



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Otimização dos Planos de Manutenção Preventiva de Motores Assíncronos Trifásicos

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica
Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

João Miguel Pinto Ribeiro Vaz

Orientador

Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

Professor do Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Engenheiro Luís Miguel Pedro Filipe

Cimpor – Centro de Produção de Souselas

Coimbra, janeiro, 2017

À minha Mãe e à minha Avó

AGRADECIMENTOS

Ao longo do estágio realizado muitos foram aqueles que, de uma forma ou de outra, quer pelos seus conhecimentos, disponibilidade ou incentivo demonstrado, tornaram possível a concretização deste trabalho. Sendo árdua a tarefa de mencionar todos estes nomes, apelo para que de modo algum se sintam esquecidos aqueles que não constem nesta página.

Agradeço ao meu orientador do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Professor Doutor Carlos Manuel Borrvalho Machado Ferreira, pela sua orientação científica e pela sua compreensão, disponibilidade e apoio prestado ao longo da realização deste trabalho.

Os meus agradecimentos à direção do Centro de Produção de Souselas da Cimpor, pela oportunidade proporcionada de realizar o estágio curricular nas suas instalações, e poder assim experienciar o dia-a-dia numa cimenteira de referência.

O meu sincero agradecimento ao meu supervisor de estágio e Diretor do Serviço de Conservação do Centro de Produção de Souselas, Eng.º Luís Miguel Pedro Filipe, pelo tempo disponibilizado, pela colaboração técnica, e por todo o cuidado demonstrado ao longo deste período.

A minha gratidão a todos os meus colegas do gabinete técnico de conservação, pela forma agradável com que me receberam e integraram no grupo, e pelos conhecimentos e métodos de trabalho transmitidos, contribuindo assim para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos e colegas de curso, Artur Kinal, Frederico Seabra, Nosolino Veracruz, Vasco Silva, e a todos os outros com quem cruzei caminho, o meu muito obrigado por todos os bons momentos proporcionados e amizade demonstrada ao longo do meu percurso académico.

A minha sincera gratidão aos meus tios, Fernando e Manuela, pela dedicação e auxílio prestado em todos os sentidos, em especial ao meu tio pelos conhecimentos e experiência transmitida inúmeras vezes ao longo destes meses.

Um especial agradecimento à minha namorada, Marisa Santos, por toda a dedicação, paciência e compreensão demonstrada ao longo desta jornada percorrida em conjunto.

Por fim, e tendo a plena consciência de que sem vocês nada disto teria sido possível, o meu eterno obrigado à minha mãe, Ana Paula, e à minha avó, Maria Alice, por todo esforço, sacrifício e devoção demonstrada muito para além do meu percurso académico.

RESUMO

A produção de cimento é uma atividade com bastante história a nível nacional, com a indústria cimenteira a representar uma proporção considerável da economia portuguesa há já largos anos. Contudo, esta começa-se a revelar algo datada e as preocupações no paralelo dos sistemas produtivos com as suas concorrentes internacionais começam a surgir.

Na conjuntura da gestão de ativos, a Manutenção torna-se necessária na modelação de comportamentos operacionais e na implementação de metodologias que contribuam para uma administração sustentável da fábrica. Desta forma, a política de manutenção assume um papel decisivo na garantia da disponibilidade e da fiabilidade dos equipamentos utilizados nos processos produtivos, influenciando significativamente os custos associados à produção e à qualidade desses mesmos produtos.

Neste sentido, foi proposta pela direção do serviço de conservação do Centro de Produção de Souselas a renovação dos planos de manutenção, com o intuito de melhorar e otimizar a manutenção efetuada aos mais diversos equipamentos. Entre estes, os motores de média tensão são absolutamente determinantes para o correto funcionamento da unidade, estando sujeitos a diversas variantes com capacidade de comprometer severamente os níveis de produção da fábrica, acarretando custos não só da avaria como também da falta de produção. Esta particularidade motivou o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação do estado de condição geral de motores de média tensão. Entre as diversas atividades realizadas, foram ainda desenvolvidas fichas de procedimentos detalhadas, com o propósito de auxiliar os processos de manutenção preventiva realizada aos motores e transformadores de média tensão, presentes no Centro de Produção.

Este trabalho é, portanto, o resultado do enquadramento do estágio em contexto de trabalho, através da integração nas atividades de manutenção dos equipamentos elétricos da fábrica, nomeadamente na otimização dos processos de manutenção dos motores assíncronos trifásicos, e no acompanhamento de situações reais de manutenção em campo.

Palavras-chave: Manutenção, Planos de Manutenção, Motores Assíncronos Trifásicos, Estado de Condição Geral.

ABSTRACT

Cement production is an activity with plenty of history nationwide, where the cement industry represents a considerable proportion of the Portuguese economy for many years already. However, this begins to reveal something dated and concerns the parallel of production systems as their international competitors begin to emerge.

In the context of asset management, industrial maintenance becomes necessary to model operational behavior and implementation of methodologies that contribute to a sustainable management of the business. Thus, the maintenance policy plays a decisive role in ensuring the availability and reliability of the equipment used in manufacturing processes, significantly influencing the costs associated with production as well as the quality of those products.

In this regard, it was proposed by the management of the conservation service of Souselas Production Centre the renewal of the maintenance, in order to improve and optimize the maintenance applied to the various equipment. Among these, medium voltage motors are absolutely crucial for the correct operation of the unit, which are subject to several variants capable of severely compromising the plant's production levels, resulting in costs not only of the fault as well as the lack of production. This condition motivated the development of an assessment tool intended to measure the general state condition of medium voltage motors. Between the several activities carried out, detailed procedures sheets were also developed with the purpose of assisting the preventive maintenance processes carried out in the medium voltage motors and transformers, installed in the Production Center.

Therefore, this report is the result of the traineeship framework in the context of work, through the integration in maintenance activities of the electrical plant equipment, including the optimization of maintenance processes of induction motors, and monitoring of real maintenance situations in the field.

Key-words: Maintenance, Maintenance Plans, Three Phase Induction Motors, General State Condition.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Tema Escolhido.....	2
1.3. Objetivos do Trabalho Desenvolvido.....	3
1.4. Organização do Estágio.....	4
1.5. Estrutura do Relatório de Estágio.....	5

CAPÍTULO 2 - A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

2.1. Introdução.....	7
2.2. História da Indústria Cimenteira em Portugal.....	7
2.3. Cimpor - Cimentos de Portugal.....	8
2.4. Centro de Produção de Souselas.....	9
2.5. Processo Produtivo.....	10
2.5.1. Extração de Matérias-Primas.....	11
2.5.2. Britagem, Pré-Homogeneização e Moagem de Cru.....	11
2.5.3. Cozedura.....	11
2.5.4. Moagem de Cimento.....	12
2.5.5. Ensacagem e Expedição.....	13
2.5.6. Controlo de Qualidade.....	13
2.6. Conclusão.....	13

CAPÍTULO 3 - INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

3.1. Introdução.....	15
3.2. A Evolução da Manutenção.....	16
3.3. Definição de Manutenção.....	19
3.4. Função da Manutenção.....	20
3.5. Plano de Manutenção.....	21
3.6. Custos de Manutenção.....	21
3.7. Tipos de Manutenção.....	24
3.7.1. Manutenção Corretiva.....	25
3.7.1.1. Manutenção Corretiva Curativa.....	25
3.7.1.2. Manutenção Corretiva Paliativa.....	25
3.7.2. Manutenção Preventiva.....	26
3.7.2.1. Manutenção Preventiva Sistemática.....	26
3.7.2.2. Manutenção Preventiva Condicionada.....	26

3.7.2.3. Manutenção Especial, Extraordinária ou de Oportunidade	28
3.8. A Manutenção no CPS.....	28
3.8.1. Organização do Serviço de Conservação	28
3.8.2. Planeamento, Preparação e Execução.....	30
3.9. Conclusão	32

CAPÍTULO 4 - MOTORES ELÉTRICOS ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

4.1. Introdução.....	33
4.2. Noções Fundamentais.....	34
4.3. Constituição	34
4.3.1. Estator.....	35
4.3.2. Rotor.....	36
4.3.2.1. Rotor em Gaiola de Esquilo.....	36
4.3.2.2. Rotor Bobinado	37
4.4. Arranque	37
4.5. Manutenção de Motores MT	38
4.6. A Utilização dos Motores MT no CPS	41
4.6.1. Manutenção de Motores MT no CPS	41
4.6.1.1. Limpeza e Estado da Ventilação.....	42
4.6.1.2. Análise Termográfica	42
4.6.1.3. Lubrificação.....	44
4.6.1.4. Análise de Vibrações.....	45
4.6.1.5. Vetor de <i>Park</i>	46
4.6.1.6. Medição da Resistência de Isolamento.....	47
4.6.1.7. Índice de Polarização e Índice de Absorção	49
4.6.1.8. Verificação do Sistema Coletor	50
4.7. Conclusão	52

CAPÍTULO 5 - FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONDIÇÃO GERAL DE MOTORES MT ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

5.1. Introdução.....	53
5.2. Preparação e Desenvolvimento.....	53
5.2.1. Escolha e Parametrização dos Indicadores	54
5.2.1.1. Estado de Condição Externo.....	56
5.2.1.2. Estado de Condição Interno.....	59
5.2.1.3. Criticidade do Motor	64
5.2.2. Ponderação dos Indicadores e Cálculo da FAEC	66
5.2.3. Apresentação de Resultados	68
5.3. Casos de Estudo.....	69
5.3.1. Caso 1: Motor de Acionamento ao Britador.....	69

5.3.1.1. Sobre o Objeto de Estudo.....	70
5.3.1.2. Interpretação de Resultados.....	71
5.3.2. Caso 2: Motor de Acionamento ao Moinho de Cru.....	72
5.3.2.1. Sobre o Objeto de Estudo.....	72
5.3.2.2. Interpretação de Resultados.....	74
5.3.3. Caso 3: Motor de Acionamento ao Moinho de Cimento.....	75
5.3.3.1. Sobre o Objeto de Estudo.....	75
5.3.3.2. Interpretação de Resultados.....	76
5.4. Conclusão.....	78

CAPÍTULO 6 - ELABORAÇÃO DE NOVOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO

6.1. Introdução.....	79
6.2. Planos de Manutenção.....	80
6.2.1. Planos <i>Standard</i> de Manutenção.....	81
6.2.1.1. Aplicação.....	81
6.2.1.2. Estrutura.....	83
6.2.2. Planos Padrão de Manutenção.....	84
6.2.2.1. Construção e Aplicação.....	84
6.2.2.2. Estrutura.....	87
6.3. Procedimentos de Execução.....	88
6.3.1. Fichas de Procedimentos.....	89
6.3.1.1. Motores BT e Motorreductores.....	89
6.3.1.2. Motores MT.....	90
6.3.1.3. Transformadores Elétricos.....	92
6.3.2. Fichas de Registo Histórico.....	93
6.4. Conclusão.....	96

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Conclusões Gerais.....	97
7.2. Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	98
7.3. Observação Final.....	98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
--	-----------

ANEXO A - RELATÓRIO DE VISITA TÉCNICA

A.1. Enquadramento	107
A.2. Motor Nº 1: Nº Série 852302001 – CPS 1021	108
A.2.1. Estado do Equipamento	108
A.2.2. Análise no Local	109
A.2.3. Medidas a Implementar	112
A.3. Motor Nº 2: Nº Série 900111002 – CPS 922	112
A.3.1. Estado do Equipamento	113
A.3.2. Análise no Local	113
A.3.3. Medidas a Implementar	115
A.4. Notas Finais	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama do processo de fabrico de cimento (P&Q,2016).....	10
Figura 3.1. Evolução do conceito de manutenção (Moubray, 1997)	16
Figura 3.2. Custos <i>versus</i> nível de manutenção (Mirshawa e Olmedo, 1993).....	22
Figura 3.3. Lucro <i>versus</i> disponibilidade (Murty e Naikan, 1995).....	23
Figura 3.4. Tipos de Manutenção	24
Figura 3.5. Esquema representativo da Manutenção Condicionada	27
Figura 3.6. Organização do Serviço de Conservação do CPS	29
Figura 4.1. Tipos de motores elétricos de corrente alternada (WEG, 2015).....	33
Figura 4.2. Constituição de um motor de indução (Francisco, 2006).....	35
Figura 4.3. Estator (esquerda) e estator inserido na carcaça (direita) (Francisco, 2006)	35
Figura 4.4. Exemplo um rotor em gaiola de esquilo (Gonçalves, 2007)	36
Figura 4.5. Exemplo um rotor bobinado (Gonçalves, 2007)	37
Figura 4.6. Mau exemplo (à esquerda) e bom exemplo (à direita) de limpeza	42
Figura 4.7. Representação do local a ser efetuada a termografia.....	43
Figura 4.8. Resultados da termografia	43
Figura 4.9. Exemplo de um motor mal lubrificado.....	44
Figura 4.10. Recolha de dados de uma análise de vibrações	45
Figura 4.11. Espectro de harmónicos de uma análise de vibrações a um rolamento	45
Figura 4.12. Resultados da análise de Vetor de <i>Park</i> (barras partidas)	46
Figura 4.13. Resultados da análise de Vetor de <i>Park</i> (excentricidade)	47
Figura 4.14. Medição de isolamento a um motor MT de rotor bobinado	50
Figura 4.15. Verificação das escovas de um motor	51
Figura 4.16. Medição da pressão exercida pelas escovas	51
Figura 5.1. Metodologia da FAEC	54
Figura 5.2. Exemplo do gráfico de diagnóstico da FAEC	68
Figura 5.3. Ficha técnica do motor do Caso 1	69
Figura 5.4. Estado de condição geral do motor do Caso 1	71
Figura 5.5. Ficha técnica do motor do Caso 2	72
Figura 5.6. Estado de condição geral do motor do Caso 2	73
Figura 5.7. Ficha técnica do motor do Caso 3	75
Figura 5.8. Estado de condição geral do motor do Caso 3	76
Figura 6.1. Gráfico referente à evolução do desgaste das escovas	94
Figura 6.2. Gráfico referente à evolução da resistência de isolamento do estator	95
Figura 6.3. Gráfico referente à evolução do IP do estator	95
Figura A.1. Motores desmontados.....	107
Figura A.2. Características do motor nº 1: Nº Série 852302001 – CPS 1021.....	108

Figura A.3. Danos no estator do motor nº 1	109
Figura A.4. Presença de sujidade no rotor do motor nº 1	110
Figura A.5. Cobre do estator fundido com a chaparia do rotor.....	111
Figura A.6. Cabos das escovas ressequidos.....	111
Figura A.7. Características do motor nº 2: N° Série 900111002 – CPS 1021.....	112
Figura A.8. Constatação dos danos ao final da chaparia do estator	113
Figura A.9. Excesso de massa lubrificante no interior	114
Figura A.10. Ventilação do rotor obstruída	115

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. Componentes responsáveis por avarias em motores (IEEE).....	39
Tabela 4.2. Avaliação da resistência de isolamento	48
Tabela 4.3. Avaliação dos índices de polarização e de absorção.....	49
Tabela 5.1. Classificação do indicador “Danos”	56
Tabela 5.2. Classificação do indicador “Limpeza”.....	57
Tabela 5.3. Classificação do indicador “Sistema de Arrefecimento”	57
Tabela 5.4. Classificação do indicador “Temperatura Ambiente”.....	58
Tabela 5.5. Classificação dos indicadores referentes ao controlo de temperatura	60
Tabela 5.6. Classificação dos indicadores do desgaste das escovas	61
Tabela 5.7. Classificação dos indicadores do estado do isolamento.....	62
Tabela 5.8. Classificação do indicador “Vetor de Park”	63
Tabela 5.9. Classificação do indicador referente às vibrações do motor	63
Tabela 5.10. Classificação do indicador “Impacto na Produção”	64
Tabela 5.11. Classificação do indicador “Horas de Trabalho Anuais”	65
Tabela 5.12. Classificação do indicador “Quantidade de Arranques”	66
Tabela 5.13. Classificação do estado de condição geral do motor	67

ABREVIATURAS

AMF	Análise de Modo de Falha
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CDR	Combustível derivado de resíduos
CPS	Centro de Produção de Souselas
ECE	Estado de Condição Externo
ECI	Estado de Condição Interno
FAEC	Ferramenta de Avaliação do Estado de Condição
IA	Índice de Absorção
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	Índice de Polarização
MT	Média Tensão
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RIP	Resíduo Industrial Perigoso

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Atualmente, com a globalização da economia e a consequente competitividade entre as diversas organizações, surgiu a necessidade de reforçar determinados aspetos como a qualidade, a flexibilidade e a produtividade dos serviços, através da maximização de características como a eficácia, rendimento e fiabilidade dos diversos equipamentos. Uma das formas de assegurar estes critérios é através das boas práticas da manutenção, sendo hoje em dia imprescindível para uma empresa a adoção de programas de manutenção rigorosos que vão de encontro aos objetivos referidos.

A manutenção assume, portanto, uma participação cada vez mais relevante na gestão de ativos de uma empresa, visto ser essencial para a garantia da disponibilidade e da fiabilidade dos equipamentos utilizados nos processos produtivos, influenciando de forma expressiva a qualidade do processo produtivo. É por estes motivos que o conceito de manutenção se tem mantido em constante evolução ao longo do tempo.

Esta evolução, que até então atravessou vários estágios impulsionados por avanços técnicos e científicos, promoveu o desenvolvimento de novos métodos, políticas e estratégias de manutenção com o intuito de aperfeiçoar não só os aspetos já referidos, como também questões ao nível da segurança, do impacto ambiental e da otimização de recursos financeiros. Isto levou a que, hoje em dia, o conceito de manutenção se acentue cada vez mais em práticas de previsão e de prevenção de falhas, e não tanto nas de correção.

A manutenção programada passa assim a ser um exercício constante na gestão e planeamento das organizações, com o objetivo de determinar qual a altura exata para intervir, dando tempo à equipa responsável para planear e executar a manutenção que mais benefícios proporciona. Este é, por excelência, o modelo ideal para a minimização dos custos inerentes à manutenção, uma vez que por um lado maximiza o tempo de funcionamento dos equipamentos, e por outro evita os gastos de avaria e de não-produção (Gonçalves, 2005).

Atendendo à importância da manutenção e ao seu impacto na prestação de uma empresa, é fundamental desenvolver técnicas que resultem na melhoria da análise e previsão do estado de condição geral dos equipamentos, com o objetivo de reduzir as paragens não planeadas e garantir a segurança das pessoas e dos bens, assim como a qualidade do produto.

Entre esses equipamentos encontram-se os motores assíncronos trifásicos, os transformadores, e todos os outros equipamentos elétricos responsáveis por grande parte das tarefas de uma linha de produção. Nas últimas décadas a indústria tornou-se de tal forma dependente destas máquinas, que uma simples falha, por mais simples que seja, pode comprometer os níveis de produção diários de uma empresa. Desta forma, a sua manutenção deve ser regular, criteriosa, e, se possível, ajustada para cada equipamento, no sentido de evitar defeitos desnecessários.

