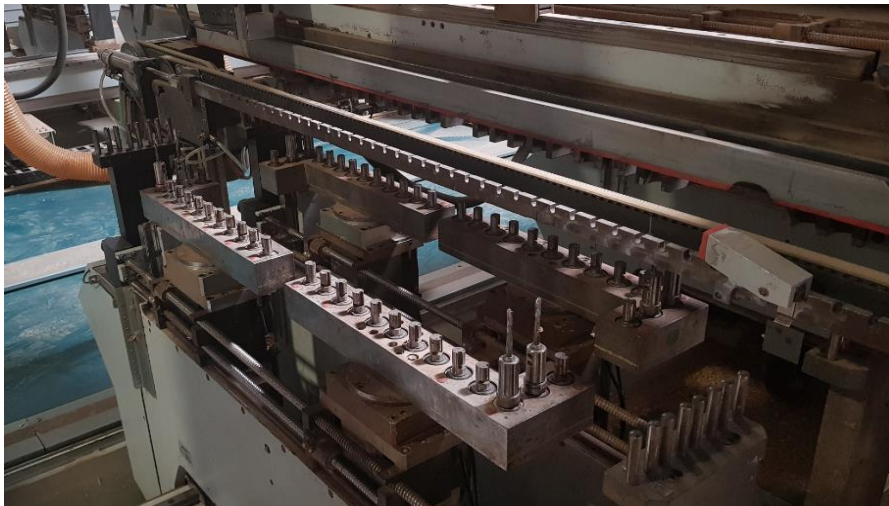


Figura 22 - Cabeços de furação

A Splitter (Figura 23) é uma máquina com quatro serras (1) que corta as peças ao meio, tornando uma peça em duas.

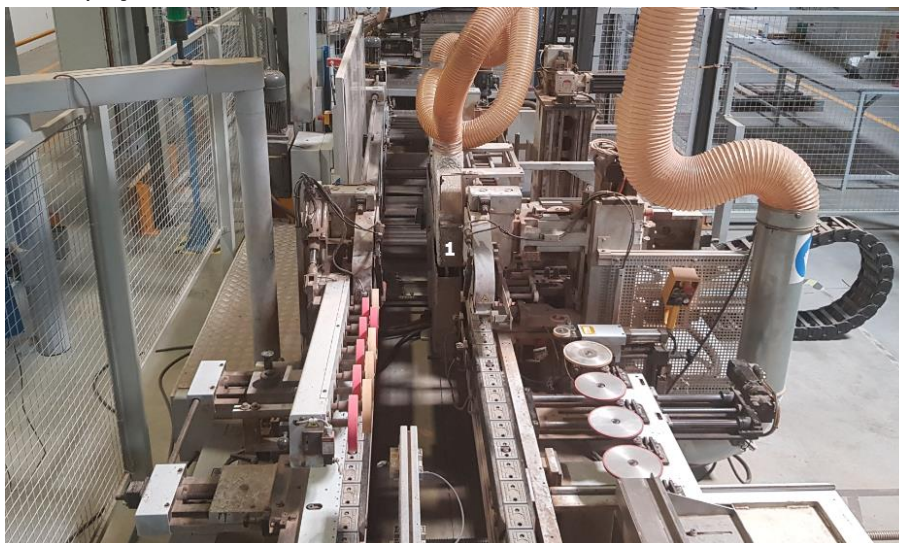


Figura 23 - Splitter

A Swapper (Figura 24) encontra-se logo a seguir à Splitter e, com um sistema de ventosas (1), troca as peças de posição de modo a que as faces anteriormente serradas possam ser orladas.



Figura 24 - Swapper

O Robot de Saída (Despaletizador) efetua a operação inversa do RBO de Entrada, ou seja, retira as peças e coloca-as em palete nos seus dois conveyors. Ao longo da linha estão também colocados três cones viradores, que têm como função rodar as peças 90° na horizontal. Esta rotação é efetuada para que seja possível orlar todos os lados das peças, se necessário. Na Figura 25 é ilustrado um dos três cones (1).



Figura 25 - Virador

3.2.3 Descrição dos dados relativos a avarias ocorridas nas Orlandoras Homag nos grupos da cola

Dos 3429 registos de avarias estudados, 751 são relativas a orlandoras Homag. Decidiu-se estudar as avarias associadas ao grupo de aplicação de cola, já que correspondem a 20% das 751 avarias, correspondendo a 36% do tempo de inatividade das linhas (Tabela 10).

Tabela 10 - Impacto das avarias dos grupos de aplicação de cola nas linhas

	Taxa de avaria relativas a cola	Horas de paragem por avarias relativas a cola
L1 LP	70/270	62.61/212.88
	26%	29%
L2 LP	55/283	52.98/229.29
	19%	23%
L2 Foil	26/198	23.24/146.57
	13%	16%
Total	20%	36%

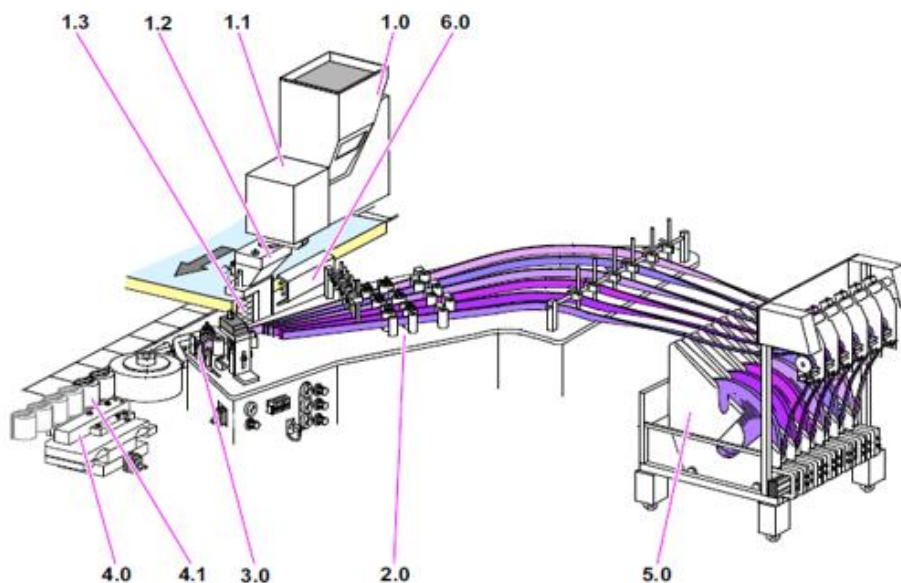
3.3 Grupo da cola

No presente subcapítulo é descrito o modo de funcionamento do grupo da cola e os seus constituintes, bem como um estudo dos registos de avarias. Desta forma o objetivo é identificar componentes críticos do grupo para iniciar o *brainstorm* para a implementação.

3.3.1 Constituintes e funcionamento do grupo da cola

O grupo da cola faz parte do grupo de colagem (Figura 26). No grupo de colagem, a cola fundida na câmara de fusão 1.1 (Figura 26). passa para o grupo de aplicação de cola 1.2 e 1.3 (Figura 26) e é aplicada na aresta da peça.

Em simultâneo, acontece o transporte da orla até à aresta da peça. Como a cola é aplicada na peça a orla é comprimida contra a peça, ficando assim colada.



1.0	Reservatório de granulados
1.1	Câmara de fusão
1.2	Reservatório de cola
1.3	Rolo de cola
2.0	Alimentação de orlas
3.0	Dispositivo de separação de rolos
4.0	Zona de pressão
4.1	Rolos de pressão posteriores
5.0	Carregador de rolos
6.0	+/- Pré-aquecimento da peça

Figura 26 - Grupo de colagem das Orlandoras Homag

O grupo da cola é constituído por duas unidades (Figura 27):

- Unidade de fusão (normalmente chamado de pré-fusor) serve para derreter e dosear granulados de cola que é transportada para o rolo de aplicação de cola que o aplica no canto do painel.

O granulados de cola que se encontra no depósito 1.1, cai para dentro da câmara 2.1. O êmbolo 2.2 empurra o granulados para dentro da câmara de fusão 2.3. O granulados é fundido na câmara de fusão 2.3 e passa para a unidade de aplicação de cola 3.0.

- Unidade de aplicação de cola (normalmente chamado de vaso da cola) é responsável pela aplicação da cola nas laterais dos painéis. A cola fundida corre para o depósito de cola 3.1, até que seja alcançado o nível teórico da cola 3.2. O rolo de aplicação de cola 4.0 aquecido e rotativo é constantemente alimentado com cola. A sonda do nível da cola 3.3 controla o nível de cola no depósito da cola 3.1 e aciona um novo processo na unidade de fusão, sempre que necessário. Os veios doseadores, normalmente denominados de Gates, 4.1 / 4.2 (Figura 28) abrem até sair a quantidade desejada de cola.

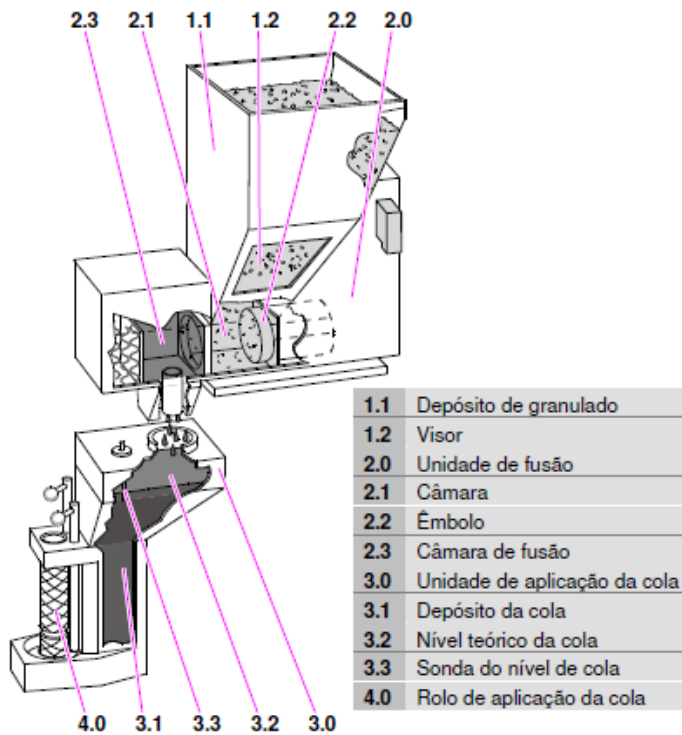


Figura 27 - Unidade de aplicação de cola

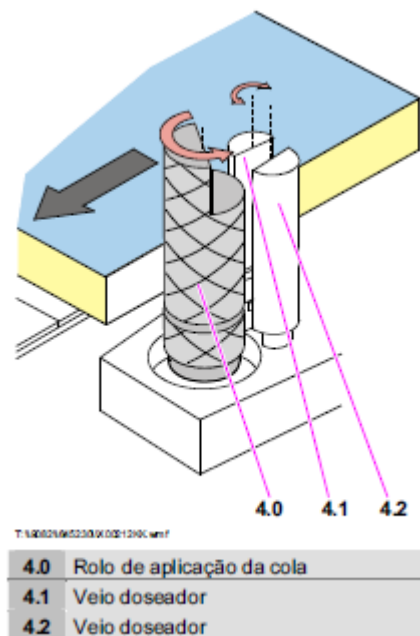


Figura 28 - modo de doseamento de cola aplicada - gates

3.3.2 Estudo das avarias

Sobre o impacto das avarias dos grupos de aplicação de cola, apresentada anteriormente (Tabela 10), conclui-se que 151 das 751 avarias registadas nas orladoras, aconteceram em componentes do grupo da cola. As avarias em questão foram catalogadas tendo em conta o sintoma apresentado, de forma a conseguir concluir qual o componente responsável pela maior fonte de avarias e tempo de inatividade (Tabela 11).

Tabela 11 – Origem das avarias no grupo da cola

Tipo de avaria	Número de avarias	Somatório do tempo de inatividade
Vaso da cola para	72	75.61
Cuba	24	21.57
Vaso da cola com problema elétrico	20	14.7
Vaso da cola sujo/ desgastado	13	11.17
Pré-fusor	9	7.58
outros	6	3.1
Vaso da cola solto	5	4.05
Fugas de ar	2	1.05
	151	138.83

Conclui-se que avarias nos vasos da cola correspondem a 73% do número de avarias e 76% do tempo de inatividade.