Atendendo a tudo o que foi mencionado, torna-se essencial que a manutenção seja um alvo constante de estudo e de remodelações que visem o melhoramento das suas práticas e o aumento da sua eficácia nos diversos equipamentos. É neste contexto que se insere o presente relatório de estágio, motivado pela constante necessidade de aperfeiçoar a manutenção exercida nas instalações do Centro de Produção de Souselas (CPS), em Coimbra, do grupo “Cimpor, Industria de Cimentos, S.A.”, local onde o mesmo foi realizado.

Pretende-se assim, com a realização deste trabalho, analisar a evolução e as novas estratégias e políticas de manutenção preventiva e preditiva, bem como melhorar a eficiência daquelas praticadas nos equipamentos elétricos do CPS, através do desenvolvimento de uma nova ferramenta de avaliação do estado de condição geral de motores de média tensão (MT), e da elaboração de novos planos de manutenção e fichas de procedimentos para outros equipamentos presentes nas instalações.

1.2. Tema Escolhido

O tema escolhido para o estágio curricular foi proposto pelo Diretor do Serviço de Conservação do CPS, e supervisor na empresa, Sr. Eng.º Miguel Filipe, na tentativa de o integrar nas matérias lecionadas ao longo da licenciatura e do mestrado, e que ao mesmo tempo pudesse ser útil para a empresa. Este tema permitiu tratar inúmeras matérias abordadas ao longo do curso, principalmente ao nível das Máquinas Elétricas e dos Acionamentos Eletromecânicos, bem como a aprendizagem e o desenvolvimento de novas competências ao nível das políticas e das práticas de manutenção industrial realizadas nas grandes organizações.

Desta forma, o tema escolhido para o estágio foi sem dúvida uma mais-valia, uma vez que permitiu aperfeiçoar e colocar em prática certos conhecimentos já obtidos, bem como a aquisição de novas competências igualmente relevantes.

1.3. Objetivos do Trabalho Desenvolvido

O referido estudo integra-se nas atividades do CPS, para o qual é essencial ajustar a política de manutenção preventiva, sustentada num modelo cada vez mais baseado em planos e procedimentos que permitam uma gestão otimizada de ativos, visando a minimização dos defeitos e consequentes perdas de produção e gastos de não-produção.

Entre os equipamentos mais críticos da unidade fabril, destacam-se os motores MT assíncronos trifásicos, responsáveis pela realização de algumas das tarefas mais importantes ao longo do processo produtivo do CPS. É neste sentido que surge um dos primeiros objetivos propostos: a elaboração de uma ferramenta capaz de avaliar o estado de condição de um motor MT. Desta forma, espera-se ser possível determinar a altura exata em que os motores necessitem de intervenção.

Outro dos objetivos propostos foi a remodelação dos planos de manutenção, mediante a elaboração de novos planos para equipamentos instalados na terceira linha de produção. Pretende-se com isto substituir aqueles já existentes, no sentido de melhorar a manutenção praticada.

O terceiro e último objetivo consiste na elaboração de fichas de procedimentos para os equipamentos elétricos que mais atenção requerem por parte das equipas que neles intervêm, entre eles os motores, motorreductores e transformadores. Estas fichas baseiam-se na explicação detalhada de todas as tarefas a realizar durante a manutenção de um determinado equipamento, para que, independentemente da pessoa ou equipa que realize a intervenção, os critérios utilizados sejam os mesmos.

Assim sendo, têm-se os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação do estado de condição geral de um motor MT assíncrono trifásico de rotor bobinado;
- Renovação dos planos de manutenção dos diversos equipamentos do CPS;
- Elaboração de fichas de procedimentos para motores de indução de BT e MT, e transformadores.

Em suma, a principal finalidade do trabalho é contribuir positivamente para a melhoria da manutenção praticada no CPS aos equipamentos em causa, visando a otimização de custos através de uma melhor organização da política preventiva utilizada.

1.4. Organização do Estágio

O estágio realizado, decorrido entre 16 de novembro de 2015 e 29 de julho de 2016, compreendeu essencialmente três etapas distintas, procurando respeitar o plano de trabalho previamente estipulado.

A primeira destas etapas foi destinada à pesquisa bibliográfica dos diversos assuntos a serem abordados ao longo do estágio, como por exemplo a temática da gestão da manutenção e dos motores de indução, e à compreensão da forma como a manutenção se organiza e processa no CPS. Foi ainda elaborada uma lista atualizada dos motores MT instalados na fábrica, a fim de melhor conhecer os equipamentos existentes.

De seguida, após a recolha de informações e a familiarização com os equipamentos, deu-se assim início ao desenvolvimento de um novo método que proporcionasse uma otimização à manutenção preventiva dos motores MT, através do diagnóstico do estado de condição dos mesmos. O desenvolvimento do modelo exigiu uma análise minuciosa, do ponto de vista técnico, aos principais parâmetros passíveis de serem classificados. Para além de todo o estudo teórico associado à conceção da ferramenta, foi essencial o acompanhamento de trabalhos em campo, no sentido de aprimorar e testar, através da componente prática, o seu funcionamento.

Após o conhecimento aprofundado dos equipamentos presentes na unidade fabril, e uma maior perceção da manutenção praticada no CPS, deu-se assim início à terceira etapa do estágio. Esta compreendeu a elaboração de novos planos de manutenção e fichas de procedimentos de execução, em parceria com a restante equipa de estagiários da área elétrica e mecânica, com o objetivo de estabelecer uma relação de complementaridade entre os processos de manutenção das duas vertentes.

Esta última fase envolveu, sobretudo, uma maior componente prática através do acompanhamento de trabalhos e da observação dos diversos equipamentos abordados, conseqüente da crescente necessidade de compreender a função e o funcionamento dos mesmos.

1.5. Estrutura do Relatório de Estágio

A estrutura do presente relatório encontra-se intrinsecamente relacionada com os objetivos anteriormente referenciados, e está assente em sete capítulos, apresentando no início um resumo que sumaria todo o trabalho desenvolvido.

No atual capítulo, pretende-se introduzir o leitor no contexto do estudo em causa, apresentando genericamente o trabalho realizado. São ainda mencionados os motivos do tema escolhido, os objetivos traçados, e a forma como o estágio se desenrolou.

No capítulo 2, pretende-se dar a conhecer o meio onde o estágio e o relatório se inseriram. Assim, considerou-se conveniente fazer uma alusão à indústria cimenteira e à forma como esta se enquadra na sociedade portuguesa. É dado um especial destaque ao Centro de Produção de Souselas (CPS), da empresa Cimpor, Indústria de Cimentos, S.A., tendo em conta que o estágio se realizou nas suas instalações, sendo apresentado de forma sucinta o seu processo produtivo.

O capítulo 3 é exclusivamente dedicado ao tema da Manutenção através de uma revisão teórica dos seus conceitos, procurando referenciar de forma abrangente os conteúdos necessários à compreensão do trabalho elaborado. Foi realizada uma breve síntese da evolução da manutenção até aos dias de hoje, bem como a definição do seu conceito teórico. Foram também abordadas questões como a função da manutenção, os custos associados à sua implementação, e a diferenciação entre as diversas vertentes existentes. Por fim, procurou-se enquadrar a manutenção no contexto da empresa, através de uma breve explicação da forma como esta é planeada, preparada e executada pelos profissionais da Cimpor.

O capítulo 4 é iniciado com um enquadramento geral dos motores elétricos assíncronos trifásicos, enunciando algumas das noções inerentes à sua utilização consideradas fundamentais para a futura compreensão de conceitos mencionados ao longo do trabalho. De seguida, é apresentado o contexto em que estas máquinas elétricas se inserem no CPS, e algumas das práticas utilizadas no que diz respeito à manutenção preventiva realizada nestes equipamentos.

O capítulo 5 consiste na descrição do desenvolvimento da ferramenta de avaliação do estado de condição do motor. Este expõe as etapas de preparação, construção e aplicação do modelo de avaliação, bem como a análise e as conclusões dos resultados obtidos através dos três casos de estudo realizados.

O capítulo 6 enuncia todo o trabalho realizado na construção dos novos planos de manutenção, das fichas de procedimentos de execução e das fichas de registos associadas a estes.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões gerais do presente relatório de estágio, bem como as propostas para trabalhos futuros que visem a melhoria do trabalho desenvolvido.

2. A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

2.1. Introdução

Obtido diretamente através das matérias-primas que a natureza disponibiliza, o cimento é hoje em dia um dos produtos mais utilizados pelo homem, marcando a era atual como a pedra e o ferro marcaram em outrora. O cimento, cuja matéria-prima principal é o calcário proveniente da exploração de pedreiras, é um ligante hidráulico que, quando combinado com água, dá origem a uma pasta maleável que rapidamente endurece devido a reações e processos de hidratação. Após o seu endurecimento, esta conserva a sua estabilidade e resistência mecânica, mesmo quando exposta diretamente a água, propriedades estas extremamente úteis nos diversos ramos da construção.

Com a sua comercialização, a indústria cimenteira tem sido uma das principais atividades económicas em Portugal, sendo que a evolução desta indústria está intrinsecamente interligada à do dinamismo económico do país e do setor da construção civil. Desta forma, a produção de cimento tem acompanhado a evolução do mercado interno, inclusive nos altos e baixos da economia nacional, como o pico da construção marcado pela urbanização, de um modo geral por todo o país, que se verificou aquando do crescimento da construção civil e do previsível aumento do consumo de cimento entre o final da década de 60 e início dos anos 90, bem como outros eventos que marcaram a indústria do cimento em Portugal, como a Expo '98 (1998 *Lisbon World Exposition*), e mais recentemente o XII Campeonato Europeu de Futebol/Euro 2004.

Atualmente, devido em grande parte à crise instalada no país, a produção de cimento resume-se essencialmente à exportação, sendo a Argélia o principal destino dos produtos cimenteiros portugueses (Cimpor, 2014).

2.2. História da Indústria Cimenteira em Portugal

A primeira fábrica de produção de cimento a nível nacional, instalada na Rua do Alvito em Alcântara, operou pela primeira vez em 1866, e recorria à pedra da Rasca, na Foz do Sado, como matéria-prima. Contudo, devido à fraca qualidade do cimento produzido e aos seus custos associados elevados, esta fábrica e as duas que lhe seguiram acabaram por ser encerradas prematuramente.

Em 1892 surge a “Tejo” em Alhandra, a primeira fábrica para a produção sustentada de cimento tipo Portland artificial, e doze anos depois, em 1904, é formada a Companhia de Cimentos de Portugal, iniciando a sua produção com a fábrica de Outão em 1906.

Em 1918, as instalações e os terrenos agregados à fábrica de Outão são adquiridos pela Companhia Geral de Cal e Cimento, que posteriormente, em 1925, os arrenda à Sociedade de Empreendimentos Comerciais e Industriais, Lda (Secil). Enquanto isso, em 1919 é fundada a Empresa de Cimentos de Leiria, e no ano seguinte inicia-se a construção da nova fábrica na cidade, tendo iniciado as suas atividades cerca de três anos depois.

Já em 1970 é constituída a Cisul, responsável pela instalação de uma unidade fabril para a produção de cimento em Loulé, dando início à atividade em 1973. Na mesma altura é fundada a Cinorte, que por sua vez implementou uma fábrica em Souselas, com dois fornos que viriam a arrancar, respetivamente, em 1974 e 1975, com um terceiro forno a ser instalado no início da década de 80.

Em 1975, em consequência do 25 de Abril, dá-se a nacionalização de diversas empresas, entre elas as da indústria cimenteira, como a Cibra, Cimentos de Leiria, Cinorte, a Tejo e Cabo Mondego, originando assim em 1976 a Cimpor - Cimentos de Portugal, SGPS, SA.

Anos depois, em 1992, e em concordância com um plano de privatização da indústria cimenteira pelo governo português, surge a CMP (Cimentos Maceira e Pataias), constituída pelas fábricas da Maceira e Cibra, grupo este que viria a ser adquirido dois anos depois pela Secil, também agora uma empresa de capital inteiramente privado (Varela e Vieira, 2005).

Atualmente estes são os dois grandes grupos cimenteiros a operar em Portugal, totalizando 6 fábricas, sendo que no dia 20 de junho de 2012 a Cimpor foi adquirida pelo grupo empresarial brasileiro Camargo Corrêa, tornando-se assim uma empresa InterCement.

2.3. Cimpor - Cimentos de Portugal

A Cimpor - Cimentos de Portugal, SGPS, SA, pertencente ao grupo InterCement, é uma empresa com sede em Portugal, fundada originalmente em 1976 e a operar no mercado mundial, em países como Portugal, Brasil, Argentina, Cabo Verde, Egito, Moçambique, entre outros. Das áreas de negócio da Cimpor, a produção, distribuição e comercialização de cimento constituem o núcleo principal da sua atividade, embora também produza e comercialize betões, agregados, cal hidráulica e argamassas, destacando-se como um dos maiores grupos cimenteiros a nível mundial e líder no mercado nacional.

Com cerca de 40 unidades de produção dispersas pelo mundo, e com uma capacidade de produção de cimento na ordem dos 46 Mton/ano (milhões de toneladas anuais), em

Portugal a Cimpor detém três grandes centros de produção, bem como uma extensa rede de entrepostos de distribuição espalhados pelo território continental, e um centro de moagem nos Açores. Os centros de produção destinam-se essencialmente à produção e distribuição de cimento, estando situados respetivamente em Souselas (Coimbra), Alhandra (Vila Franca de Xira) e Loulé, produzindo cerca de 4 Mton/ano (das 9,1 Mton/ano instaladas), destinadas essencialmente à exportação (Cimpor, 2016).

2.4. Centro de Produção de Souselas

O Centro de Produção de Souselas (CPS) integra uma das três unidades de produção da Cimpor em Portugal, situando-se a 12 km a norte de Coimbra, junto ao Itinerário Principal da Beira Litoral (IP3).

O CPS surgiu no início da década de 70 através da Cinorte, empresa esta recém-formada que viria a ser absorvida pela Cimpor nos anos seguintes. Esta começou a operar com duas linhas de produção idênticas em 1974 e 1975, respetivamente. Devido à imensa procura de materiais cimentícios que se fazia notar naquela altura, surgiu a necessidade de aumentar a capacidade instalada, e em 1982 viria a arrancar uma terceira linha com uma melhor tecnologia e maior capacidade de produção quando comparada às restantes, totalizando uma capacidade de produção instalada superior a 2 Mton/ano, e quatro moagens de clínquer com uma capacidade de produção instalada de 2,85 Mton/ano. Em 1983 a fábrica sofreu uma reestruturação no seu processo de queima, recorrendo ao carvão betuminoso em substituição do *fuel-oil*, o que obrigou à montagem de um sistema de moagem de carvão.

Atualmente, embora o clínquer possa também ser expedido como produto final, o CPS tem como principal atividade a produção e expedição de 3 tipos de cimento distintos, abrangidos e certificados segundo a norma EN 197-1 (Cimpor, 2012), sendo estes:

- CEM I 42,5R
- CEM II/A-L 42,5R
- CEM II/B-L 32,5N

Juntamente com o Centro de Produção de Loulé, o CPS foi uma das primeiras fábricas do país a produzir cimento pelo processo da “via seca” e a primeira a utilizar a técnica da pré-homogeneização na preparação das matérias-primas, destacando-se assim como uma principais fábricas da Cimpor desde os seus primórdios, servindo como referência para muitas outras que viriam a ser construídas entretanto.

2.5. Processo Produtivo

A produção de cimento consiste num processo complexo, distribuído por etapas que vão desde a transformação das matérias-primas até à obtenção do produto final. A qualidade do mesmo depende tanto da matéria-prima como do processo de fabricação e do equipamento nele utilizado.

O processo de fabrico de cimento no CPS é em todo semelhante àquele presente noutras cimenteiras, no entanto este tem como principal particularidade o facto da extração das matérias-primas rochosas ser realizada na própria unidade fabril, o que nem sempre é possível por questões de morfologia do terreno circundante. Desta forma, o CPS acaba por executar o processo de fabrico completo, abrangendo todas as etapas responsáveis pela transformação do calcário e dos restantes compostos em cimento. A figura 2.1 ilustra detalhadamente o processo produtivo de cimento utilizado no CPS.

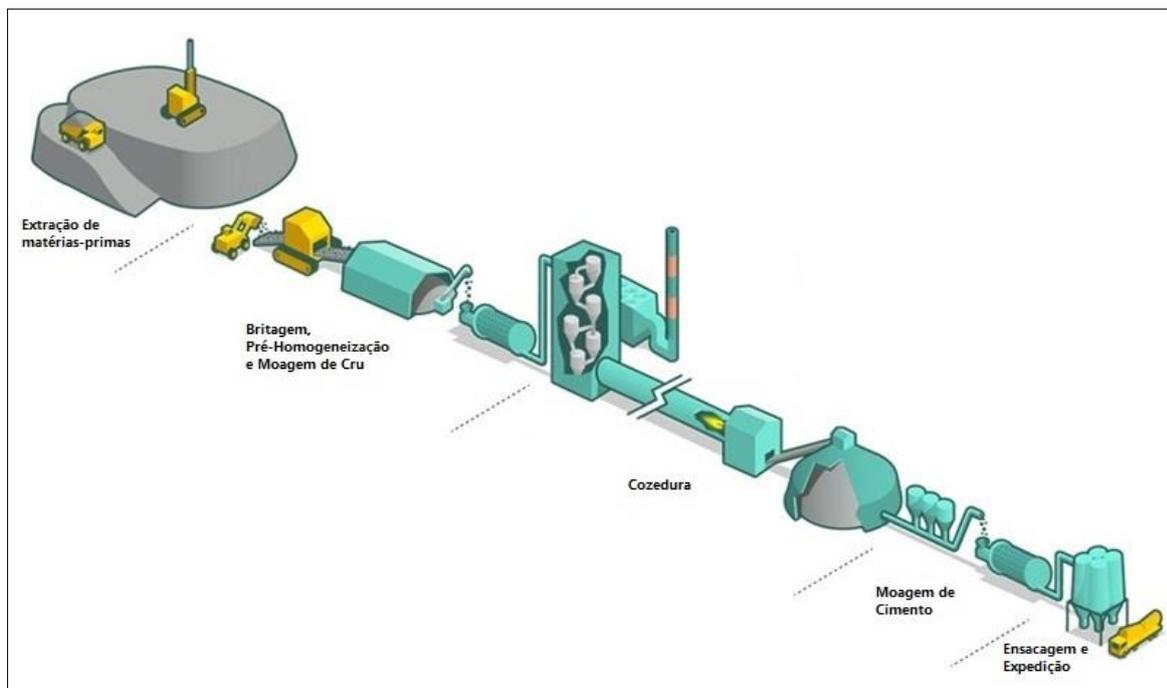


Figura 2.1 - Diagrama do processo de fabrico de cimento (P&Q,2016)

Tal como representado na figura anterior, o processo produtivo de cimento pode ser dividido em cinco etapas principais. De forma a melhor compreender o seu fabrico, será de seguida apresentado resumidamente através de tópicos todo o processo de produção do cimento, que, tal como mencionado, coincide com aquele executado no CPS.

2.5.1. Extração de Matérias-Primas

O calcário e as restantes matérias-primas rochosas necessárias ao fabrico do cimento, como marga, xisto ou argila, são extraídas através de perfuração e desmonte por explosivos (da frente) da pedra, ou por mineração mecânica da superfície. Os materiais obtidos são então transportados em camiões para as instalações da fábrica, mais propriamente para as instalações da britagem.

2.5.2. Britagem, Pré-Homogeneização e Moagem de Cru

O material desmontado anteriormente (com uma dimensão de aproximadamente 1m) é submetido em britadores, de forma a ser reduzido sucessivamente de tamanho até possuir uma medida aceitável para o processo de fabrico (até 40mm). De seguida faz-se uma pré-homogeneização do material, que consiste na sua mistura com outras substâncias corretivas/aditivas, sendo então armazenado em pilhas de camadas sucessivas, de forma a criar uma mistura com as proporções adequadas. O material é posteriormente extraído transversalmente, de forma a assegurar a sua homogeneidade, passando a ser designado por cru.

A moagem de cru consiste na diminuição de granulometria do material, e ainda na sua secagem através do reaproveitamento dos gases emitidos pelo forno, de forma a retirar toda a humidade existente nas matérias-primas. Isto acontece num moinho vertical (linha 3) ou de bolas (linha 1 e 2), reduzindo-se assim novamente a dimensão das partículas. Neste momento, a matéria passa a ser designada por farinha. Esta farinha é de seguida objeto de uma última operação de homogeneização, ficando armazenada em silos a aguardar pela etapa seguinte.

2.5.3. Cozedura

Esta etapa difere substancialmente dependendo da linha onde esteja a decorrer. Enquanto na linha 1 e 2 a farinha é inserida diretamente no forno, a linha 3 possui a chamada Torre de Ciclones (ou Pré-Calcinador), onde a mesma é submetida a um pré-aquecimento e a uma descarbonatação da matéria, através da queima de carvão ou de combustíveis derivados de resíduos (CDR's), e de gases com altas temperaturas provenientes do forno que se movimentam em sentido contrário ao da farinha. Esta ação de pré-aquecimento proporciona à farinha uma cozedura mais eficaz.

Independentemente da realização da pré-cozedura (que como mencionado depende da linha onde o processo decorre), a farinha é de seguida inserida num forno giratório, alimentado a carvão ou os designados resíduos industriais perigosos (RIP), de forma a evitar a utilização de combustíveis fósseis. Uma vez no forno, o material é sujeito a temperaturas a rondar os 1500°C, o que origina diversas alterações químicas e culmina na sua transformação em clínquer. Este, por sua vez, é definido como um material sintetizado e granulado, resultado da calcinação (1450°C) da mistura do calcário, da argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro (Gobbo, 2003). Tendo em conta o seu modo de formação, o clínquer é, portanto, uma rocha ígnea artificial e o principal constituinte do cimento.

Ao sair do forno este é arrefecido bruscamente num arrefecedor de grelhas, sendo posteriormente armazenado nos armazéns ou silos de clínquer.

2.5.4. Moagem de Cimento

Esta etapa consiste no transporte do clínquer para os moinhos, obtendo-se assim finalmente o cimento. Contudo, a simples moagem do clínquer puro resultante da cozedura origina um cimento extremamente instável, podendo endurecer logo após a combinação com água, ou até simplesmente com o contacto do ar. De forma a evitar estas situações, e como uma das propriedades mais importantes do cimento é a maneabilidade, o clínquer é transportado para as tremonhas das moagens de cimento, onde se dá a sua junção com certos componentes, como o gesso e outros eventuais aditivos ("*filler*" calcário, cinzas volantes, escórias siderúrgicas, etc.) contendo trióxido de enxofre (SO³). Estes componentes garantem ao cimento as propriedades requeridas para uma boa qualidade do mesmo.

Após doseado nas proporções requeridas conforme o tipo de cimento pretendido, o clínquer, já misturado com os restantes materiais, é introduzido num moinho onde se dá a moagem e conseqüente origem do cimento. Os materiais são moídos em volumetrias pré-estabelecidas em concordância com o plano de qualidade, e de forma a satisfazer as normas específicas em vigor. O armazenamento do cimento é de seguida efetuado num dos 12 silos presentes na unidade fabril, onde permanece até ao momento da sua ensacagem e expedição.

2.5.5. Ensacagem e Expedição

No CPS existem duas formas de comercializar o produto: sob a forma de clínquer, que é vendido a granel, e de cimento, que representa a maior parte das vendas. Este pode ser ensacado em unidades de 25, 35 ou 50 kg, e expedido em paletes normalmente através da via-férrea presente na unidade fabril. O cimento pode ainda ser expedido a granel, que consiste no enchimento dos camiões-cisterna ou vagões-cisterna a partir diretamente dos silos.

2.5.6. Controlo de Qualidade

Embora não descrito no diagrama de fabrico, esta é uma tarefa implícita e executada ao longo de todas as etapas da produção de cimento, mediante a utilização de equipamentos e processos de controlo realizados a partir do laboratório e das salas de comando presentes nas instalações do CPS. Este é um processo extremamente importante para a qualidade do produto, uma vez que define os limites de segurança e as características dos produtos intermédios e finais.

Por sua vez, como já referido, este controlo estende-se às mais variadas etapas do processo de fabrico, de tal modo que as ações corretivas podem, e devem, sempre que possível, ser efetuadas antes que as restantes fases do processo e/ou produtos sejam influenciados.

2.6. Conclusão

Ao longo do presente capítulo foram apresentadas, de forma sucinta, as características da indústria cimenteira, como a sua história, o âmbito em que esta se insere em Portugal e o processo de fabrico associado. Foi atribuído um especial destaque ao grupo Cimpor, mais propriamente ao CPS, uma vez que o estágio curricular referente ao presente relatório se realizou no seio da empresa.

Assim sendo, torna-se importante referir estes detalhes como forma de ambientar e servir como base para o desenvolvimento do trabalho proposto, que vai desde o conhecimento da estrutura de manutenção do CPS e da influência dos seus métodos, passando pelo funcionamento e otimização dos planos de manutenção dos motores MT, e de outros equipamentos elétricos igualmente importantes para o processo produtivo da fábrica.

3. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

3.1. Introdução

Com a globalização da economia e o meio competitivo em que se vive nos dias de hoje, a sustentabilidade de um negócio requer, quase que obrigatoriamente, a capacidade de capitalizar sob qualquer circunstância que possa surgir. É neste sentido que surge o conceito de manutenção, inserido no âmbito da gestão de ativos, e muitas vezes associado a um conjunto de métodos e estratégias com a intenção de rentabilizar ao máximo a vertente económica de um determinado projeto, pelo que a eficiência da manutenção pode ditar a sua continuidade.

Embora o conceito de manutenção tenha sofrido diversas mutações ao longo do tempo, e sendo esta uma arte em constante desenvolvimento ideológico, é fácil encontrar significados díspares, sejam eles oficiais ou não, para o definir. No entanto, todos eles têm subentendido que a função da manutenção é a garantia da disponibilidade dos equipamentos de produção, através da avaliação das imperfeições no património tecnológico investido (Souris, 1992). Desta forma, a manutenção pode ser entendida como uma atividade realizada sobre um sistema reparável, de forma a garantir que o mesmo exerça corretamente as suas funções, e/ou amplie características fundamentais como a qualidade, disponibilidade, fiabilidade e segurança.

Ao longo do tempo, a manutenção, que até então era muitas vezes vista como algo desnecessário e dispendioso, evoluiu consideravelmente e adquiriu novos graus de complexidade e eficiência, o que levou a que as organizações a passassem a ver como um fator preponderante para o desenvolvimento da economia da empresa, e consequentemente da sua atividade. Para isto, tornou-se necessário procurar uma interligação harmoniosa entre os diversos departamentos, independentemente das diferentes fases de um projeto, com o intuito de evitar futuras complicações (Assis, 2014).

Tendo em conta a sua importância, e sendo o conceito de manutenção o principal tema do trabalho desenvolvido, o presente capítulo destina-se exclusivamente à sua análise bibliográfica, procurando referenciar de forma abrangente os conteúdos e algumas das metodologias necessárias ao desenvolvimento deste estudo, bem como a forma como a política de manutenção é incorporada no CPS.

3.2. A Evolução da Manutenção

Embora nem sempre conhecida como tal, e passando quase sempre despercebida, a manutenção esteve desde muito cedo presente no quotidiano do Homem, mesmo nas tarefas mais simples como o afiar de uma pedra para garantir o sucesso da caça. Naturalmente, e ainda que de modo inconsciente, a manutenção foi evoluindo a par com a humanidade e as suas inovações, por mais rudimentares que pudessem parecer.

O ato de fazer manutenção, propriamente dito, remonta ao séc. XVI na Europa Central, juntamente com o desenvolvimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência (Pinto, 1994). Desde então, embora ainda muito primitiva, já existia uma certa noção de manutenção e esta foi sendo alargada conforme as diversas necessidades, porém os principais desenvolvimentos ocorreram no final do séc. XIX, com a Revolução Industrial e consequente mecanização das indústrias. A partir deste momento a evolução da manutenção pode ser dividida em três fases distintas, estando estas representadas na figura 3.1.



Figura 3.1. Evolução do conceito de manutenção (Moubray, 1997)

É durante a Revolução Industrial e a Primeira Grande Guerra, no início do séc. XX, que surgem as grandes inovações que viriam a alterar por completo o paradigma da sociedade, nomeadamente a eletricidade, máquinas a vapor, motores elétricos, e a resultante melhoria dos processos produtivos, todas elas denotando uma maior complexidade e exigência de conhecimento tanto de restauro como de operação. Isto resultou na necessidade de criar equipas especializadas e dedicadas a efetuar reparações no menor tempo possível. Surge assim, pela primeira vez, um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era o de execução da manutenção, limitando-se apenas à reparação de avarias ou à substituição das peças danificadas para continuar a garantir o nível de

produção, conhecida hoje em dia como Manutenção Corretiva, corresponde à 1ª Fase da linha temporal da evolução da manutenção (Ramos, 2012).

Apesar da notória evolução que se verificava nesta altura, os conceitos associados à manutenção, como por exemplo a fiabilidade dos equipamentos, não eram considerados como ciências. Foi com a Segunda Guerra Mundial que a manutenção passou a ser objeto de estudo, afirmando-se como uma necessidade absoluta principalmente na indústria aeronáutica, uma vez que os aviões não poderiam estar suscetíveis a falhas. Surgiu assim a denominada Manutenção Preventiva, com o objetivo de, tal como o seu nome indica, prevenir o defeito dos equipamentos (Lobo, 2012). Pode-se considerar esta época como o verdadeiro ponto de viragem na área da manutenção, onde esta passou a ser considerada de facto como uma mais-valia para a conservação de determinado equipamento, e alvo de diversos estudos e doutrinas utilizados até aos dias de hoje.

As décadas de 50 e 60, com o desenvolvimento das linhas de produção e a globalização do mercado, foram igualmente importantes para o avanço das práticas e conceitos de manutenção, tendo estas sido alvo de uma crescente racionalização e marcando assim a 2ª Fase da história da manutenção. Reconheceu-se a relevância da prevenção generalizada das avarias, uma vez que as empresas necessitavam de ser cada vez mais produtivas e a disponibilidade das máquinas não poderia ser questionada, ou não fossem as paragens e avarias dos equipamentos ter um grande impacto sobre o custo final do produto. Surgiu assim a Engenharia de Manutenção, responsável pelo desenvolvimento de técnicas que promoviam a monitorização das condições dos equipamentos, bem como a criação de processos científicos de manutenção preventiva, sendo a garantia da disponibilidade dos equipamentos a sua principal função. Esta engenharia foi bastante desenvolvida por países como a Itália, Alemanha, Inglaterra e principalmente o Japão, num movimento de reestruturação pós-guerra, onde um bom desempenho industrial era essencial para a sua recuperação económica.

Ainda nesta época, o aparecimento dos sistemas informáticos foi igualmente relevante para o progresso da manutenção, causando um impacto significativo ao nível da sua gestão, uma vez que permitia reunir de forma organizada e sistemática elevadas quantidades de informação. A chegada das novas tecnologias proporcionou a integração do computador na área da manutenção, permitindo assim uma melhor interligação entre os diversos sistemas, como o de análise de fiabilidade, de disponibilidade e de segurança, e permitindo assim uma melhor avaliação do desempenho global dos equipamentos sujeitos a inspeção (Lobo, 2012).

Partindo mais uma vez do pressuposto de que os equipamentos não deveriam parar, devido à operação contínua das linhas de produção, começou a existir cada vez menos tempo para intervir nas máquinas. Como tal, a manutenção que antes poderia ser realizada nos tempos mortos deixou de ser viável, o que obrigou as equipas técnicas a se adaptarem, definindo estratégias para garantir que os equipamentos trabalhassem dentro de uma determinada margem de eficiência. Isto fez com que a manutenção seguisse uma lógica mais orientada à supervisão do que propriamente à intervenção, originando assim aquela que viria a ser conhecida como a 3ª Fase, ou 3ª Geração, do progresso da manutenção.

A 3ª Fase, que vigora até aos dias de hoje, é caracterizada pelo alargamento do conceito de manutenção iniciado na década de 70, que engloba a interligação de exercícios como o de gestão, financeiros, de engenharia, entre outros, com a finalidade de minorar os custos do período de funcionamento de um determinado equipamento. Esta abordagem integrada das diversas vertentes conduz à evolução do conceito de conservação dos equipamentos, e permite escolher os melhores meios, mediante uma análise metódica, para prevenir, corrigir ou restaurar um equipamento, seguindo um critério económico, de forma a otimizar a relação entre a máxima fiabilidade e os custos de manutenção (Pinto, 1994).

Para além de uma melhoria significativa na disponibilidade, segurança e fiabilidade dos equipamentos, esta fase foi especialmente importante no alargamento da conjuntura da manutenção para questões até então pouco abordadas ou tidas em consideração. Enquanto anteriormente a maior preocupação seria massificar os níveis de produção e, conseqüentemente, a rentabilização económica do negócio, evitando ao máximo o defeito dos equipamentos, começava-se agora a dar uma maior relevância ao controlo de qualidade, sendo este cada vez mais rigoroso até aos dias atuais, e mais recentemente a implementação de estratégias que evitem ao máximo a degradação do meio ambiente.

Na atualidade, a competitividade entre as indústrias é uma constante resultante da globalização dos mercados. É importante para uma empresa assegurar a vanguarda das novas tecnologias, tornando-se essencial fortalecer a qualidade, a flexibilidade e a valorização dos recursos humanos, com técnicas de controlo capazes de gerar produtos de alta qualidade. As empresas que não acompanhem esta ideologia muito dificilmente conseguirão sobreviver (Lobo, 2012). É neste sentido que hoje em dia se enquadra a manutenção, sendo vista como uma ferramenta essencial para a melhoria da qualidade e da produtividade, através da análise da causa de falha dos equipamentos, e de metodologias capazes de as prevenir.

3.3. Definição de Manutenção

Embora existam várias formas de definir o conceito de Manutenção, sejam elas oficiais ou não, todas remetem para um conjunto de cuidados técnicos fundamentais à operação ordinária e contínua de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Desta forma, procura-se a garantia da disponibilidade e da fiabilidade dos equipamentos de produção, através da avaliação dos defeitos nos bens tecnológicos investidos.

Conforme a norma NP EN 13306:2007 (IPQ, 2007), versão portuguesa, a manutenção é definida como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”. Esta é uma definição consensual e que elucida com certa precisão o conceito de Manutenção, ainda assim, subsistem muitas outras definições aceites por inúmeros investigadores e especialistas da área.

Segundo Pinto (2002), o conceito de Gestão da Manutenção pode ser visto como o conjunto das técnicas capazes de proporcionar uma melhoria considerável da produtividade e da eficiência do departamento responsável pela manutenção.

Para Cabral (2006), a Manutenção define-se como um conjunto de ações destinadas a garantir o correto funcionamento tanto das máquinas como das instalações, assegurando que estas sejam intervencionadas nos momentos mais convenientes, de forma a evitar avarias ou perdas de rendimento. No caso de tal acontecer, esperam-se respostas em boas condições de operacionalidade e com a maior brevidade possível, assegurando um custo global otimizado.

Dias (2003) sintetiza o conceito de Manutenção em essencialmente dois pontos:

- Manutenção é o combinar de ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas ao património para a otimização do seu ciclo de vida;
- Manutenção é a atividade desenvolvida para conservar o equipamento, ou outros bens, em condições que melhor irão suportar as metas organizacionais.

Atendendo às definições dos diversos autores, poder-se-á assim sintetizar o conceito de Manutenção como um conjunto de metodologias que possibilitam o planeamento e a execução das técnicas mais adequadas à rentabilização dos sistemas reparáveis a um custo adequado.

3.4. Função da Manutenção

No geral, e como mencionado anteriormente, a principal função da manutenção está em assegurar uma boa fiabilidade dos equipamentos, tendo sempre em conta os custos mínimos associados à operação. Assim sendo, consideram-se como os objetivos fundamentais da manutenção:

- Otimização de custos;
- Melhoria na qualidade dos bens produzidos;
- Aumento da disponibilidade das máquinas, e conseqüente aumento de produção;
- Redução dos efeitos nocivos ao meio ambiente;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Aumento da segurança.

No entanto, os objetivos da manutenção variam consoante o tipo de equipamento, a função que este deve desempenhar, bem como a resultante que melhor serve os interesses do negócio. Desta forma, segundo Pinto (2002), é possível reunir essas atividades em duas áreas funcionais distintas: as funções primárias e as funções secundárias.

As funções primárias são aquelas relacionadas com o trabalho do quotidiano executado pelos serviços da manutenção. Estas incluem, para além da manutenção dos equipamentos, infraestruturas e terrenos, as tarefas relacionadas com o planeamento e controlo da manutenção. Estas dizem respeito, por exemplo, ao preparo dos planos de manutenção, análise de custos, registo de históricos, etc. As funções primárias abrangem ainda tarefas como a participação na conceção, construção, e instalação de novos equipamentos, e a inspeção, limpeza e lubrificação dos mesmos (Amaral, 2016).

Por sua vez, as funções secundárias surgem por razões de conveniência e de cedência de tarefas de menor relevância atribuídas ao departamento responsável pela manutenção. Embora existam inúmeras funções que se podem categorizar como tal, é importante não atenuar a importância das primárias em detrimento destas.

Alguns exemplos de funções secundárias são a gestão de armazenamento de peças, a proteção e segurança das instalações, a eliminação das fontes de poluição, a higiene e segurança no trabalho, entre outros.

3.5. Plano de Manutenção

No âmbito da manutenção preventiva, e no sentido de melhorar a qualidade e o controlo das práticas da manutenção, torna-se essencial seguir determinados programas rotineiros de forma a obter uma perceção atualizada do estado do equipamento em causa. É com esta intenção que surgem os planos de manutenção, constituídos por um conjunto de tarefas fixas, e motivados pela necessidade de programar e organizar, com antecedência, a manutenção a aplicar.

Cada uma das ações descritas no plano deverá respeitar uma determinada periodicidade, variando conforme a disponibilidade e a criticidade no desempenho das funções do equipamento. Assim sendo, cabe à equipa de manutenção o conhecimento exaustivo da máquina, de forma a elaborar o plano mais adequado possível que garanta a eficácia das tarefas executadas.