Assim sendo, o estudo das avarias foi orientado para os vasos da cola com o objetivo de conseguir entender quais as causas para as avarias e aferir possíveis ações e soluções que permitam a redução do número de avarias e tempo de inatividade.

3.4 Grupo de aplicação de cola – Vaso da cola

Conforme supracitado, a maior parte das avarias do grupo da cola acontecem nos vasos.

Cada orladora tem instalado dois vasos, um no lado esquerdo e um no lado direito, (Figura 29) de forma a aplicar orla de ambos os lados do painel.

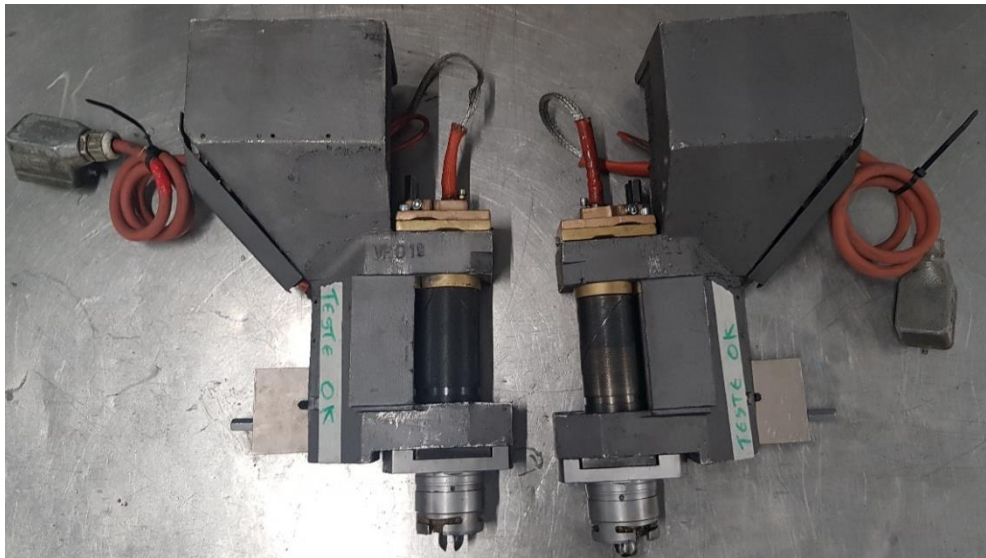


Figura 29 - Vaso da cola direito e vaso da cola esquerdo

De modo a confirmar a informação disponível nos registos internos e encontrar as principais causas de *breakdown* nos vasos da cola, foi efetuado um diagrama de Ishikawa (Figura 30) com os *inputs* recolhidos nas várias entrevistas conduzidas a vários intervenientes, desde técnicos de manutenção e operadores ao fornecedor responsável pela reparação dos vasos.

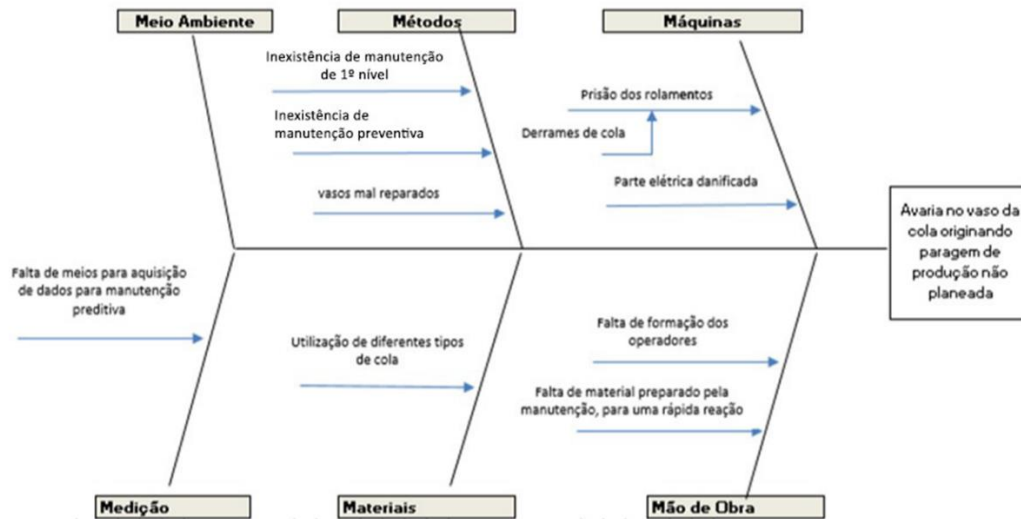


Figura 30 - Diagrama de Ishikawa "Ávaria no vaso da cola originando paragem de produção não planeada"

Na secção seguinte são apresentadas as principais causas de avarias nos vasos da cola resultantes das entrevistas realizadas.

3.4.1 Principais causas para avarias nos vasos da cola

1. Parte elétrica danificada

De acordo com a Tabela 11, e confirmado pelo grupo entrevistado, é comum acontecerem avarias no grupo elétrico do vaso da cola (constituído por resistências de aquecimento e pela sonda de medição de temperatura).

As resistências de aquecimento convertem energia elétrica em calor, mantendo assim a cola na condição de fusão necessária para sua aplicação no painel. Caso a temperatura a que o vaso se encontra não seja a pré-definida, é necessária a troca do vaso para posterior substituição das resistências.

O mau funcionamento da sonda de temperatura inibe a comunicação da temperatura real do vaso à orladora, dando origem a um erro que impede a operação da orladora.

2. Vasos mal reparados

Para a reparação dos vasos da cola, a IKEA Industry contrata uma empresa externa especializada em reparação e manutenção de máquinas e equipamentos de aplicação de cola, fornecendo, no entanto, os spare-parts necessários.

No entanto, por vezes, acontece a falha de vasos reparados, no momento da sua instalação na linha de produção devido ao estado sub-ótimo do vaso. Este tipo de falhas, além de aumentar o número de paragens não planeadas, aumenta o tempo de avaria, uma vez que o vaso substituto, por não estar na sua condição ótima, aumenta o tempo necessário para a conclusão da avaria.

3. Utilização de diferentes tipos de cola.

No fluxo L&P são utilizados dois diferentes tipos de cola durante o processo de orlagem, variando consoante o destino final do produto acabado. De facto, de modo a garantir a qualidade do produto final, deve-se ter em conta as diferentes características climáticas como a temperatura e humidade na cola a ser utilizada.