Para além da descrição das tarefas e das periodicidades associadas, os planos de manutenção poderão ainda conter outras informações que melhor o complementem, como por exemplo as características da máquina, o seu local de instalação, a equipa responsável pelas funções, os recursos humanos necessários, etc.

Embora não exista propriamente um modelo exato a seguir no que diz respeito à elaboração de um plano de manutenção, este deve conter as informações necessárias e expostas de forma clara, para que não levante dúvidas à equipa responsável pela sua execução.

3.6. Custos de Manutenção

Uma aspeto extremamente importante a ter em conta no planeamento da manutenção é se, de facto, esta vai ser economicamente viável. Embora, como já referido, um dos principais motivos da manutenção seja a otimização dos gastos associados à produção, há que ter também em conta os custos associados à sua execução, podendo estes ser divididos em duas vertentes: custos diretos e custos indiretos.

Os custos diretos são, por assim dizer, aqueles contabilizados automaticamente nas despesas da manutenção, como por exemplo:

- Despesas de mão-de-obra;
- Custos de posse de *stocks*, ferramentas e máquinas;
- Consumo de matérias-primas/peças de substituição;
- Custos de trabalhos contratados.

No que diz respeito aos custos indiretos, estes são normalmente associados às despesas inerentes da não-produção, e conseqüentemente às perdas que isso acarreta, como por exemplo:

- Custos de mão-de-obra parada;
- Perdas de produtos não fabricados;
- Perda das matérias-primas em curso de transformação;
- Amortização dos equipamentos interrompidos;
- Gastos com o arranque do processo de produção.

Todos estes gastos devem, portanto, ser considerados no valor final dos produtos fabricados ou dos serviços fornecidos, uma vez que as margens de lucro nem sempre são muito altas. Assim, facilmente se compreende a necessidade em assegurar uma manutenção racional, e economicamente viável, mediante a realização de estudos e análises que sustentem, e justifiquem, a necessidade da manutenção a determinado equipamento.

O gráfico da figura 3.2 ilustra um desses estudos que devem ser realizados, mais propriamente a relação existente entre o custo com a manutenção preventiva e o custo da falha.

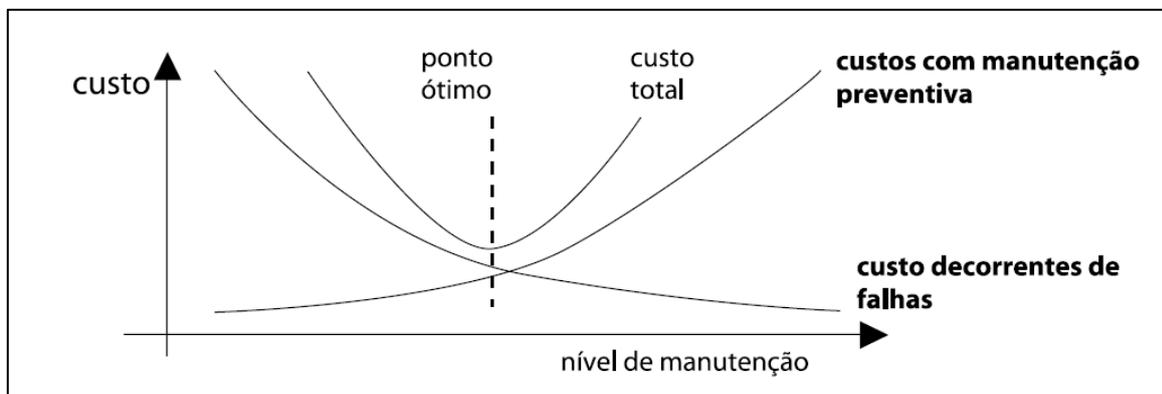


Figura 3.2. Custos *versus* nível de manutenção (Mirshawa e Olmedo, 1993)

Através da análise do gráfico anterior, verifica-se que quanto maior for o investimento na manutenção preventiva, mais as despesas associadas às falhas tendem a diminuir, e conseqüentemente o custo total da operação. No entanto, verifica-se também que a partir de determinado momento (ponto ótimo), o reforço da manutenção preventiva torna-se pouco relevante na contenção de custos, visto que o seu investimento deixa de compensar face ao aumento do custo total.

Assim, o ponto ótimo é aquele que associa harmoniosamente ambos os custos, obtendo a relação mais baixa possível na soma dos mesmos.

Por sua vez, o gráfico da figura 3.3 representa a relação entre o lucro e a disponibilidade de um determinado equipamento sujeito a manutenção, ilustrando os limites da disponibilidade.

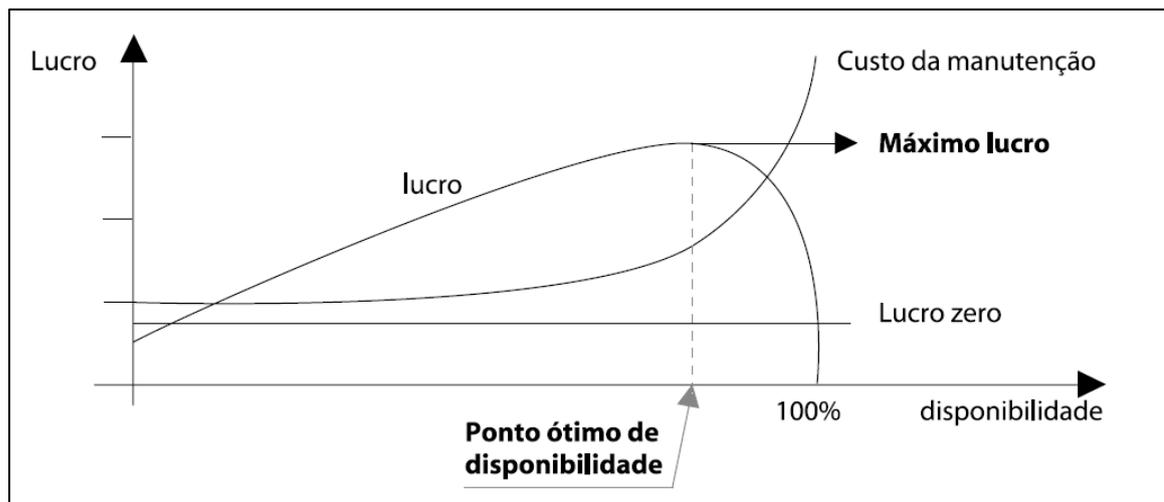


Figura 3.3. Lucro *versus* disponibilidade (Murty e Naikan, 1995)

Observando o gráfico anterior, conclui-se que a busca pela máxima disponibilidade (equipamento sem falhas) exige um forte investimento em termos de manutenção, o que muitas vezes pode não ser viável, levando a uma redução do lucro obtido pela operação. Assim, o ponto ótimo é aquele em que o custo da manutenção é o estritamente necessário para assegurar a disponibilidade suficientemente capaz de gerar o máximo lucro possível.

Estas relações, analisadas em ambos os gráficos, são uns dos principais desafios na gestão da manutenção. Não é de todo uma situação rara por vezes não compensa realizar manutenção, sendo mais rentável simplesmente deixar a máquina avariar e adquirir outra para exercer a mesma função.

Assim, estas são avaliações que têm de ser realizadas pela equipa de responsável pela manutenção, a fim de verificar se de facto compensa intervir num determinado equipamento e, se sim, o quão regular deverá ser essa intervenção, de forma a maximizar a eficiência.

3.7. Tipos de Manutenção

Com a evolução da tecnologia e dos processos produtivos até aos dias de hoje, muitas foram as variantes da manutenção que surgiram, agrupando-se por diferentes categorias conforme as suas características. Embora existam diversos tipos de manutenção, uma determinada organização não se pode cingir exclusivamente a um deles. Em vez disso, deve procurar uma participação conjunta dos mesmos, no sentido de alcançar um equilíbrio, e que o mesmo se faça sentir no cumprimento dos objetivos delineados inicialmente.

Em termos de organização das diversas variantes, a divisão assenta-se primeiramente no caso de a manutenção ser planeada, quando o equipamento permite o planeamento das ações da intervenção para um momento mais oportuno, ou não planeada, caso os defeitos ocorram de forma imprevista. De seguida destacam-se essencialmente dois tipos: a manutenção preventiva e manutenção corretiva. A figura 3.4 apresenta um esquema que ilustra a organização atual dos diferentes tipos de manutenção.

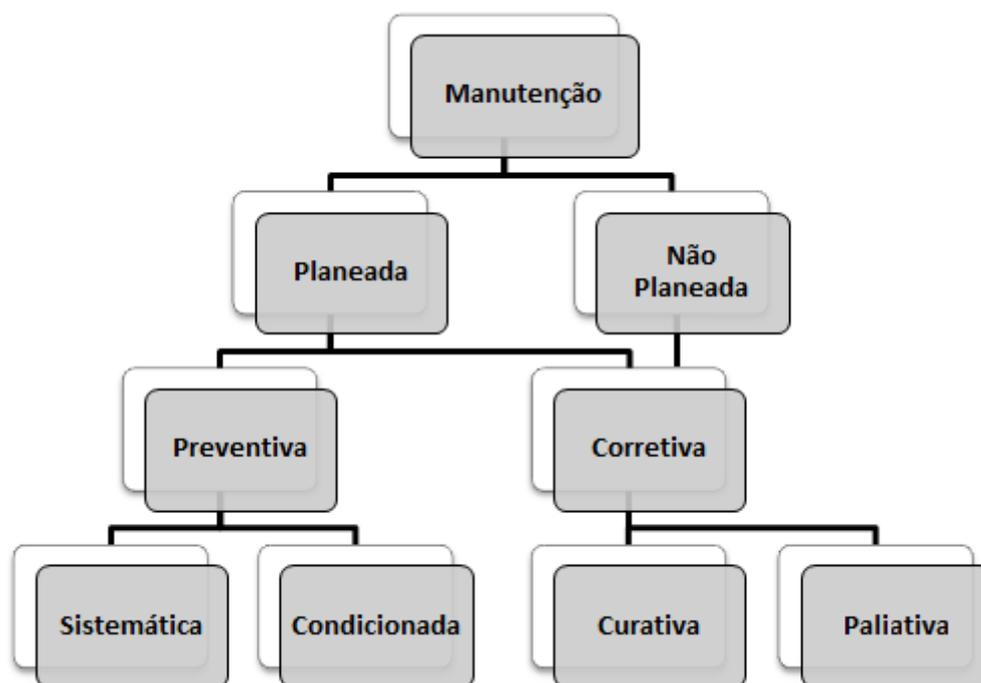


Figura 3.4. Tipos de Manutenção

Tão importante como conhecer a árvore estrutural das diferentes vertentes da manutenção, é também saber em que cada uma delas consiste e quando aplicadas. Os seguintes pontos sintetizam cada um destes tipos.

3.7.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é definida como sendo a manutenção efetuada após a deteção de uma avaria ou de um estado de degradação elevado, e destinada a repor determinado equipamento numa condição em que possa executar em pleno as funções requeridas com um rendimento conveniente.

Dependendo do defeito, esta pode ser considerada como um tipo de manutenção planeada ou não planeada. A não planeada está normalmente associada a um tipo de defeito aleatório, uma vez que é quase sempre inesperado. Esta acarreta sempre despesas e perdas de produção mais elevadas, devido à sua espontaneidade, estando normalmente associada às avarias mais graves. Por sua vez, a manutenção corretiva planeada, tal como o nome indica, é um tipo de manutenção em que a reparação é programada antes de ocorrer a falha total do sistema. Assim sendo, este naturalmente apresenta menos consequências.

Embora a manutenção preventiva seja, quase sempre, a melhor opção a tomar, a verdade é que ainda muitas indústrias recorrem a um tipo corretivo de manutenção, isto porque as avarias nem sempre são fáceis de prever ou de evitar.

3.7.1.1. Manutenção Corretiva Curativa

A manutenção curativa consiste num conjunto de práticas com capacidade de restaurar definitivamente o equipamento, aplicadas posteriormente à avaria, normalmente não planeada, ou resultantes do planeamento efetuado após o restauro provisório do mesmo, mediante a execução da manutenção paliativa.

Habitualmente, este é o tipo de manutenção mais dispendioso, uma vez que exige a maior demanda de gastos e a paragem do equipamento.

3.7.1.2. Manutenção Corretiva Paliativa

A manutenção paliativa está normalmente associada à prática de colocar o equipamento defeituoso em funcionamento provisório, quando este o permite, de forma a evitar custos acrescidos enquanto se programa a manutenção curativa futura, de forma a repor definitivamente a condição técnica do mesmo.

3.7.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é, tal como o nome indica, um tipo de manutenção planeada, efetuada com a intenção de evitar ou reduzir a probabilidade de ocorrência de avarias numa determinada máquina que não se encontra defeituosa, bem como a degradação do sistema ou do serviço por si prestado. Segue, normalmente, um plano de manutenção periódico com ações de manutenção prescritas, fundamentadas segundo uma análise financeira e de fiabilidade, com o intuito de avaliar o benefício e a rentabilidade da sua aplicação.

Embora o principal objetivo seja prevenir, cabe também à manutenção preventiva o planeamento das intervenções necessárias. Assim sendo, deve sempre existir uma complementaridade com a manutenção curativa, no sentido de garantir o custo mínimo.

3.7.2.1. Manutenção Preventiva Sistemática

A manutenção sistemática é um tipo de manutenção assente na manutenção preventiva, que consiste num conjunto de inspeções e ensaios realizados consoante um plano periódico preestabelecido segundo intervalos constantes, ou regido pelas horas de funcionamento, quantidade de ciclos, unidades produzidas, etc.

Este tipo de manutenção tem como objetivo a preservação do sistema numa condição de funcionamento ideal, proporcionando ainda um melhor equilíbrio da carga de trabalho da manutenção através da gestão ponderada das intervenções. Para isto, torna-se essencial a recolha de dados técnicos, com máximo rigor, de forma a identificar as correções necessárias a ser programadas, tendo sempre em conta os dados do fabricante e os resultados operacionais evidenciados.

3.7.2.2. Manutenção Preventiva Condicionada

A manutenção condicionada, muitas vezes apelidada como manutenção preditiva, é um tipo de manutenção adjacente ao progresso dos parâmetros medidos e avaliados, segundo análises ponderadas e previamente programadas. Esta é, portanto, um tipo de ação preventiva sustentada pelo conhecimento do estado de cada um dos componentes vitais das máquinas e equipamentos, servindo como um indicador para o seu estado de degradação e conseqüente necessidade de intervenção, com base no cruzamento da informação recolhida.

Embora seja notória a redução dos custos e todas as vantagens inerentes a este tipo de manutenção, este nem sempre é um método acessível do ponto de vista económico,

devido ao preço e à complexidade da aparelhagem requerida para determinar os parâmetros necessários. Torna-se, portanto, necessário realizar primeiramente uma avaliação do custo-benefício associado a este tipo de manutenção. Ainda assim, hoje em dia já é prática comum a contratação de empresas externas com serviços especializados nesta área, algo recorrente no CPS em algumas atividades. O fluxograma da figura 3.5 sintetiza o funcionamento geral da manutenção condicionada.

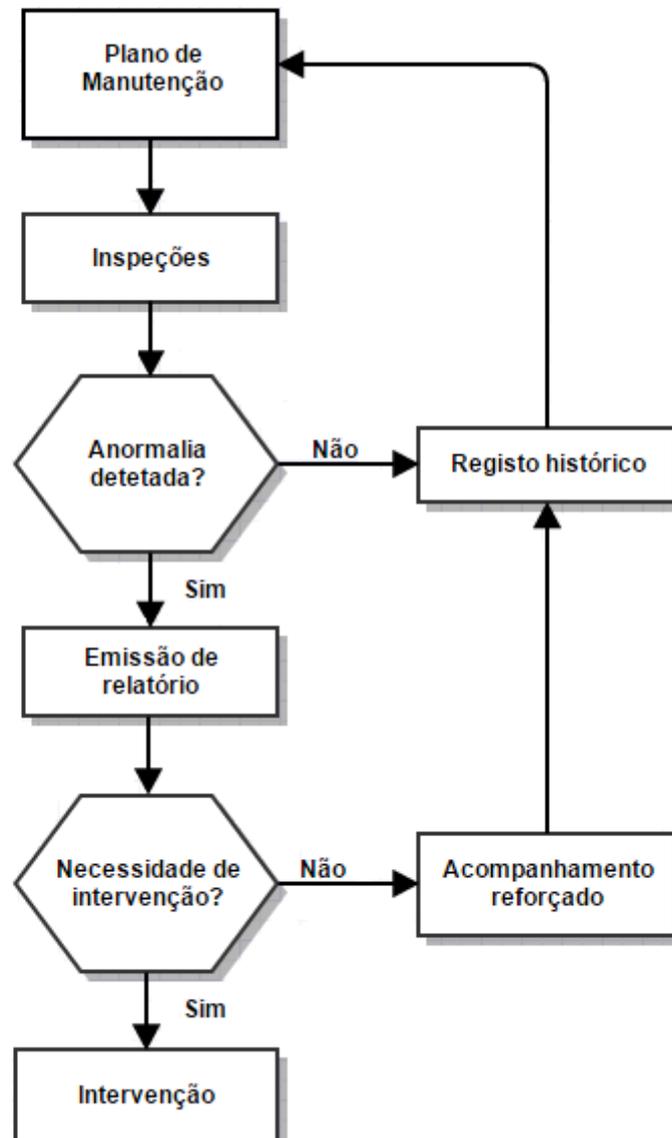


Figura 3.5. Esquema representativo da Manutenção Condicionada

Entre as diversas análises e medições incidentes na manutenção condicionada, destacam-se algumas como por exemplo a termografia, a análise de vibrações, a medição ruído, etc.

3.7.2.3. Manutenção Especial, Extraordinária ou de Oportunidade

Para além de todos os tipos de manutenção descritos, existe ainda a chamada manutenção oportunista, especial ou extraordinária, normalmente associada à manutenção preventiva, quando por diversos motivos não se encaixam em nenhuma das anteriores. Estas intervenções podem ser executadas mediante, por exemplo, a recomendação do fabricante, ou como muitas vezes acontece no CPS, a oportunidade gerada de intervir num equipamento que supostamente deveria estar em funcionamento, mas a paragem da linha de produção por outro motivo fez com que este ficasse disponível para tal.

3.8. A Manutenção no CPS

Ao longo dos últimos anos, a Manutenção tem evoluído consideravelmente entre o seio das empresas e das indústrias, com a crescente perceção de que esta é de facto uma prática vantajosa em diversos sentidos, proporcionando uma melhor gestão dos seus recursos e uma melhoria considerável das suas condições de trabalho.

A Cimpor, não alheia aos benefícios proporcionados pela manutenção, primou desde muito cedo pela implementação desta filosofia de trabalho entre as diversas unidades de produção, através do Serviço de Conservação. Assim, tal como já acontece na maioria das grandes indústrias, a manutenção é uma temática que assume uma importância significativa no dia-a-dia da unidade fabril, com equipas focadas em planeá-la e executá-la da melhor forma possível, garantindo assim o bom funcionamento de todo o sistema.

Embora o termo conservação ainda possa ser normalmente diferenciado de manutenção, a Cimpor, e conseqüentemente o CPS, não faz qualquer distinção entre estes. Assim, ainda que o termo conservação diga respeito às ações reservadas a manter os equipamentos nas suas condições ideais, as equipas responsáveis pela manutenção no CPS, para além de todas as práticas inerentes à manutenção, atuam também nesse sentido.

3.8.1. Organização do Serviço de Conservação

O planeamento da manutenção no CPS, tal como na maioria de outras instalações industriais, é um trabalho exigente e ao mesmo tempo complexo, devido à imensa diversidade e quantidade de equipamentos instalados, assumindo assim um papel determinante na garantia do bom funcionamento de todo o sistema produtivo. Por este motivo, o sucesso da manutenção inicia-se na sua organização, apresentando uma

estrutura coesa através das relações entre as diversas equipas e técnicos responsáveis por cada uma das tarefas.

Em termos de organização, o Serviço de Conservação é composto essencialmente por dois departamentos: um abrangendo a área técnica, também conhecido como Gabinete Técnico, que engloba todas as tarefas de preparação e inspeção, e outro a área operacional onde estão inseridas ambas as oficinas, elétrica e mecânica. Assim, pode-se afirmar que enquanto o Gabinete Técnico planeia, as oficinas executam.

De forma a melhor compreender a sua estrutura, o organograma representado na figura 3.6 ilustra a organização do Serviço de Conservação.

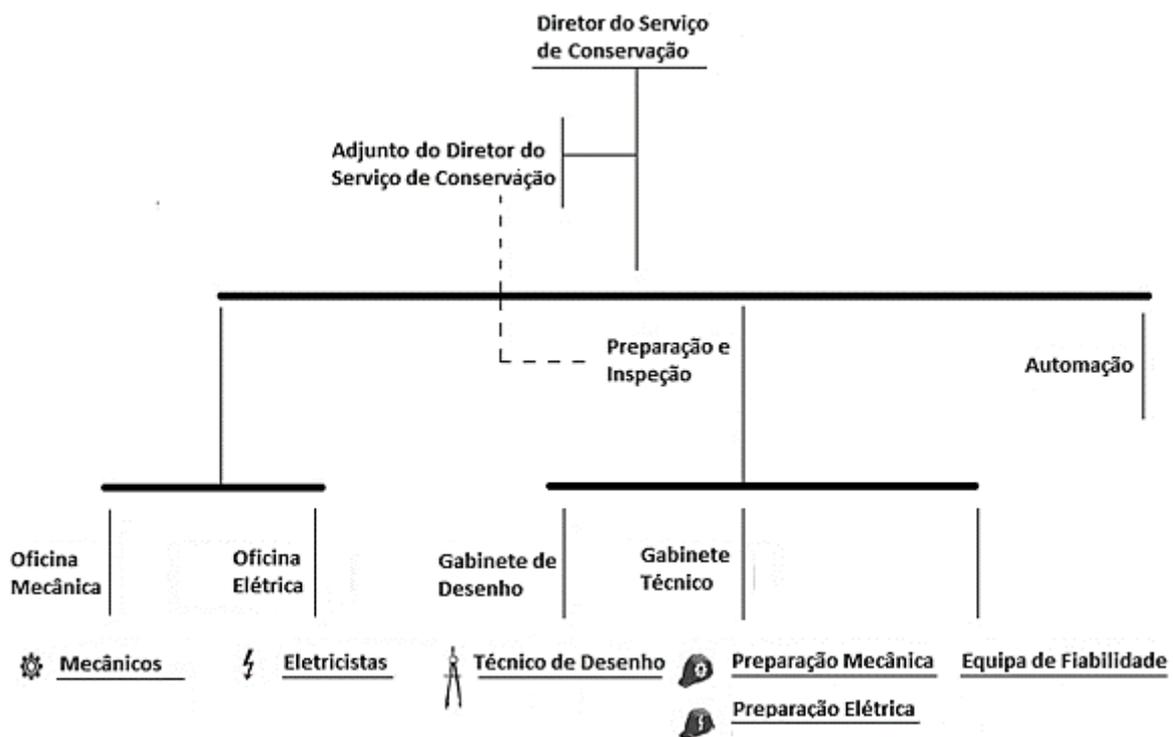


Figura 3.6. Organização do Serviço de Conservação do CPS

Como se verifica na figura anterior, o Serviço de Conservação do CPS é composto de forma hierárquica, abrangendo as diversas áreas necessárias ao planeamento e execução das tarefas de manutenção na unidade fabril, detendo ainda uma equipa responsável pela análise da fiabilidade dos equipamentos e das diversas secções da fábrica.

3.8.2. Planeamento, Preparação e Execução

O planeamento e a preparação da manutenção é algo meticulosamente realizado pelo Serviço de Conservação, em ordem a obter a maior eficácia possível nas tarefas executadas pelas oficinas. A fim de melhor compreender o seu funcionamento, pretende-se de seguida descrever algumas das práticas e métodos de manutenção utilizados, e, de um modo geral, dar a conhecer a forma como é realizada a Gestão da Manutenção no CPS.

Em termos de planeamento da manutenção, o Gabinete Técnico está incumbido de realizar os planos de manutenção para cada equipamento, seja ele elétrico ou mecânico. Cada tarefa nos planos deve respeitar uma determinada periodicidade, bem como a indicação se o equipamento se deve encontrar parado ou em funcionamento para a sua realização. Estes planos são normalmente elaborados tendo em conta as indicações do fabricante, o estado do equipamento, e a experiência acumulada pelo técnico ao longo do tempo.

É através dos planos de manutenção que semanalmente, nas oficinas, é feito um levantamento das tarefas a realizar, e que coincidem com os equipamentos parados naquela mesma altura, estando assim disponíveis para intervir. Após o conhecimento das funções a executar, estas tarefas são então distribuídas pelas equipas da respetiva oficina, ficando encarregues de as realizar e cumprir assim com os planos preestabelecidos.

Estas rotinas de manutenção preventiva são assim programadas em sintonia com o estado da produção, de modo a evitar as paragens desnecessárias da linha para intervir nos equipamentos, ou simplesmente não executar as tarefas delineadas previamente. Desta forma, no caso da natureza da tarefa o permitir, é possível ajustar a realização de uma determinada ação para uma data em que se saiba previamente que o equipamento em questão irá estar apto para a intervenção.

Anualmente, no CPS são também realizadas duas paragens gerais em cada uma das linhas de produção (paragens não coincidentes), com duração de aproximadamente 3 a 4 semanas, de forma a exercer todas as intervenções necessárias nos equipamentos que de outra forma não seria possível, como, por exemplo, ao forno. Esta é uma altura especialmente produtiva para o Serviço de Conservação, pois tendo a linha totalmente disponível, muitos acabam por ser os equipamentos intervencionados ao longo destas semanas.

Para além da manutenção contínua praticada no dia-a-dia da fábrica, seja ela de cariz preventivo ou corretivo, algumas tarefas específicas, como é o caso por exemplo da

lubrificação dos equipamentos mecânicos, são realizadas por empresas exteriores contratadas. A contratação de serviços em manutenção pode ser entendida como a transferência, para uma entidade exterior, da responsabilidade pela execução, total ou parcial, de atividades relacionadas com o programa de manutenção de uma empresa (GIAGI, 2005).

As razões que podem levar a esta escolha são várias, porém quase todas se refletem nas mesmas premissas: a redução dos custos fixos associados e o facto de exigir uma carga de trabalho superior à interna. Para além disso, existem outros motivos que levam a gestão do CPS a contratar serviços a empresas externas, destacando-se os seguintes:

- Conhecimento específico ou vasta experiência numa determinada área ou equipamento;
- Necessidade de licenças especiais para a realização de trabalhos;
- Necessidade de equipamento especializado e muitas vezes dispendioso.

Este último ponto incide sobretudo na realização das tarefas adjacentes à manutenção preventiva condicionada, ou manutenção preditiva, como é mais conhecida no CPS. Neste caso, a empresa recorre aos serviços de uma empresa especializada na prática da manutenção condicionada, contando permanentemente com alguns funcionários nas suas instalações, encarregues de realizar tarefas preditivas aos diversos equipamentos, como por exemplo: inspeção e medição de análises de vibrações, inspeções termográficas, controlos não destrutivos, verificação de conformidades, entre outras.

Em termos de ações da manutenção corretiva, estas são, sempre que possível, realizadas pelos profissionais do CPS. Ainda assim, quando a natureza da tarefa o exige, o CPS recorre à prestação de serviços de outras empresas para a sua realização, quer seja pela garantia do equipamento, pela dificuldade de execução, ou pela necessidade de conhecimento especializado numa determinada área, como acontece no caso da eletrónica.

Verifica-se portanto que no CPS, o Serviço de Conservação funciona como um todo, onde cada uma das equipas colabora para a concretização do mesmo objetivo: a correta aplicação das boas práticas da Manutenção.

3.9. Conclusão

Através da revisão bibliográfica realizada ao longo do presente capítulo, facilmente se compreende a importância da Manutenção como prática contínua no seio das indústrias. Verificou-se que o seu conceito se encontra em constante transformação, consoante a evolução da tecnologia e consequentemente dos processos industriais, impondo assim um constante dinamismo nos exercícios da equipa responsável pela manutenção.

Analisou-se também a definição de Manutenção, as diversas vertentes que dela convergem, e a análise dos custos associados, de forma a abordar alguns dos pontos mais convenientes da sua gestão, e da forma como esta é exercida. Por fim, foi verificada a forma como a manutenção é realizada no CPS, através da interação entre as diversas equipas, cada uma delas especializada num determinado domínio, e que em conjunto mantêm o bom funcionamento dos equipamentos e do processo produtivo da unidade fabril.

Conclui-se, portanto, que hoje em dia uma correta gestão de ativos passa necessariamente pela implementação de uma política de manutenção preventiva, de forma a controlar, identificar, analisar, e a intervir, com tempo, num equipamento suscetível a falhas. Desta forma, mediante a escolha correta do tipo de ações a aplicar, será possível encontrar o equilíbrio entre o desempenho do equipamento e a rentabilização dos custos associados a esta operação.

4. MOTORES ELÉTRICOS ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

4.1. Introdução

Após o registo da patente por *Nikola Tesla*, o motor assíncrono (ou de indução) revolucionou por completo a indústria através da mecanização dos processos produtivos. Hoje em dia, estes motores detêm uma posição de destaque, com uma taxa de utilização de cerca de 80% na indústria, devido não só às suas características de funcionamento, como também pelo facto do custo de manutenção ser menor quando comparado com o de outras máquinas eléctricas.

Apesar da notória preferência por este tipo de motor, a escolha da máquina irá sempre recair nos critérios dependentes da aplicação a que o motor será sujeito, como por exemplo o tipo de tensão a aplicar, as condições ambientais, a potência, o binário e velocidade requerida, eficiência, entre outros. A figura 4.1 ilustra os diversos tipos de motores de corrente alternada (CA) existentes.

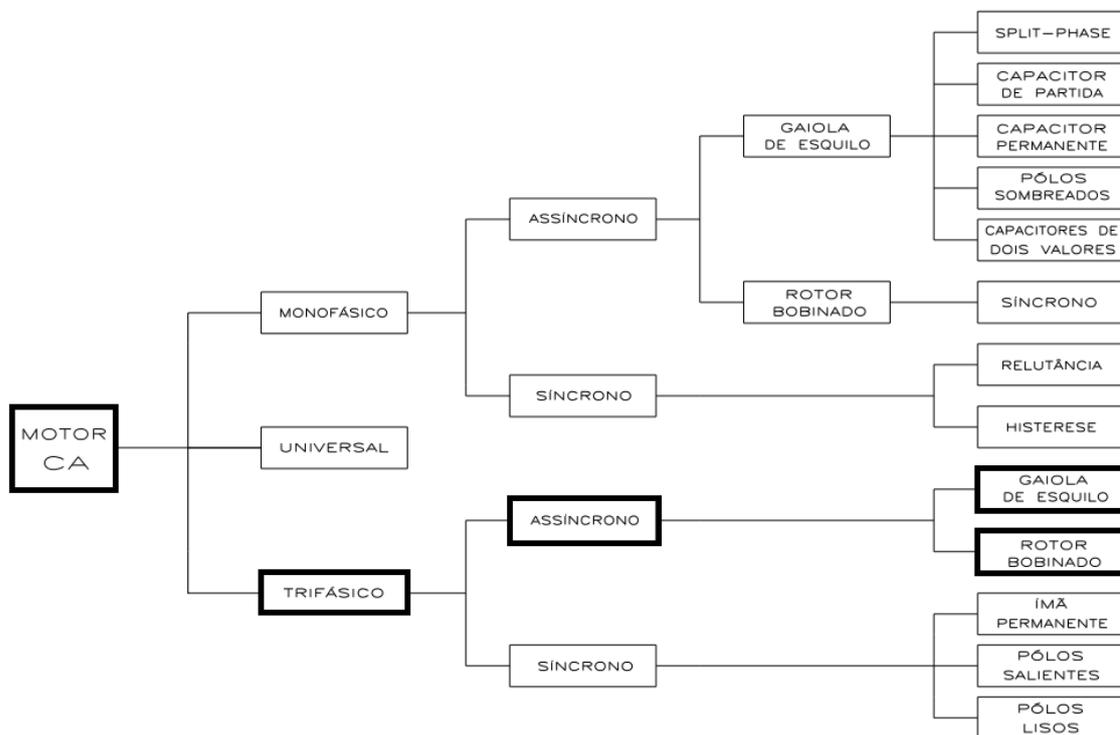


Figura 4.1. Tipos de motores eléctricos de corrente alternada (WEG, 2015)

Verificam-se, destacados, os dois motores assíncronos trifásicos existentes, sendo também os principais tipos de motores utilizados no CPS. São estes o motor assíncrono trifásico de rotor em gaiola de esquilo, também conhecido como rotor em curto-circuito, e

o motor de rotor bobinado, ou de anéis. Uma vez que grande parte do presente relatório incide, sobretudo, na manutenção deste tipo de motor, considerou-se relevante apresentar algumas noções básicas sobre o funcionamento e a constituição destas máquinas, por forma a melhor compreender os conceitos expostos ao longo do trabalho.

4.2. Noções Fundamentais

Como se pode verificar pela figura 4.1, as máquinas de CA dividem-se em dois grandes grupos: as síncronas e as assíncronas. A grande diferença entre uma e outra está presente na sua frequência de funcionamento, pois um motor diz-se síncrono quando funciona à velocidade de sincronismo, ou seja, à mesma frequência da tensão de alimentação (tipicamente os 50 ou 60 Hz da rede pública), ou assíncrono, quando este gira a uma velocidade que não corresponde à sua frequência nominal, sendo que a variação da velocidade nestas máquinas é efetuada através da variação da frequência e da tensão.

Neste caso, ao contrário do que acontece nos motores de corrente contínua (CC), em que tanto o estator como o rotor são submetidos a uma alimentação, no caso dos motores CA assíncronos apenas o estator requer obrigatoriamente alimentação. Por sua vez, o rotor recebe, por indução, a energia necessária para o seu funcionamento, através do movimento relativo dos seus condutores e do campo girante produzido pelas correntes no estator. Para isto, é necessário que os enrolamentos do rotor estejam curto-circuitados, permitindo às correntes induzidas percorrer um circuito fechado e assim criar um campo magnético rotórico. É por este motivo que os motores assíncronos são também designados por motores de indução.

Em termos de utilização, embora também existam motores assíncronos monofásicos (normalmente de baixa potência, devido às suas limitações), estes costumam ser mais recorrentes em aplicações domésticas, enquanto a indústria, como referido anteriormente, é constituída essencialmente por motores assíncronos trifásicos.

4.3. Constituição

A figura 4.2 apresenta a constituição de um motor de indução com rotor em gaiola de esquilo. De notar que embora ao longo do trabalho sejam abordados motores assíncronos com rotor em gaiola de esquilo e principalmente de rotor bobinado, de maior ou menor dimensão (BT e MT), o princípio de funcionamento e por consequente a sua constituição não divergem muito daquela apresentada na figura seguinte.

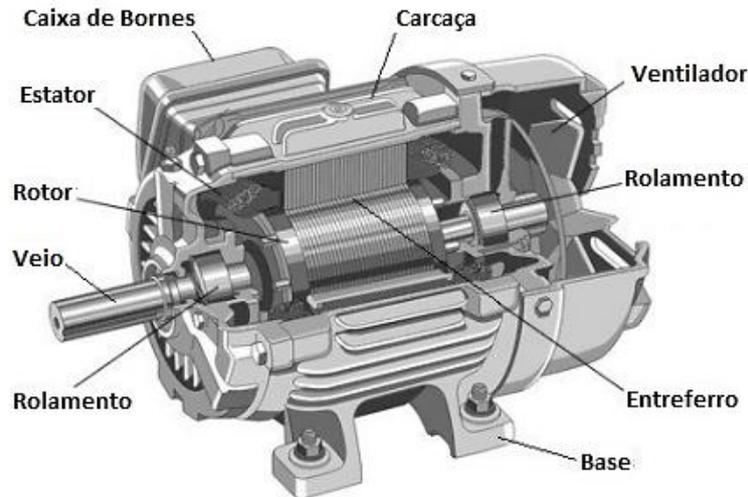


Figura 4.2. Constituição de um motor de indução (Francisco, 2006)

De entre os constituintes representados na figura anterior, os motores possuem dois elementos essenciais para o seu funcionamento, responsáveis por grande parte dos fenómenos eletromagnéticos que os caracterizam: o estator e o rotor, também designados respetivamente por indutor e induzido.

4.3.1. Estator

O estator é a parte fixa do motor, não apresentando diferenças significativas entre um e outro. É constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si. Estas possuem cavas nas quais são colocados os enrolamentos em cobre alimentados por CA que fornece a energia à máquina, de forma a poder ser criado um campo girante. O conjunto é então abrigado no interior de uma carcaça normalmente de ferro ou aço, tal como ilustrado na figura 4.3.



Figura 4.3. Estator (esquerda) e estator inserido na carcaça (direita) (Francisco, 2006)

4.3.2. Rotor

O rotor constitui a parte móvel do motor, estando apoiado no veio de rotação responsável por transmitir à carga a energia mecânica proveniente da energia elétrica consumida. É constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de material condutor ou enrolamentos de cobre, dependendo do tipo de motor.

Este é, portanto, o elemento que faz a distinção entre os motores assíncronos existentes: os de rotor em gaiola de esquilo e rotor bobinado.

4.3.2.1. Rotor em Gaiola de Esquilo

O rotor em gaiola de esquilo é constituído por barras condutoras (normalmente de cobre ou alumínio) dispostas paralelamente ao longo de todo o seu perímetro, curto-circuitadas nas extremidades por anéis condutores. Estas barras são normalmente dispostas com uma determinada inclinação relativamente ao eixo, com o intuito de melhorar as características de arranque e diminuir os ruídos magnéticos durante a operação. A título de exemplo, a figura 4.4 ilustra um rotor em gaiola de esquilo.