Ora, no presente caso, os vasos não são trocados aquando do setup para a produção, uma vez que aumenta radicalmente o tempo de setup. Esta inação resulta numa mistura de tipos de cola no interior de todo o grupo, causando sujidade e incrustações danificando, assim, o equipamento.

4. Falta de manutenção preventiva

Devido à inexistência de rotinas de manutenção de 1º nível ou de manutenção preventiva para limpar ou inspecionar o estado do grupo, a grande parte dos vasos da cola operam até atingir níveis de sujidade e desgaste impeditivos do bom funcionamento do equipamento.

Com efeito, a troca de um vaso é apenas efetuada caso aconteça uma avaria, ou caso a Produção ou Manutenção notem algum tipo de anomalia durante o processo produtivo.

5. Derrames de cola

Dá-se o nome de derrame de cola quando, por algum motivo, a cola no seu estado mais líquido começa a verter do vaso de forma não controlada. Dada a solidificação derivada do seu arrefecimento, surge a necessidade de se parar a produção para se limpar e substituir os componentes afetados. Nas Figura 31 e Figura 32 encontra-se explicito os possíveis danos resultantes de um derrame de cola.



Figura 31 - Motor afetado por derrame de cola



Figura 32 - Derrame de cola em estado sólido

As gates do vaso da cola (Figura 28) regulam a quantidade de cola que é aplicada no painel. Assim, são um elemento crítico para garantir a boa operação da linha. Com efeito, é mais comum acontecerem derrames quando existe um mau ajuste ou afinação das gates durante o processo de produção, ou se não forem fechadas quando não são necessárias.

Adicionalmente, se o corpo do vaso estiver danificado (Figura 34), as gates não conseguem fazer a sua função de controlar o caudal de cola vertida.

Outra causa para os derrames consiste na deficiente automação dos sistemas de fecho das gates. Isto implica, na eventualidade de paragem, o fecho manual das gates dos vasos por um operador para evitar o derrame.

6. Prisão dos rolamentos

O rolo de aplicação de cola é o componente que permite a aplicação de cola no painel.

Os rolamentos que se encontram nas extremidades do rolo são os componentes que permitem o movimento rotativo dos rolos. Assim, quando estes são danificados, o rolo é incapaz de cumprir o seu movimento de rotação.

7. Falta de formação dos operadores no que toca ao manuseamento dos vasos da cola

Embora não seja uma causa direta do breakdown, está na origem de certos problemas que aumentam a probabilidade de alguma falha acontecer. A falta de formação relativamente ao modo de limpeza dos vasos da cola, por exemplo, faz com que, quando necessária, não seja efetuada nas melhores condições, resultando, comumente, no dano de certos componentes durante esse processo, como demonstrado na Figura 33 e Figura 34.



Figura 33 - Corpo do vaso danificado

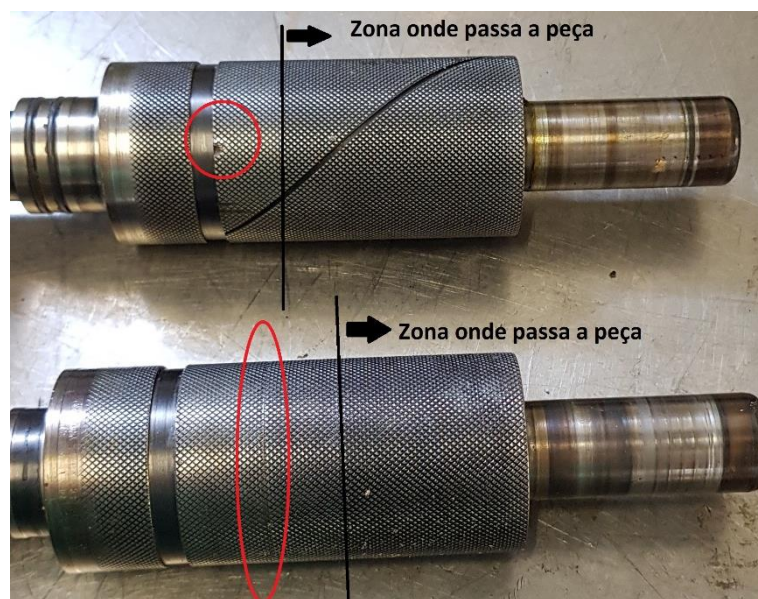


Figura 34 - Rolos aplicadores de cola danificados

3.4.2 KPI e custos associados a avarias de vasos da cola - Análise da situação atual

O presente projeto surgiu pela necessidade de melhorar a disponibilidade das orladoras e aumentar a eficiência dos recursos utilizados na manutenção dos vasos da cola. Com efeito, o custo final da reparação de um vaso pode atingir os 1700€ cujo custo médio mensal pode ascender a 5000€, em mão de obra.

A Tabela 12 apresenta o MTBF e o MTTR das linhas Homag do fluxo LP referente a avarias de vasos da cola. Conforme descrito previamente, quanto mais distante a orladora se situar do início do processo da linha de produção, menor é a probabilidade de ocorrerem avarias no grupo aplicação de cola, já que dependendo do número de faces orladas da peça ao longo da linha, as orladoras podem encontrar-se com o grupo de cola desativado.

Tabela 12 - MTBF e MTTR de 01-01-2019 a 29-02-2020

	MTBF [dias]	MTTR [min]
Linha 1 LP no Geral	15	52
Orladora 1 - L1 LP	30	51
Orladora 2 - L1 LP	48	50
Orladora 3 - L1 LP	76	61
Linha 2 LP no Geral	14	65
Orladora 1 - L2 LP	47	51
Orladora 2 - L2 LP	54	79
Orladora 3 - L2 LP	72	70

Na Tabela 13, podemos encontrar as referências de produto mais produzidas, juntamente com o número de peças produzidas por minuto e por hora (60 minutos) na linha EdgeBand.

Tabela 13 - Número de peças produzidas em 60 minutos

Referência	Número de peças produzidas por minuto	Número de peças produzidas em 60 minutos
S023KXEBPT01BB2	30	1800
S023KXEBPT01WH2	31	1860
S023KXEBS04WH2	22	1320

3.5 Propostas de soluções

Na presente secção, serão exploradas alternativas para combater os problemas expostos na secção anterior, dada a contextualização da empresa. Assim, a cada problema identificado, serão apresentadas propostas de melhoria referentes aos problemas identificados, de modo a aumentar a produtividade e a eficiência da linha sob escrutínio.

O objetivo é adotar uma estratégia de manutenção que permita:

- Aumentar o MTBF geral da linha;
- Diminuir MTTR geral das avarias;
- Uma gestão eficiente de recursos, tempo e custos.

Como mencionado anteriormente, foi estudado em pormenor os vasos da cola. Da tabela 9, foram identificadas três avarias frequentes nos vasos. Tendo em conta a informação exposta na secção 3.4.1, a cada tipo de avaria frequente foram as associadas as causas respetivas, conforme representado na Tabela 14. Deste modo, torna-se mais claro em que causas focar o estudo.

Tabela 14 – Principais causas para as avarias frequentes nos vasos da cola

		Principais razões para as avarias						
		1	2	3	4	5	6	7
Tipo de avaria	Vaso da cola para	x	x		x	x	x	x
	Vaso da cola com problema elétrico	x	x		x			
	Vaso da cola sujo/ desgastado			x	x	x	x	x

Em que:

- 1- Parte elétrica danificada;
- 2- Vasos mal reparados;
- 3- Utilização de diferentes tipos de cola;
- 4- Falta de manutenção preventiva;
- 5- Derrames de cola;
- 6- Prisão dos rolamentos;
- 7- Falta de formação dos operadores no que toca ao manuseamento dos vasos da cola.

Da Tabela 14 conclui-se que a razão mais comum para avarias nos vasos da cola é a falta de manutenção preventiva. Na próxima secção será apresentado um estudo sobre a possível implementação de uma estratégia de manutenção preventiva.

As restantes razões foram devidamente estudadas de forma a propor ações de melhoria. Na Tabela 15 encontra-se as ações tomadas para combater as principais causas e problemas relativos às avarias originadas pelos vasos.

Tabela 15 - Ações para combater principais causas para as avarias frequentes nos vasos da cola

Problema	Ações tomadas/Propostas de melhoria
Vaso mal reparados	<p>Problema relativamente fácil de resolver e ajuda no MTTR, porque a resolução da avaria será mais rápida. “Bem à primeira”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bancada de testes aquando da receção do material reparado; • Folha de verificação de parâmetros a seguir aquando da receção do material reparado; • Sensibilização da empresa subcontratada de forma a tomar medidas.
Falta de formação dos operadores no que toca ao manuseamento dos vasos da cola.	<p>Combatendo este problema, é provável:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Derrames deixem de acontecer de forma recorrente; • Componentes dos vasos deixem de ficar danificados a quando da limpeza; • Aumente espírito de responsabilidade para tomar o primeiro passo de entrar em contacto com a Manutenção de forma a ser planeada a troca do vaso. <p>Por isso é proposto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • realização de formações de manutenção 1º nível.
MTTR acima do ótimo	<p>De forma a diminuir o tempo necessário para a resolução da avaria, além do contacto que foi feito com a empresa subcontratada, a II também tomou a decisão de:</p> <p>Durante o último turno da semana é efetuada uma inspeção visual a todos os vasos da cola do fluxo. Caso algum apresente algum tipo de sujidade que possa impossibilitar o bom funcionamento do vaso, o supervisor de manutenção deixa informação para que durante o arranque de produção seja efetuada a troca.</p>

No decorrer do presente projeto, levou-se a cabo uma alteração estratégica de modo a reduzir a necessidade do uso de um tipo de cola, resolvendo o problema das duas colas.

Para a concretização das propostas de melhoria supramencionadas, estudou-se uma possível implementação das estratégias de manutenção preventiva (predeterminada) e manutenção condicionada.

3.5.1 Manutenção Preventiva

Através da implementação de uma estratégia de manutenção preventiva, assegura-se uma menor probabilidade de *breakdown* dos vasos, uma vez que estes seriam trocados antes do tempo de vida útil médio.

Porém, uma estratégia de manutenção preventiva predeterminada não é a mais indicada pelas seguintes razões:

- **Necessidade para aumento do stock de vasos** (esquerdos e direitos) de substituição para assegurar uma quantidade sustentável de vasos para garantir uma capacidade de reação a avarias em diferentes linhas.
- **Aumento do custo total de manutenção aos vasos.** Uma vez que esta estratégia implica um maior número de intervenções ao longo do tempo, também o custo com mão de obra e *spare-parts* aumentará.
- **Possibilidade de se intervir em algo que não necessite de intervenção.** O que resultaria num desperdício adicional de recursos, dinheiro e tempo.
- **A troca do vaso tem de ser efetuada em conjunto com a Produção** devido às afinações necessárias para o processo produtivo, resultando, portanto, numa menor disponibilidade da linha.

No entanto, a presente estratégia, apesar endereçar vários dos problemas identificados, é altamente dependente da componente humana para sinalizar a necessidade de troca do vaso. Assim, estudou-se uma estratégia de manutenção baseada na condição no âmbito de se otimizar a relação de rendimento e eficiência relativamente a recursos, *spare-parts*, trocas, entre outros fatores.

3.5.2 Manutenção Preventiva Baseada na Condição - Manutenção Condicionada

Uma estratégia de manutenção condicionada será capaz de identificar a degradação progressiva do vaso da cola e assim prevenir as paragens de produção.

Contudo, conforme explicitado anteriormente, a manutenção condicionada tem amplos custos de implementação.

- **Extração integrada de dados inexistente** - verificada a inexistência de uma fonte de dados interna, ou a opção de monitorizar a performance do sistema ao longo do tempo, pelo que não é possível de extrair um conjunto de dados fiável.
- **Implementação de uma infraestrutura de IoT.** A análise das vibrações seria a tecnologia que permite perceber se os rolamentos do rolo estariam a ficar danificados. No entanto:
 - IKEA *Industry* não possui, atualmente, o equipamento, pelo que seria necessário um investimento avultado;

- os sensores instalados necessitam de estar equipados para lidar com temperaturas elevadas, de modo a ler efetivamente os dados, uma vez que os vasos trabalham a 200 °C.