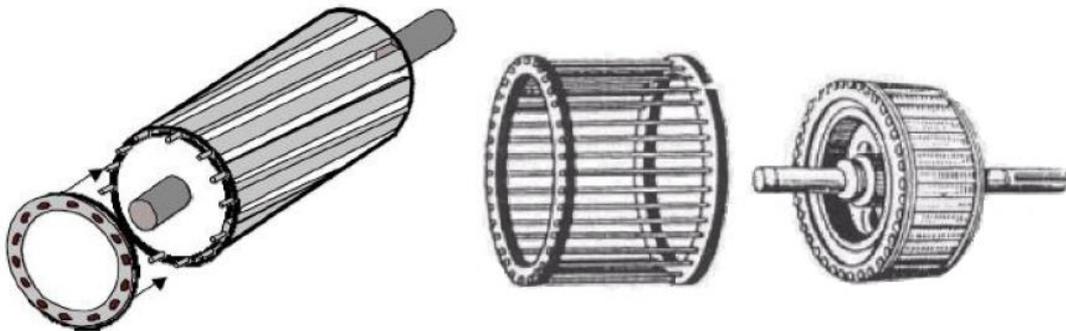


Figura 4.4. Exemplo um rotor em gaiola de esquilo (Gonçalves, 2007)

Devido à ausência de um sistema coletor e de escovas, o motor vê o seu arranque ser dificultado devido às elevadas correntes geradas neste instante, não sendo recomendado para aplicações de elevado binário resistente. Por outro lado, isto faz com que quase não seja necessária manutenção, tornando-o o motor ideal para quase todas as operações e sendo por isso o mais utilizado nas unidades fabris.

4.3.2.2. Rotor Bobinado

A principal característica dos rotores bobinados é o facto destes possuíram enrolamentos, normalmente de cobre, dispostos ao longo das ranhuras do rotor. À semelhança do que acontece com os enrolamentos do estator, esta bobinagem é constituída por três enrolamentos condutores, dispostos com um ângulo de 120° entre si. Estes enrolamentos são então ligados a um sistema coletor composto por três anéis (um por cada fase), que por sua vez, através de um conjunto de escovas, permitem a ligação com resistências exteriores variáveis. Este método permite limitar as correntes geradas no arranque, e controlar a velocidade do motor, possibilitando arranques suaves e progressivos. A figura 4.5 exemplifica um rotor bobinado.

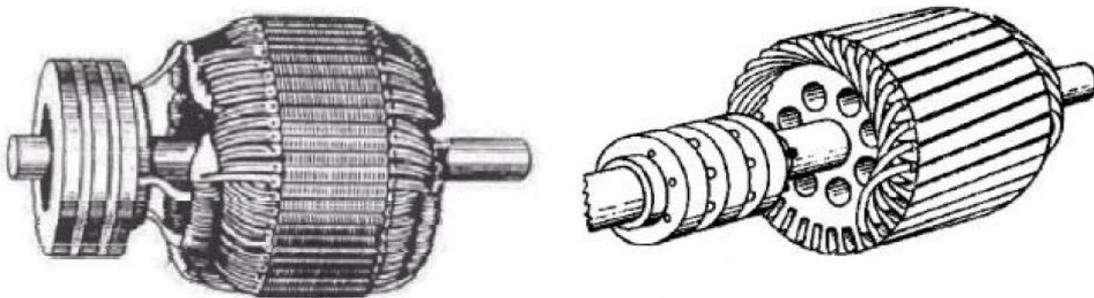


Figura 4.5. Exemplo um rotor bobinado (Gonçalves, 2007)

Devido às características enunciadas, este motor requer um investimento inicial mais elevado e um maior nível de manutenção quando comparado aos de rotor em curto-circuito. Por estes motivos, o motor de rotor bobinado é normalmente apenas utilizado nas aplicações que requerem um elevado binário de arranque.

4.4. Arranque

O arranque dos motores de indução é sempre um aspeto relevante a ter em conta na sua instalação. A maioria deles são suficientemente robustos para arrancarem diretamente da rede, isto é, acelerarem com carga até à sua velocidade nominal, estando também aplicada a tensão nominal. No entanto, principalmente no caso de motores MT, devido à sua dimensão e ao binário resistivo associado ao acionamento, o arranque direto pode ser prejudicial não só devido às elevadas correntes geradas neste instante (cinco a sete vezes

superiores à corrente nominal), como também ao desgaste a que o motor está sujeito. Por estes motivos, é importante existir um método de arranque alternativo de forma a controlar a máquina neste momento, como tal acontece no CPS. Neste caso, são utilizados dois métodos distintos dependendo do tipo de motor associado:

- **Variador de Velocidade:** Este método é particularmente utilizado nos motores de rotor em gaiola de esquilo, vindo substituir o arranque em estrela-triângulo. O variador de velocidade permite controlar tanto a tensão como a frequência de alimentação, possibilitando ao motor um arranque mais adequado, bem como um maior controlo ao longo do seu funcionamento.
- **Arrancador Rotórico:** Este é o método utilizado nos motores de rotor bobinado, e consiste na utilização de uma resistência variável associada às escovas (de carvão, na sua maioria) presentes no rotor, que por sua vez se encontram em série com o anel coletor de cada fase. No caso dos motores MT, devido à sua dimensão, é utilizado um arrancador rotórico que consiste normalmente num depósito com uma solução eletrolítica de dimensões apropriadas à potência nominal do motor, com eléctrodos móveis que ao se aproximarem causam uma variação da resistência de 100% a 1%. Ao chegar ao valor mínimo da resistência, esta é anulada pelo curto-circuito do sistema, o que faz com que o motor passe a funcionar como um motor de rotor em gaiola de esquilo. O eletrólito em questão é constituído por uma solução de carbonato de sódio diluído em água doce desmineralizada, juntamente com uma pequena quantidade de óleo adequada para evitar a evaporação da água devido ao calor gerado no momento do arranque da máquina.

4.5. Manutenção de Motores MT

Os motores MT são, por norma, equipamentos com um custo de aquisição bastante elevado, e muitas vezes feitos e adaptados à medida do cliente, indo ao encontro das funções que este vai desempenhar numa determinada instalação. Para além disso, devido à sua elevada capacidade de trabalho, estes motores estão normalmente associados a tarefas de extrema importância para o bom funcionamento de uma atividade.

Tendo em conta as razões mencionadas, é extremamente conveniente para uma empresa assegurar uma política de prevenção destinada especificamente a este tipo de equipamento, de forma a não comprometer a sua atividade nem a gerar custos desnecessários. É neste sentido que se insere a manutenção dos motores MT, devendo ser,

primeiramente, de natureza preventiva, de forma a assegurar a máxima fiabilidade e rendimento possível do mesmo, e apenas em último caso de natureza corretiva, pois esta já implica o seu não funcionamento e todas as consequências a que a sua paragem conduz.

De forma a melhor conhecer os cuidados e manutenção a aplicar a estas máquinas, torna-se importante conhecer a probabilidade de avarias a que cada componente está sujeito. A tabela 4.1 apresenta os principais componentes responsáveis pelas avarias dos motores.

Tabela 4.1. Componentes responsáveis por avarias em motores (IEEE)

Componente	Avarias em motores [%]
Chumaceiras	41
Enrolamentos Estatóricos	37
Enrolamentos Rotóricos	10
Outros	12

Verifica-se pela tabela anterior que a maioria das avarias (47%) tem origem nos enrolamentos. Tendo este facto em conta, facilmente se conclui a importância de existir uma supervisão reforçada a estes componentes, no sentido de evitar que os mesmos causem problemas. Esta supervisão poder-se-á refletir, por exemplo, numa maior diversidade dos testes realizados, ou numa menor periodicidade das tarefas presentes originalmente no plano de manutenção da máquina.

Entre as tarefas referentes à manutenção preventiva/preditiva dos motores MT, destacam-se as seguintes:

- Análise das escovas dos anéis coletores;
- Análise de vibrações;
- Análise termográfica;
- Medição da resistência de isolamento;
- Índices de absorção (I_a) e polarização (I_p);
- Limpeza e estado da ventilação;
- Lubrificação;
- Verificação das ligações e proteções;
- Vetor de *Park*.

Verifica-se, portanto, que as tarefas da manutenção preventiva se baseiam no acompanhamento do equipamento, dos resultados, e na análise da tendência de comportamento das grandezas medidas, permitindo assim determinar o melhor momento para a realização de uma ação corretiva.

Outro assunto pertinente que diz respeito à manutenção é quando esta se vai realizar. Isto é importante pois, no caso da manutenção preventiva, algumas tarefas apenas se podem realizar quando o motor se encontra parado. Por sua vez, a manutenção preventiva condicionada é quase toda ela feita com o motor em funcionamento, pois apenas se podem medir vibrações e temperaturas com o mesmo a trabalhar. Assim sendo, torna-se importante adequar os planos de manutenção a esta realidade, agendando todas as tarefas que envolvem o motor parado para datas comuns, e aproveitando, sempre que possível, alguma paragem da linha de produção para realizar a intervenção, de forma a minimizar os custos de não-produção do equipamento. Deve existir, portanto, um critério não só na escolha das tarefas da manutenção, como também no seu agendamento, nas suas periodicidades, e no estado de funcionamento da máquina.

De notar também que embora à partida se possa assumir que a manutenção preventiva condicionada é um conjunto de testes realizados a uma máquina devido ao desgaste resultante do seu funcionamento, isto raramente se verifica no caso dos motores MT. Na verdade, tomando como exemplo os planos de manutenção do CPS, existe um conjunto de tarefas e procedimentos a serem realizados a estes motores quando presentes no armazém, quer sejam novos ou não. Primeiramente, o motor deve ser armazenado num local isento de humidade, vibrações, vapores, variações de calor acentuadas, roedores e insetos. Uma vez asseguradas estas condições, devem ser realizadas periodicamente as seguintes tarefas, referentes à manutenção de armazenamento:

- Rodar o veio do motor em 30°;
- Verificação das resistências de aquecimento;
- Verificação da proteção do veio, do sistema coletor e das escovas;
- Medição das resistências de isolamento.

Em suma, verifica-se que existem inúmeros procedimentos a realizar aos motores de MT, independentemente destes se encontrarem ou não em funcionamento, sendo que uma gestão equilibrada e sistemática dos mesmos poder-se-á refletir, essencialmente, no nível de fiabilidade e rendimento da máquina, bem como um aumento considerável do seu tempo de vida útil.

4.6. A Utilização dos Motores MT no CPS

O funcionamento do CPS recorre a centenas de motores, quase todos de indução trifásicos, distribuídos ao longo da instalação e responsáveis pelas mais variadas tarefas. No que diz respeito a motores MT, a unidade fabril soma cerca de 20 no total (fora aqueles de reserva), a maioria exclusivos dos diversos moinhos que nela se encontram (moinhos de cru, cimento e carvão), à secção da britagem, dividida em duas zonas (britagem 1 e 2), de dois separadores dinâmicos de material pertencentes aos moinhos de cru, e a um ventilador de tiragem do eletrofiltro na linha 3, responsável pelo despoejamento.

As tarefas associadas a estes motores são bastante exigentes em termos de binário, e portanto necessitam de motores cuja potência disponível vá de encontro à necessária, daí a sua utilização. No que toca à alimentação, todos os motores MT presentes no CPS são trifásicos e alimentados a 6 kV, sendo que esta é a tensão aos terminais do secundário dos transformadores da subestação que alimentam a unidade fabril, com quatro transformadores de 60/6 kV.

Estes motores são, na sua maioria, de rotor bobinado devido à necessidade de controlar o binário no momento do arranque através da regulação da resistência, como já referido anteriormente, à exceção da zona da britagem 1 que recorre a dois motores MT de rotor em curto-circuito, onde é feito o arranque direto auxiliado apenas por um sistema de embraiagem de forma a controlá-lo nesse instante.

4.6.1. Manutenção de Motores MT no CPS

Tendo em conta tudo o que foi visto até então, facilmente se verifica que existe, de facto, um certo cuidado a ter com este tipo de equipamentos, algo que se reflete na quantidade e variedade de tarefas alusivas aos motores MT, no que diz respeito à manutenção preventiva. Isto não é exceção no CPS, onde a manutenção destes equipamentos é tida em bastante consideração pela equipa responsável do Serviço de Conservação.

De seguida são apresentados exemplos da manutenção preventiva e preditiva aos motores MT no CPS, bem como de algumas intervenções realizadas, complementando-os com imagens reais dos procedimentos e avarias verificadas.

4.6.1.1. Limpeza e Estado da Ventilação

Embora a limpeza seja um procedimento relativamente simples e fácil de executar nos motores, este é essencial no CPS por se estar perante uma indústria de cimento. Para isto, deve-se manter o motor limpo sem acumulação exagerada de poeiras na caixa de ligações, nos enrolamentos e no sistema de ventilação, dando-se especial atenção a este último, de forma a evitar o aquecimento exagerado do mesmo. De notar que a periodicidade da limpeza depende do local da instalação onde o motor se encontra a trabalhar, pois existem sítios mais sujeitos à poeira do que outros.

A limpeza deve ainda ser efetuada a seco e de preferência através de aspiração e não por ar comprimido, para evitar introduzir as poeiras em locais não acessíveis. A figura 4.6, referente a um dos centros de produção de Moçambique, exhibe o exemplo da importância da limpeza dos motores.

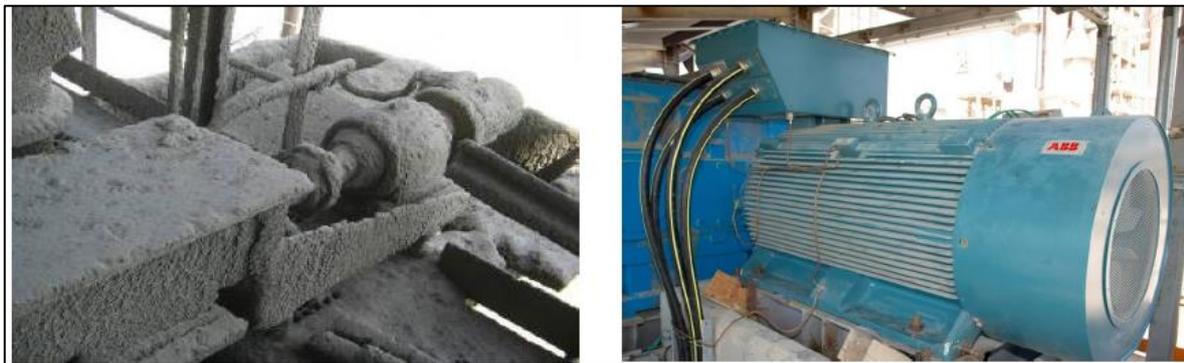


Figura 4.6. Mau exemplo (à esquerda) e bom exemplo (à direita) de limpeza

Os sistemas de ventilação deverão ser inspecionados periodicamente para que se mantenha a capacidade de ventilação original, assegurando assim um arrefecimento correto da máquina. Nos motores MT o controlo da temperatura dos enrolamentos é normalmente efetuado continuamente através de sondas de temperatura (*PT100*), daí melhor se compreender quando existe algum problema dessa natureza.

4.6.1.2. Análise Termográfica

A termografia é uma técnica de medição de temperatura mediante a utilização de uma câmara de raios infravermelhos. Quando apontada para o motor (em funcionamento), esta fornece uma imagem que permite, através de uma escala de cores, verificar os pontos com temperaturas acima do normal. Embora seja uma técnica aparentemente simples, esta permite detetar enumeras falhas no motor dependendo de onde se encontram os pontos

quentes, como por exemplo avaliar o estado de condição dos cabos, desapertos dos mesmos, mau contacto nas ligações, mau posicionamento ou desgaste acentuado das escovas, entre outros.

A título de exemplo, foi efetuada uma termografia ao sistema coletor do motor MT do ventilador do forno da linha 3, representado na figura 4.7, e o respetivo resultado é apresentado na figura 4.8.

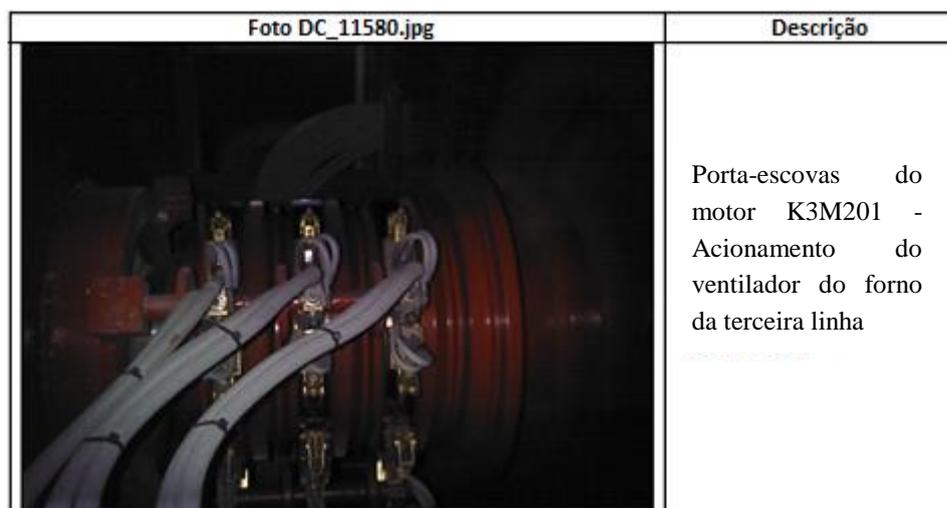


Figura 4.7. Representação do local a ser efetuada a termografia

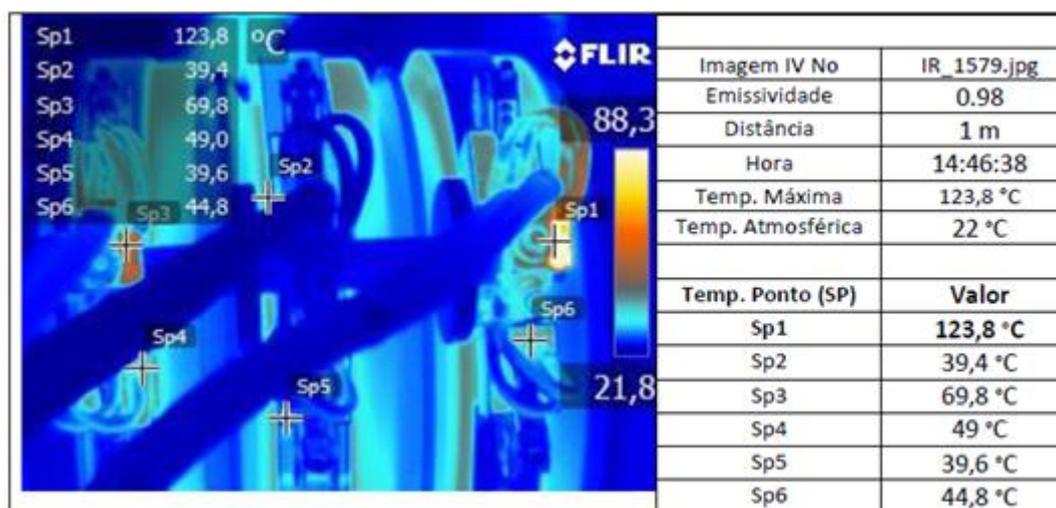


Figura 4.8. Resultados da termografia

Como se pode verificar pela figura 4.8, foi detetada na ligação de uma escova uma temperatura bastante elevada em relação às restantes (123,8 °C). Como tal, foi entendido

que se deveria proceder à sua substituição, pois a temperatura anormal sugere um provável problema ao nível da escova.