Do equipamento disponível atualmente, inclui-se um analisador de qualidade de potência e energia Fluke 435-II. Tendo em conta o equipamento disponível, conduziu-se uma experiência para responder à seguinte questão: “É possível determinar o estado do vaso da cola pela medição do consumo do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo?”.

A hipótese em causa consiste na diferença de performance de dois vasos de cola - um novo e um já com uso extensivo – medindo o consumo do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo ao longo de 7 dias. Esta mensuração permitirá comparar os relatórios a concluir quaisquer diferenças significativas nos dados.

O objetivo será perceber a exequibilidade de previsão de avarias no vaso da cola através de uma análise comportamental do motor. De facto, no caso da hipótese se confirmar, é possível desenvolver algoritmos em tornos destas capacidades preditivas para prever paragens independentes de intervenções de rotina.

Com efeito, através da monitorização do motor, pode-se planear a troca do vaso da cola em momentos oportunos (durante os horários de refeição, por exemplo), minimizando o tempo de inatividade e o tempo necessário para proceder à troca do vaso, uma vez que haverá uma maior disponibilidade para preparação.

Foi utilizado o analisador de qualidade de potência e energia Fluke 435-II (Figura 35) no motor responsável pelo movimento de rotação do rolo da cola (Figura 36).



Figura 35 - Analisador de qualidade de potência e energia Fluke 435-II



Figura 36 - Chapa de características do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo do vaso da cola.

A primeira recolha de dados aconteceu durante o dia 14-06-2020 até 22-06-2020 na máquina “U2000136 Orladora Homag --> H1” da linha do Fluxo L&P, do lado esquerdo. Este vaso tinha sido colocado na linha há menos de 24 horas.

Na Figura 37 encontra-se o gráfico representativo à análise da intensidade de corrente em Ampére (A) ao longo do tempo.

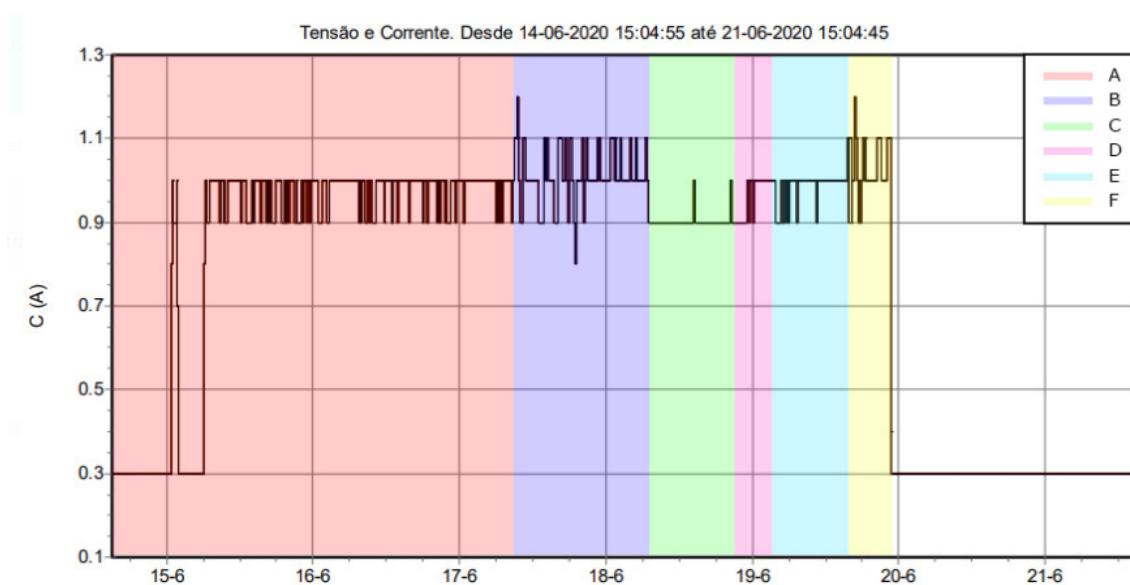


Figura 37 - Intensidade de corrente de 14-06-2020 a 22-06-2020

Conforme explícito, podem-se identificar dois momentos de maior corrente - correspondendo aos sinais B e F. Cruzando-se os dados com a referência da peça e respetivas dimensões, podemos observar que estes picos de corrente correspondem a peças de menor dimensão (Tabela 16).

A dimensão, porém, poderá não ser o fator causal da anomalia no comportamento da intensidade de corrente, embora possa estar correlacionado. De facto, foi também durante os momentos B e F que se produziram mais peças.

A Tabela 16 resume a produção efetuada durante o tempo em estudo, e dados relevantes sobre o produto a ser fabricado.

Tabela 16 - Resumo das referências produzidas e respetivos dados de 14-06-2020 a 22-06-2020

Data	Referência na Figura 37	Referência	Peças por minuto	Comprimento [mm]	Altura [mm]
Até às 06:10 de 17-6	A	S023MKEBTP03BB2	16	1048	30
09:00 de 17-6 até 07:00 de 18-6	B	S023KXEBPT01WH2	31	336	16
07:00 até 20:00 de 18-6	C	S023MKEBDR21WH2	22	564	16
20:00 de 18-6 até 02:30 de 19-6	D	S023MKEBDR21BB2	22	564	16
02:30 de 19-6 até 15:30 de 19-6	E	S023MKEBBP01WH2	28	669	16
15:30 até 23:00 de 19-6	F	S023KXEBPT01WH2	31	336	16

Durante os sete dias de aquisição de dados não houve qualquer avaria na máquina “U2000136 Orladora Homag --> H1” nem no vaso da cola. No entanto, analisando o consumo do motor e tendo em conta o plano de produção explicito na Tabela 16 verifica-se que o consumo do motor difere com o produto a ser fabricado. Em peças de dimensões mais pequenas, o consumo é maior. Ou seja, o consumo do motor é influenciado pelo comportamento do rolo da cola.

A segunda amostra de dados foi efetuada na máquina “U2000145 Orladora Homag --> H4” do lado esquerdo – vaso colocado na linha a 22 de junho de 2020, entre as 15h20 e as 02h15 de dia 2 de junho de 2020. Durante o tempo de recolha de dados foram produzidas duas referências (Tabela 17). Na Figura 38 encontra-se a análise da intensidade de corrente em Ampére (A) ao longo do tempo.

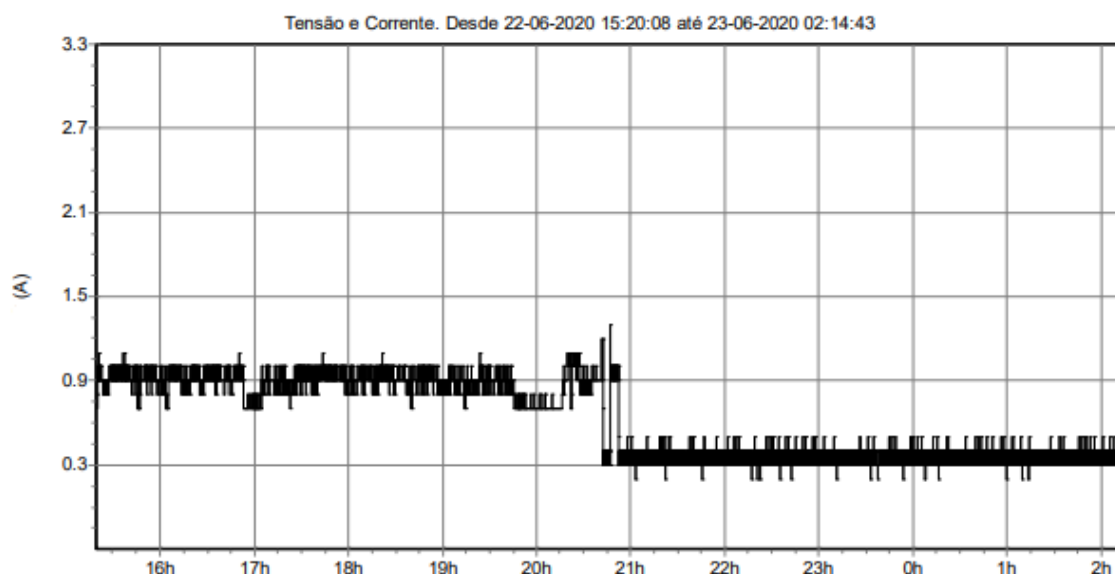


Figura 38 - Intensidade de corrente de 22-06-2020 a 23-06-2020

Analisando o gráfico apresentado na Figura 5Figura 38 podemos verificar que entre as 16h53 e as 17h15 não aconteceu nenhum evento extraordinário. Esteve produzindo S023KXEPT01BB2 até às 19h45, hora de refeição que durou até às 20h20. Às 20h21 iniciou-se um *setup* para a referência S023MKEBBP01WH2. Referência essa que não é orlada na máquina onde ocorreu a recolha de dados - daí a quebra de corrente o restante tempo.

Tabela 17 - Resumo das referências produzidas e respetivos dados de 22-06-2020 a 23-06-2020

Data	Referência	Peças por minuto	Comprimento [mm]	Altura [mm]
Até às 19:45 de 22-06	S023KXEPT01BB2	30	336	16
Depois das 20:45 de 22-06	S023MKEBBP01WH2	28	669	16

Devido à pandemia COVID-19, as semanas de produção foram atípicas, pelo que não foi possível continuar com a recolha de dados por um período mais prolongado de forma a tentar recolher dados durante uma avaria do vaso da cola. Embora não se tenha verificado qualquer avaria durante os períodos de recolha de dados, nem nenhuma alteração significativa ao longo do tempo, verifica-se que aquando da produção de peças com menor comprimento, o consumo do motor é maior. Pode-se, portanto, concluir que a resposta à questão “É possível determinar o estado do vaso da cola pela medição do consumo do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo?” é afirmativa.

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Como referido anteriormente, atualmente existe uma grande competitividade na indústria, e é por isso que qualquer redução de custos e de paragens não planeadas são fatores fulcrais para o aumento da produtividade de qualquer unidade.

Neste sentido foram estudadas as avarias nas linhas *EdgeBand&Drill* de forma a encontrar as máquinas com mais paragens não planeadas e motivos comuns para estas acontecerem. Depois desse processo de estudo de dados foram selecionadas as orladoras e as avarias com origem no grupo da cola.

Após se identificar os componentes a estudar - vasos da cola - foram recolhidas informações sobre as avarias e as causas para estas acontecerem de forma a formular propostas de melhoria e implementação para prevenir paragens não planeadas. Foram propostas as ações descritas na Tabela 15.

Com a pesquisa apresentada no capítulo REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, foi possível concluir que uma implementação de manutenção de 1º nível e manutenção preventiva baseada na condição seria a estratégia mais eficiente para prevenir possíveis paragens e agir antes da avaria. Rotinas de inspeção foram implementadas, porém, de forma a tornar o processo automático, foi conduzido um teste de medição da intensidade de corrente do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo do vaso da cola, de forma a entender se seria possível determinar o estado do vaso da cola.

Devido à pandemia COVID-19, as semanas de produção foram atípicas, pelo que não foi possível continuar com a recolha de dados por um período mais prolongado de forma a tentar recolher dados durante uma avaria do vaso da cola. Embora não se tenha verificado qualquer avaria durante os períodos de recolha de dados, nem nenhuma alteração significativa ao longo do tempo, verifica-se que aquando da produção de peças com menor comprimento, o consumo do motor é maior. Pode-se, portanto, concluir que a resposta à questão “É possível determinar o estado do vaso da cola pela medição do consumo do motor responsável pelo movimento de rotação do rolo?” é afirmativa.

Através da implementação dos vários pontos, espera-se que os níveis de Disponibilidade, MTBF e MTTR sejam melhorados. Para tal, deverão ser monitorizados os resultados e processos, e, em caso de sucesso, padronizar as ideias e partilhar com as várias unidades IKEA Industry com o mesmo processo de fabrico. De momento

isso não é possível, pois a empresa está a atravessar semanas de fabrico atípicas, devido à pandemia COVID-19.

Ao desenvolver esta dissertação foi possível dar início a um estudo intensivo de análise de dados de avarias de todo o parque de máquinas da IKEA Industry Portugal, e espera-se no futuro criar novos cargos no departamento de Manutenção para se estudar e implementar projetos de forma a prevenir falhas e aumentar a disponibilidade das máquinas.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

Como perspetiva de trabalhos futuros propõem-se:

- Implementação das ações propostas;
- Continuar com a recolha de dados de forma ter dados mais fiáveis;
- Estender o raciocínio e metodologia de análise de avarias a outras máquinas.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Farinha, J. T., Galar, D. (2018) *Proceedings of Maintenance Performance Measurement and Management*, MPMM 2018, Coimbra, ISBN 978-972-8954-42-0, <http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8954-42-0>

Mourinho, J., Leiras, F., Correia, R. Canito, A., Fernandes, M., Conceição, L., Praça, I., Marreiros, G., (2018) “A Vertical Predictive Maintenance Approach for Manufacturing 4.0,” in *Proceedings of Maintenance Performance Measurement and Management*, MPMM 2018, Coimbra, ISBN 978-972-8954-42-0, <http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8954-42-0>

Qinming, L., Ming, D., Chen, F.F., Wenyuan, L., Chunming, Y. (2018) “Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling”, in *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.01.002>

Kiangala, K. S., Wang, Z. (2018) “Initiating predictive maintenance for a conveyor motor in a bottling plant using industry 4.0 concepts” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 97, no. 9–12, pp. 3251–3271, Aug. 2018 <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2093-8>

Moubray, J. (1991) “Reliability-centred maintenance”

Mobley, R. K. (2002) “An introduction to predictive maintenance”

Bokrantz, J., Skoogh, A, Berlin, C., Stahre, J. (2016) “Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 191, no. October 2016, pp. 154–169, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.06.010>

Márquez, A. C. (2007) “The Maintenance Management Framework”.

Garbe, U. (2019) “Maintenance categories and WO types.”, *IKEA Industry AB*

Garbe, U. (2020) “Overall Equipment Efficiency”, *IKEA Industry AB*

TDGI - Tecnologia de Gestão de Imóveis, S.A. (2018) “Análise e Diagnóstico na manutenção” *Dossier Manutenção, o Pilar da Competitividade*, p.p. 49-51

UpKeep (2020) “What is Condition-Based Maintenance? CBM Examples, Tools, Software”, acessado a 7 de Março de 2020, <https://www.onupkeep.com/condition-based-maintenance>

Ferreira, L. (1998) “Uma introdução à Manutenção”, *Publindústria*

- Aditya, P., Kumar, U. (2006) "Maintenance performance measurement (MPM): Issues and challenges", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 12(3):239-251, July 2006
<https://doi.org/10.1108/13552510610685084>
- Wireman, T. (2004) "Total Productive Maintenance" Industrial Press, Second Edition
- Amaral, F. D. (2016) "Gestão da Manutenção da Indústria" Biblioteca Industria & Serviços, LIDEL
- Limble CMMS (2019) "MTTR, MTBF, or MTTF? – A Simple Guide To Failure Metrics" acessado a 24 de Março de 2020, <https://limblecmms.com/blog/mttr-mtbf-mttf-guide-to-failure-metrics/>
- Albano, M., Sharma, P., Campos, J., Jantunen, E. (2018) "Blockchain Technology Helps Maintenance to Stop Climate Change" in *Proceedings of Maintenance Performance Measurement and Management*, MPMM 2018, Coimbra, ISBN 978-972-8954-42-0,
<http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8954-42-0>
- Santos, T. (2018) "Reestruturação da função Manutenção em Empresa do ramo alimentar" (Tese de Mestrado) Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal
- Nakajima, S. (1986) "Introduction to TPM: Total Productive Maintenance", Productivity Press
- OEE (2020) "Six Big Losses – TPM, OEE, and Improving Productivity | OEE", acessado 17 de Maio de 2020, <https://www.oee.com/oee-six-big-losses.html>
- Miranda, J. (2017) "FIAMA – Manutenção: Objetivos Estratégia e Responsabilidades da Manutenção" (Apresentação PowerPoint)
- Kikolski, M. (2020) "Determination of ISO 22400 Key Performance Indicators using Simulation Models: The Concept and Methodology" in *Proceedings of Model-Driven Engineering and Software Development (MODSWARD)*, INSTICC
- EN 13306:2010
- ISO 22400-1:2014
- ISO 22400-2:2014

ANEXOS

6.1 Atribuição de KPI a diferentes áreas (ISO: 22400-2:2014)

6 ANEXOS

6.1 Atribuição de KPI a diferentes áreas (ISO: 22400-2:2014)

		Key Performance Indicators																										
		Worker efficiency	Allocation ratio	Throughput rate	Allocation efficiency	Utilisation efficiency	OEE-Index	NEE-Index	Availability	Effectiveness	Quality ratio	Set up rate	Technical efficiency	Production process ratio	Actual to planned scrap ratio	First pass yield	Scrap ratio	Rework ratio	Fall-offrate	Machine capability index	Critical machine capability index	Process capability index	Critical process capability index	Mean operation time between failures	Mean time to failure	Mean time to repair	Corrective maintenance ratio	
Planned time	Planned busy time (PBT)				•			•	•																			
	Planned run time per unit (PRTU)								•																			
Real time	Actual personnel work time (APWT)	•																										
	Actual unit processing time (AUP)										•																	
	Actual unit busy time (AUBT)		•		•	•																						
	Actual order execution time (AOET)		•	•									•															
	Actual personnel attendance time (APAT)	•																										
	Actual production time (PT)					•			•	•			•	•														
	Actual unit delay time (DET)												•															
	Actual unit setup time (AUST)											•																
	Logistical quantities	Scrap quantity (SQ)													•		•											
Planned scrap quantity (PSQ)														•														
Good quantity (GQ)											•									•								
Rework quantity (RQ)																		•										
Produced quantity (PQ)				•					•	•							•	•										
Produced quantity (PQ) in the first operation process Good part (GP)																				•								
Quality numbers	Inspected part (IP)														•													
	Average of averages																							•				
	Upper specification limit (USL)																			•	•	•	•					
	Standard deviation (σ)																			•	•	•	•					
	Lower specification limit (LSL)																			•	•	•	•					
	Estimated deviation																						•	•				
Performance Indicators	Availability						•																					
	Effectiveness						•	•																				
	Quality rate						•	•																				
Maintenance terms	Time to failure																								•			
	Operating time between failures																							•				
	Time to repair																									•		
	Failure event																							•	•	•		
	Corrective maintenance time																										•	
	Preventive maintenance time																											•