4.6.1.3. Lubrificação

Ao contrário do que acontece em muitos motores de baixas potências, onde a lubrificação pode ser vista quase como uma tarefa secundária, a lubrificação dos motores MT é uma tarefa extremamente relevante. A figura 4.9 ilustra um motor cuja aplicação da lubrificação foi mal efetuada, vertendo o excesso para o exterior. Este tipo de lubrificação pode acarretar diversas anomalias, entre elas um aumento anormal de temperatura.



Figura 4.9. Exemplo de um motor mal lubrificado

Na aplicação de massas próprias e outros tipos de lubrificação mais específicos, existe uma equipa encarregue de o fazer. Como a temperatura dos rolamentos aumenta temporariamente com a injeção de massa nova (entre 15 a 20 °C), a sua colocação deve ser feita em pequenas quantidades de cada vez.

4.6.1.4. Análise de Vibrações

Esta análise consiste na medição da amplitude e da frequência das vibrações em determinados pontos do motor, sendo esta efetuada através de um sensor chamado acelerómetro, ligado a uma unidade de aquisição de dados, como se pode observar na figura 4.10. Os valores recolhidos são então tratados e apresentados sob a forma de um

espectro de frequências, e é pela análise da amplitude dessas frequências que se torna possível identificar se existe ou não avaria, bem como o estado e a gravidade da mesma.



Figura 4.10. Recolha de dados de uma análise de vibrações

Alguns dos defeitos detetados por uma análise de vibrações são, por exemplo, o desequilíbrio dos rolamentos, desalinhamento do acoplamento, excentricidade ou problemas de fixação do motor, fissuras, ressonância, folgas, etc.

A figura seguinte ilustra o espectro de harmónicos referente a uma análise de vibrações, com o objetivo de verificar o estado de condição de um dos rolamentos de um motor MT.

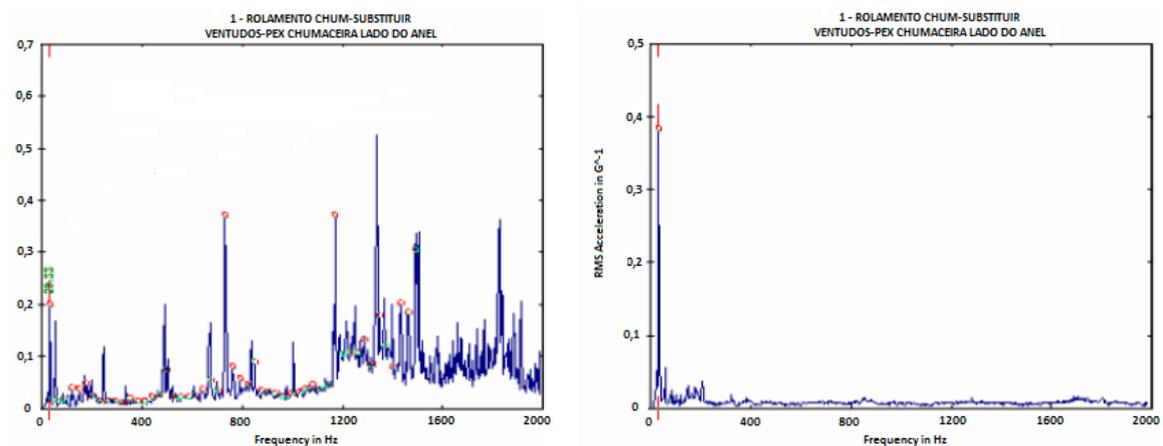


Figura 4.11. Espectro de harmónicos de uma análise de vibrações a um rolamento

Através da análise da figura anterior, concluiu-se através do quadro à esquerda que o rolamento se encontra num estado de avançada degradação, quando comparado com o quadro da direita, que representa o espectro de harmónicos típico de um rolamento novo. Nota-se que enquanto o quadro da direita apresenta apenas uma amplitude elevada para a frequência nominal (50 Hz), o da esquerda apresenta diversos harmónicos significativos, principalmente nas altas frequências, o que originou uma troca do rolamento defeituoso.

4.6.1.5. Vetor de *Park*

A análise de Vetor de *Park* consiste na monitorização computacional da representação das correntes (trifásicas) do estator e/ou, no caso dos motores de rotor bobinado, do rotor, devido à presença de enrolamentos e de correntes a circular entre eles, embora este último teste não se realize no CPS. Este método constitui assim uma ferramenta de diagnóstico de avarias nos enrolamentos dos motores de indução trifásicos. A aquisição dos dados é feita através de pinças amperimétricas e de uma unidade de aquisição de dados como um osciloscópio.

A representação das correntes de um motor ideal (totalmente equilibrado) corresponde a uma circunferência, pelo que qualquer problema que afete o equilíbrio eléctrico do motor altera o seu formato. Em termos de avarias, esta análise permite detetar barras fraturadas, curto-circuito entre espiras do mesmo enrolamento, bem como níveis de excentricidade do motor. As figuras seguintes apresentam exemplos de defeitos perceptíveis através da análise de Vetor de *Park* a um rotor de um motor MT de rotor em gaiola de esquilo.

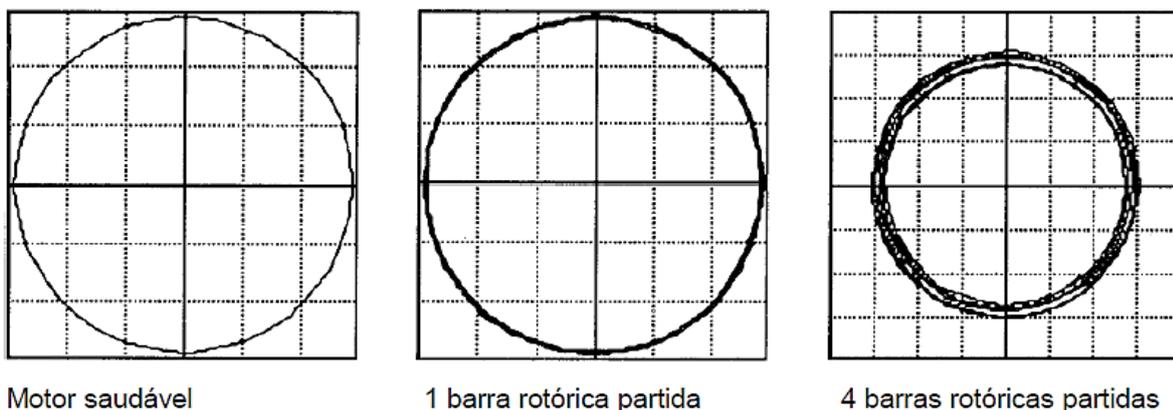


Figura 4.12. Resultados da análise de Vetor de *Park* (barras partidas)

Segundo a figura 4.12, na representação da esquerda tem-se o resultado expectável para um motor saudável, em funcionamento normal. No quadro central nota-se uma única

circunferência porém mais marcada, o que neste caso representa uma barra rotórica partida. Quanto mais circunferências forem sobrepostas, mais barras rotóricas estarão partidas, o que é perceptível no quadro da direita, onde se verificam quatro barras partidas.

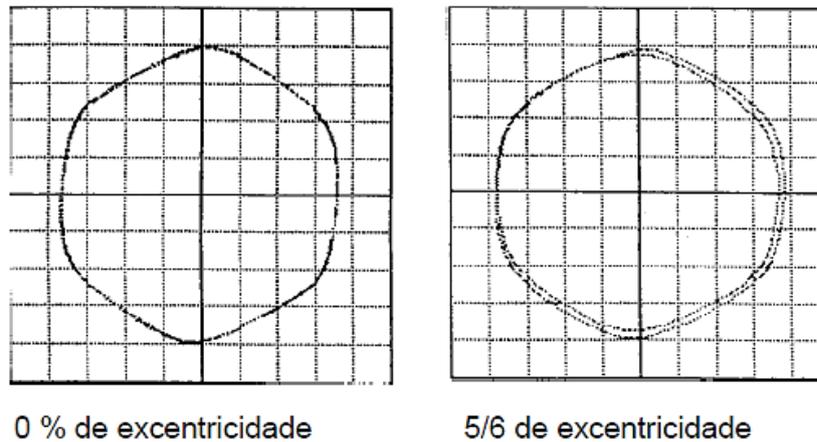


Figura 4.13. Resultados da análise de Vetor de *Park* (excentricidade)

A figura anterior ilustra o resultado da análise de Vetor de *Park* a um motor que apresenta um certo nível de excentricidade. Esta é uma consequência do desequilíbrio das correntes, e pode levar, em casos extremos, à destruição do estator ou do rotor.

No CPS, tal como a análise termográfica e de vibrações, o teste de Vetor de *Park* é conduzido por uma empresa subcontratada, responsável por o executar periodicamente em intervalos de 6 meses, 1 ano ou 2 anos, dependendo da severidade dos resultados.

4.6.1.6. Medição da Resistência de Isolamento

Os testes de isolamento advêm, essencialmente, da necessidade de preservar o estado de condição do motor, de forma a proteger e prolongar o tempo de vida útil do mesmo, através da deteção de problemas ao nível da qualidade e do estado de degradação do seu isolamento.

Segundo a norma IEEE Std. 43-2000, a medição da resistência de isolamento é feita através de um megómetro, aplicando uma tensão contínua ao longo de 1 minutos, cuja amplitude varia consoante a tensão nominal do motor, registando a queda de tensão resultante da mesma. No caso do CPS, para um motor MT (6 kV), a tensão aplicada no estator é de 2,5 kV, enquanto no rotor são aplicados 500 V.

Os valores da resistência de isolamento, medidos nos ensaios, são fortemente dependentes da temperatura dos enrolamentos estatóricos ou rotóricos. Assim sendo, deve ser feita uma correção através de um fator multiplicativo, para uma temperatura de 40°C, de forma a obter valores credíveis.

A resistência de isolamento corrigida é dada pela seguinte fórmula:

$$R_{40^{\circ}\text{C}} = R_t \times K_{t40^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

Onde:

$R_{40^{\circ}\text{C}}$ – Resistência de isolamento, em $\text{M}\Omega$, a 40°C;

R_t – Resistência de isolamento, em $\text{M}\Omega$, à temperatura ambiente dos enrolamentos;

$K_{t40^{\circ}\text{C}}$ – Coeficiente de correção

De notar também o facto do valor mínimo da resistência de isolamento para um determinado motor ser determinado pela seguinte regra (IEEE):

$$R_{min} = V_{nom} (kV) + 1 \quad (2)$$

Por fim, o valor obtido deve ser comparado com aqueles presentes na tabela 4.2 (WEG, 2015), de forma a melhor avaliar o estado do isolamento do motor.

Tabela 4.2. Avaliação da resistência de isolamento

Resistência de Isolamento ($\text{M}\Omega$)	Classificação
$\leq R_{min}$	Péssimo
< 50	Perigoso
50 a 100	Razoável
100 a 500	Bom
500 a 1000	Muito Bom
> 1000	Excelente

4.6.1.7. Índice de Polarização e Índice de Absorção

A análise dos índices de polarização (IP) e absorção (IA) é, de certa forma, uma vertente da medição da resistência de isolamento especificada anteriormente, no sentido em que é através desta resistência que se chega aos índices pretendidos. Estes têm como finalidade verificar as condições de isolamento do motor, sendo que o IP permite determinar os níveis de humidade, poeira e contaminação presentes nos enrolamentos do motor, enquanto o IA indica o grau em que essa contaminação já se deu nos materiais isolantes do mesmo.

O procedimento desta análise, como já referido anteriormente, passa por aplicar uma tensão contínua ao motor através de um megómetro, e pelo registo dos valores da resistência após 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos. De seguida, aplicam-se as fórmulas apresentadas em seguida para obter os valores dos respetivos índices.

$$IP = \frac{\text{Resistência ao fim de 10 minutos}}{\text{Resistência ao fim de 1 minuto}} \quad (3)$$

$$IA = \frac{\text{Resistência ao fim de 1 minuto}}{\text{Resistência ao fim de 30 segundos}} \quad (4)$$

Os valores dos índices calculados, segundo a norma IEEE Std. 43-2000, devem então ser analisados consoante a sua classificação, de acordo com os dados da tabela 4.3 (WEG, 2015), de modo a melhor compreender os resultados obtidos e as medidas a tomar caso necessário.

Tabela 4.3. Avaliação dos índices de polarização e de absorção

Índice de Polarização	Índice de Absorção	Classificação
< 1	----	Péssimo
1 a 1,5	< 1,1	Perigoso
1,5 a 2	1,1 a 1,25	Razoável
2 a 3	1,25 a 1,4	Bom
3 a 4	1,4 a 1,6	Muito Bom
> 4	> 1,6	Excelente

A título de exemplo, a figura 4.14 ilustra a ficha preenchida de um ensaio de resistência de isolamento e respetivos índices de polarização e absorção num motor MT de rotor bobinado do CPS, responsável pelo acionamento de um moinho de carvão.

CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA



FABRICANTE:	POTÊNCIA:	TENSÃO ESTATOR:	CORRENTE ESTATOR:
SepSA	Cv	6000 V	75 A
TIPO:	POTÊNCIA:	TENSÃO ROTOR:	CORRENTE ROTOR:
SR710 f a 6	650 Kw	720 V	560 A
NÚMERO:	POTÊNCIA:	CL. ISOLAMENTO:	ROTAÇÕES:
19323/4	Kva	F/H	986 RPM
ANO:	POTÊNCIA:	COS ϕ :	FREQUÊNCIA:
1984	Kvar	0,88	50 Hz

RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

OPERADOR:	APARELHO DE MEDIDA:	TEMPERATURA:					
	Megger MIT1020	25 °C					
	30 SEG.	60 SEG.	10 MIN.	nA	TENSÃO	IA	IP
ESTATOR / MASSA	6200 MΩ	12800 MΩ	89900 MΩ	28,6	2571 V	2,06	6,99
ROTOR / MASSA	19700 MΩ	47600 MΩ	136000 MΩ	7,52	1030 V	2,41	2,87

Figura 4.14. Medição de isolamento a um motor MT de rotor bobinado

Tendo em conta os resultados obtidos e a sua classificação segundo as tabelas 4.2 e 4.3, torna-se possível ter uma ideia do estado de condição do isolamento do motor. Para a medição referente aos enrolamentos estatóricos, ambos os índices se apresentam em excelentes condições, juntamente com a resistência de isolamento. Por sua vez, na medição do rotor, a resistência de isolamento e o IA estão também em perfeito estado, embora o IP receba uma avaliação de “bom”. No entanto, no rotor este não deve ser tido em conta como um indicador decisivo, uma vez que a tensão aplicada (500V) pode não ser a suficiente para causar stress no isolamento e assim obter uma avaliação credível.

Conclui-se que, para qualquer um dos casos, o motor está apto a trabalhar em segurança, pois, no geral, apresenta níveis de isolamento favoráveis.

4.6.1.8. Verificação do Sistema Coletor

Como já referido, este processo é apenas aplicado aos motores de rotor bobinado, e é um dos fatores diferenciais no que diz respeito à manutenção entre este tipo de motor e um de rotor em gaiola de esquilo, pois requer uma maior atenção por parte da equipa da manutenção.

De forma a saber o seu estado de condição devem-se conhecer alguns parâmetros, desde o estado da superfície das escovas e dos anéis, pressão da escova com o anel, temperatura,

folgas e a disposição e desgaste das escovas. Este é, portanto, um sistema que exige o controlo de diversos aspetos, e como tal requer bastante manutenção, a fim de assegurar um tempo de vida útil elevado dos componentes.

Um dos aspetos que mais controlo exige ao nível das escovas é o seu desgaste. Regra geral, estas poderão durar cerca de 4000 horas de funcionamento, perdendo entre 3 a 5 mm da sua dimensão a cada 1000 horas de trabalho (WEG, 2015), devendo ser feita uma medição periódica, consoante o tempo de funcionamento do equipamento, utilizando por exemplo um paquímetro. Caso não se efetue a troca das escovas quando necessário, estas poderão danificar os anéis coletores, o que acaba por gerar um custo de reparação muito mais elevado do que a manutenção necessária para assegurar o bom funcionamento do sistema. A figura seguinte ilustra este controlo das escovas.



Figura 4.15. Verificação das escovas de um motor

Outro aspeto também importante a ter em conta é a pressão aplicada às escovas. Por norma, para motores MT livres de vibração, aplica-se uma pressão na faixa dos 200 gf/cm^2 , com uma tolerância de $\pm 10\%$ sobre o valor especificado. Isto é algo importante a ter em conta, pois uma pressão inadequada da escova pode levar ao seu mau funcionamento, podendo danificar o anel ou sobrecarregar as restantes. A figura 4.17 ilustra uma dessas medições de pressão à escova.



Figura 4.16. Medição da pressão exercida pelas escovas

Como se pode verificar, existe uma quantidade razoável de procedimentos a realizar ao sistema coletor dos motores de rotor bobinado. Estes equipamentos estão sujeitos a um grande desgaste e, por consequente, a um tempo de vida útil reduzido, devido sobretudo ao contacto permanente entre as escovas e os anéis coletores.

A pensar nisto, os motores mais recentes do CPS já começam a vir equipados com um sistema motorizado de levantamento das escovas que, tal como o seu nome indica, levanta-as após o momento de curto-circuito no motor, visto que estas deixam de ter qualquer influência no funcionamento da máquina, e sendo assim desnecessário o seu contacto permanente com os anéis. Isto faz com que a sua manutenção seja mais reduzida pois o desgaste das escovas torna-se mínimo, permitindo um maior tempo de uso para o conjunto.

4.7. Conclusão

Este capítulo teve como principal objetivo enunciar alguns dos conceitos teóricos associados aos motores assíncronos trifásicos, e apresentar detalhadamente algumas das tarefas de manutenção aplicadas a estes mesmos equipamentos, uma vez que se considera fundamental reter estas noções para uma posterior compreensão dos temas expostos.

Como verificado, os motores MT assumem um papel crítico no processo de fabrico da fábrica. Neste sentido, é claramente preferível uma hora perdida em manutenção do que horas ou até mesmo dias de paragem devido à sua negligência.

Assim, através destes e de outros procedimentos que se assegura o bom funcionamento tanto dos motores como do sistema em geral. Embora cada uma das tarefas analisadas apresente custos associados, estes são mínimos quando comparados com aqueles que poderiam advir de uma possível avaria do motor, sendo portanto essencial manter uma política sistemática e rigorosa de manutenção na unidade fabril.

5. FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONDIÇÃO GERAL DE MOTORES MT ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

5.1. Introdução

Atendendo à importância dos motores MT no CPS e das consequências das suas falhas no processo produtivo, motivou-se a criação de uma ferramenta de avaliação do estado de condição (FAEC) destes equipamentos, de forma a otimizar a manutenção executada e assim assegurar a máxima fiabilidade, disponibilidade, e tempo de vida útil dos mesmos. Embora o método tenha sido inicialmente desenvolvido para os motores MT de rotor bobinado do CPS, este é também possível aplicar aos motores de rotor em curto-circuito devido às semelhanças entre eles.

A metodologia funciona, de certa forma, como um modelo de determinação do índice de saúde da máquina, permitindo atribuir um valor à necessidade de intervenção no equipamento, mediante a ponderação de diversos indicadores mensuráveis obtidos através dos testes realizados. Com este cruzamento de informação, a FAEC trouxe ainda a mais-valia de agrupar, num único ficheiro, todos os indicadores capazes de fornecer informações sobre o estado geral do motor.

O presente capítulo consiste, portanto, na descrição detalhada da metodologia desenvolvida, desde a sua construção até à sua aplicação, passando por etapas como a deliberação e ponderação dos diversos indicadores, casos de estudo, etc. A ferramenta foi desenvolvida utilizando o *software* Excel (versão 2013), da Microsoft.

5.2. Preparação e Desenvolvimento

Ainda antes da sua construção, a o desenvolvimento da FAEC exigiu uma fase de preparação e ponderação teórica sobre o modelo em estudo, visto que no CPS ainda não existiam modelos criados neste âmbito. Esta preparação teórica incidiu, sobretudo, no funcionamento dos motores MT, nos diversos parâmetros mensuráveis e possíveis de obter através da manutenção executada nestas máquinas, na forma como os dados seriam tratados pela ferramenta de avaliação, e como os resultados seriam transmitidos ao utilizador.

O principal objetivo da FAEC é tornar o processo de manutenção preventiva dos motores MT mais dinâmico, através do ajuste das periodicidades das diversas ações, consoante as necessidades assinaladas pela utilização da ferramenta e dos seus diversos indicadores. Isto gera uma otimização na manutenção da máquina, uma vez que permite que sejam

apenas executadas as tarefas que de facto se justifiquem, evitando assim a sub ou sobremanutenção do equipamento, o que se traduz numa redução de custos. O diagrama representado na figura 5.1 ilustra a metodologia idealizada.

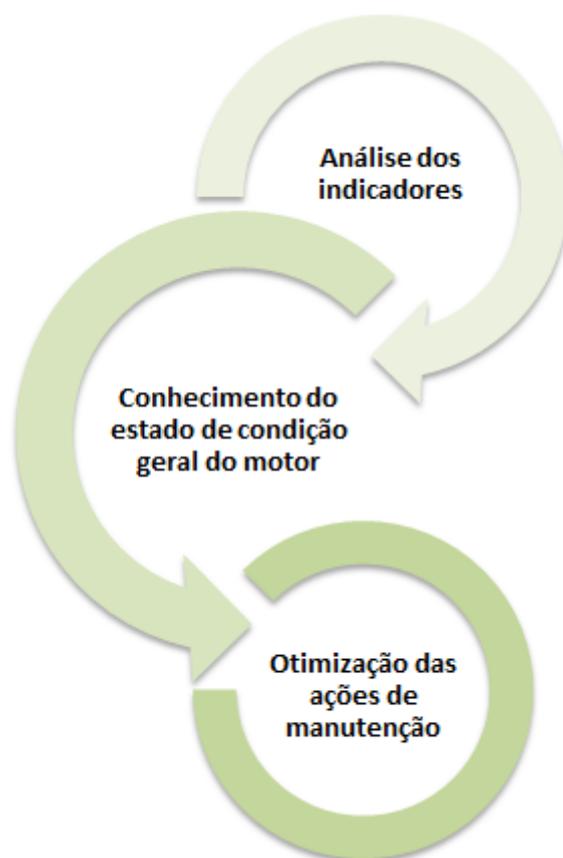


Figura 5.1. Metodologia da FAEC

Esta foi, portanto, uma fase crucial para a construção do modelo, onde foram estudadas e projetadas as características mais importantes da FAEC, de modo a alcançar o objetivo proposto.

5.2.1. Escolha e Parametrização dos Indicadores

Os índices de saúde (metodologias de avaliação) devem ser calculados através das características técnicas dos equipamentos, com capacidade de indicar qual o estado físico dos mesmos, sendo assim uma base para a avaliação numérica do estado de condição da máquina (Hughes, 2003) (Hjartarson et al., 2003).

A primeira etapa do processo de construção do modelo consistiu, portanto, na identificação das diversas características dos motores sujeitos a avaliação, designadas neste caso por indicadores.

Devido à complexidade do seu funcionamento e aos inúmeros aspetos quantitativos e qualitativos associados aos motores MT, foi necessário realizar uma análise crítica às diversas características classificáveis, de forma a seleccionar apenas aquelas cuja recolha de informação fosse acessível quer pela simplicidade dos testes a realizar, quer pela facilidade de aceder a registos históricos para tal.

Por sua vez, a parametrização dos indicadores foi feita através de uma escala de 1 a 5, sendo 1 o valor mínimo e 5 o valor máximo. Recorreu-se, sempre que possível, a normas e estudos técnicos para fundamentar as escolhas dos determinados valores classificativos presentes nas escalas, porém isto nem sempre foi possível pois muitos variavam consoante o tipo de equipamento, material constituinte ou fabricante. Assim sendo, alguns destes valores foram baseados na experiência dos profissionais do CPS, ou na ponderação de valores médios para justificar tais escolhas.

Existiram ainda situações, como o caso dos indicadores aferidos segundo a análise visual, em que não existem valores científicos, exatos ou precisos para classificar determinado parâmetro, tendo sido portanto utilizada uma escala de valores empíricos, baseados na intuição e experiência do utilizador da ferramenta.

Devido às diferenças conjugais entre os diversos indicadores, julgou-se primeiramente necessário dispô-los em áreas distintas consoante a sua índole, de forma a agrupá-los e assim ter uma melhor perceção do estado de cada uma delas. As áreas em questão foram as seguintes:

- Estado de Condição Externo (ECE);
- Estado de Condição Interno (ECI);
- Criticidade do Motor (CM).

Uma vez operadas em conjunto, estas três áreas permitem uma aferição mais adequada do estado de condição do equipamento.

Nos pontos seguintes serão apresentadas essas mesmas áreas, e todos os indicadores referentes a cada uma delas. De notar que muitos deles foram já expostos aquando da apresentação da manutenção realizada nos motores MT do CPS no capítulo anterior, e portanto não serão descritos tão detalhadamente.

5.2.1.1. Estado de Condição Externo

O ECE, tal como o nome sugere, permite avaliar a condição externa do motor bem como as condições a que este está sujeito. Esta é, portanto, uma área que abrange os indicadores que se podem mesurar através de fatores exteriores.

Os indicadores associados ao ECE são, por norma, relativamente simples de apurar, dado que se baseiam quase todos na análise visual do motor, não sendo portanto dispendiosos de aplicar.

Danos

Indicador do estado físico aparente do motor. Este permite avaliar qualquer dano visível, por exemplo, na carcaça ou no suporte do motor, mossas, olhais ou parafusos partidos, caixa de ligações ou botoneiras danificadas, etc., o que pode comprometer a qualidade de funcionamento da máquina, bem como colocar em risco as pessoas presentes na instalação. A tabela 5.1 apresenta a parametrização do indicador.

Tabela 5.1. Classificação do indicador “Danos”

DANOS	
1	Extremamente danificado
2	Bastante danificado
3	Algo danificado
4	Presença de danos ligeiros
5	Sem danos aparentes

Este é um exemplo de uma escala cujos valores se baseiam na experiência e intuição do utilizador, sendo que a sua avaliação deve sempre ter em conta se os estragos representam uma ameaça à segurança ou ao correto funcionamento do sistema a curto, médio ou longo prazo.

Limpeza

Permite avaliar o nível de limpeza do motor e a probabilidade de este acumular sujidade tendo em conta o seu local de instalação. Esta sujidade manifesta-se sobretudo ao nível

das poeiras (cimento e carvão, principalmente) ou da lubrificação do motor, visível através dos excessos de massa lubrificante no seu exterior. Embora seja relativamente simples de assegurar a sua conformidade, este é um aspeto importante a ter em consideração, uma vez que a sua negligência se manifesta através de um aumento de temperatura, o que pode originar graves problemas no motor. A tabela 5.2 exhibe a escala de avaliação associada ao respetivo indicador.

Tabela 5.2. Classificação do indicador “Limpeza”

LIMPEZA	
1	Extremamente sujo
2	Bastante sujo
3	Alguma sujidade
4	Razoavelmente limpo
5	Limpo

Sistema de Arrefecimento

Este indicador diz respeito ao estado do sistema de arrefecimento do motor, que pode ser sob a forma de um ou mais ventiladores nele incorporados (nem sempre visíveis e portanto difíceis de avaliar), permutador de calor a ar ou água, ou ainda ventiladores portáteis externos, normalmente utilizados de forma temporária para suportar momentos em que o motor possa estar mais sujeito a temperaturas elevadas. A tabela 5.3 apresenta a parametrização utilizada para a avaliar o sistema de arrefecimento.

Tabela 5.3. Classificação do indicador “Sistema de Arrefecimento”

SISTEMA DE ARREFECIMENTO	
1	Péssimo
2	Mau
3	Razoável
4	Bom
5	Excelente

Esta é uma análise que pode ser feita, essencialmente, através da observação das pás ou dos filtros dos ventiladores, verificando se estes estão intactos ou com excesso de pó e outros detritos que possam limitar a sua eficiência.

À semelhança da limpeza e dos danos no motor, este é um indicador baseado no conhecimento empírico, devendo portanto ser cuidadosamente avaliado através da experiência dos operadores de forma a não fugir à realidade.

Temperatura Ambiente

Este é um indicador extremamente importante no que toca ao funcionamento das máquinas elétricas girantes, como o caso dos motores assíncronos trifásicos, uma vez que a potência útil admissível destes equipamentos está diretamente relacionada com dois fatores: a temperatura ambiente e a altitude a que o motor se encontra.

A temperatura ambiente do local da instalação é um indicador relevante na avaliação dos motores MT do CPS, devido às condições a que estes estão sujeitos ao longo do ano. Segundo a norma IEC 60085:2007, quanto maior a temperatura maior o risco dos enrolamentos atingirem temperaturas não recomendadas, sendo que a temperatura ambiente não deve ser superior a 40°C, o que raramente se verifica no CPS. Para temperaturas muito baixas os motores também podem apresentar níveis de condensação elevados ou até formação de gelo nos mancais e o endurecimento das massas lubrificantes, após longos períodos parados. De forma a evitar estas situações, os motores vêm equipados com resistências de aquecimento, também conhecidas como resistências de anti-condensação, responsáveis por evitar os problemas que as temperaturas baixas podem originar. Assim sendo, no CPS as temperaturas muito baixas também não são problema. A tabela seguinte indica a forma como a temperatura é parametrizada.

Tabela 5.4. Classificação do indicador “Temperatura Ambiente”

TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	
1	$T \geq 40$
2	$35 \leq T < 40$
3	$30 \leq T < 35$
4	$25 \leq T < 30$
5	$T < 25$

Por outro lado, no caso do CPS em particular, a altitude não é um fator preponderante no funcionamento do motor, não tendo sido sequer considerada na construção da FAEC, uma vez que esta apenas se torna prejudicial a partir dos 1000 metros de altura do nível do mar, com a apresentação de problemas de aquecimento causados pela rarefação de ar.

Em termos de medição, a temperatura ambiente pode facilmente ser medida através de um simples termómetro ou, como é normalmente feita, através de uma câmara termográfica.

5.2.1.2. Estado de Condição Interno

O ECI é a área responsável por abranger todos os indicadores inerentes aos testes e medições realizados diretamente ao motor e aos seus constituintes, como os enrolamentos e o sistema coletor. Caracteriza-se, essencialmente, pela precisão científica com que os diversos parâmetros são avaliados, e à tecnologia necessária para a sua realização, sendo portanto uma área extremamente relevante no diagnóstico do índice de saúde da máquina.

Controlo de Temperatura

Para além das sondas de temperatura instaladas no motor, os ensaios termográficos permitem detetar pontos quentes à distância, não sendo assim necessário entrar em contacto com o equipamento ou retirá-lo de serviço. No caso dos motores, estes testes podem ser realizados a diversos componentes, tendo-se escolhido para avaliação as temperaturas nos enrolamentos do estator, nos enrolamentos do rotor e anéis coletores no caso de motores de rotor bobinado, e nos rolamentos.

De notar que embora exista mais do que um rolamento num motor, apenas se introduz na FAEC o valor mais alto registado nas medições. O mesmo se verifica para os três anéis coletores de cada motor de rotor bobinado.

Para estas medições, dependendo da componente a medir, podem ser utilizados os valores registados pelas câmaras termográficas, ou, no caso em particular dos enrolamentos, podem ser utilizados os valores indicados pelas sondas de temperatura instaladas entre eles. Estes valores são então enviados para o centro de comando centralizado do CPS, destinado ao controlo e supervisão dos diversos equipamentos, podendo ser obtidos a partir daí.

A tabela 5.5 representa a escala de classificação utilizada nos controlos de temperatura.

Tabela 5.5. Classificação dos indicadores referentes ao controlo de temperatura

Controlo de Temperatura (°C)			
	Enrolamentos	Anéis Coletores	Rolamentos
1	$T \geq 155$	$T \geq 130$	$T \geq 120$
2	$140 \leq T < 155$	$110 \leq T < 130$	$80 \leq T < 110$
3	$110 \leq T < 140$	$80 \leq T < 110$	$60 \leq T < 80$
4	$75 \leq T < 110$	$50 \leq T < 80$	$40 \leq T < 60$
5	$T < 75$	$T < 50$	$T < 40$

A temperatura apresentada para os enrolamentos do motor foi baseada na classe de isolamento, que consiste na temperatura máxima a que o material de que é feito o isolamento pode suportar as suas propriedades. No caso do CPS, todos os motores testados pertenciam à classe de isolamento F (155°C), daí o valor máximo escolhido.

Dado que não existe um valor universal para avaliar com rigor e precisão os restantes parâmetros, os valores apresentados na tabela 5.5 baseiam-se, sobretudo, na experiência dos profissionais do CPS, na análise de registos, e na pesquisa entre as recomendações dos diversos fabricantes, de modo a encontrar valores aceitáveis para cada uma das componentes a avaliar.

Desgaste das Escovas

Para este controlo foram escolhidos três indicadores distintos, capazes de fornecer as informações necessárias para avaliar a condição das escovas. Entre eles encontra-se a medição do comprimento da escova, de forma a evitar o desgaste para além do seu valor mínimo, com o risco do aparecimento dos fiéis (condutores de cobre “enterrados” na escova que realizam a condução elétrica) e consequente destruição dos anéis coletores devido à fricção exercida entre ambos. Para além desta medição, é também classificada a termografia às escovas, a fim de descobrir alguma inconformidade através de pontos quentes, bem como a análise da pressão exercida por cada uma delas, de forma a assegurar a consistência do contacto com o anel coletor.

A tabela seguinte apresenta as escalas de classificação utilizadas para cada um dos indicadores relacionados com o desgaste das escovas.

Tabela 5.6. Classificação dos indicadores do desgaste das escovas

DESGASTE DAS ESCOVAS			
	Dimensão (mm)	T (°C)	Pressão da Mola (gf/cm ²)
1	$X \leq 21$	$T \geq 120$	$P < 120$ $P > 280$
2	$21 < X < 24$	$100 \leq T < 120$	$120 \leq P < 150$ $250 < P \leq 280$
3	$24 \leq X < 28$	$60 \leq T < 100$	$150 \leq P < 180$ $220 < P \leq 250$
4	$28 \leq X < 34$	$40 \leq T < 60$	$180 \leq P < 190$ $210 < P \leq 220$
5	$X \geq 34$	$T < 40$	$190 \leq P \leq 210$

Neste caso, a parametrização do indicador “Dimensão” diz respeito a uma escova de 40 mm, as mais recorrentes no CPS, porém existem alguns casos em que o comprimento pode ser de 60 mm. Já a temperatura, à semelhança dos indicadores termográficos, foi parametrizada consoante a experiência dos profissionais do CPS e da análise de registos. Em relação à verificação da pressão, esta é muitas vezes realizada de forma empírica para evitar a utilização de aparelhagem complexa e nem sempre prática devido à configuração do sistema coletor, porém é possível alcançar o seu valor através da consulta de relatórios de reparações, onde são testados diversos componentes, entre eles a pressão da mola.

Resistência de Isolamento e Índices de Polarização e Absorção

Com o desgaste gerado pelo funcionamento da máquina e a constante exposição a um ambiente poeirento, é expectável que o isolamento se deteriore com o passar do tempo. Se nada for feito nesse sentido, a capacidade do isolante pode não ser suficiente para garantir a segurança do equipamento, podendo inclusive levar à sua destruição. Assim, atendendo à importância destes testes, considerou-se necessário adicionar os indicadores da resistência de isolamento e de ambos os índices IP e IA à FAEC, de modo a avaliar a condição em que cada um deles se encontra. Dado que os referidos indicadores se encontram intrinsecamente relacionados, julgou-se ainda conveniente agrupá-los neste processo de avaliação.

A tabela 5.7 apresenta a escala de avaliação de cada um deles.

Tabela 5.7. Classificação dos indicadores do estado do isolamento

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO			
	Resistência de Isolamento (MΩ)	Índice de Polarização	Índice de Absorção
1	$RI \leq 7$	$IP \leq 1$	$IA \leq 1,1$
2	$7 < RI \leq 50$	$1 < IP < 1,5$	$1,1 < IA < 1,25$
3	$50 < RI \leq 500$	$1,5 \leq IP < 3$	$1,25 \leq IA < 1,4$
4	$500 < RI < 1000$	$3 \leq IP < 4$	$1,4 \leq IA < 1,6$
5	$RI \geq 1000$	$IP \geq 4$	$IA \geq 1,6$

As escalas aqui utilizadas foram adaptadas das apresentadas nas tabelas 4.2 e 4.3, do capítulo anterior, de forma a acomodar 5 níveis de classificação. De notar ainda que deve ser introduzido o valor da temperatura ambiente juntamente com os valores das medições de 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos, tanto para o estator como para o rotor (quando bobinado), de forma a efetuar automaticamente a correção para uma temperatura de 40°C.

Vetor de Park

O desequilíbrio elétrico e a assimetria dos circuitos estatóricos e rotóricos são umas das vertentes analisadas pelo teste do Vetor de *Park*, através da análise ao nível de excentricidade apresentado pelas correntes que percorrem os enrolamentos.

Embora este seja um teste importante no que diz respeito à manutenção destas máquinas, é também bastante dispendioso e por isso apenas executado entre intervalos bastante espaçados entre si, podendo esta periodicidade ser ajustada conforme os resultados da última medição. Por este motivo, o indicador referente ao desequilíbrio elétrico foi apenas avaliado através dos registos históricos, quando existentes, de determinado motor, visto que não foi possível acompanhar este procedimento durante o estágio.

Por sua vez, os históricos referidos possuíam apenas uma breve descrição genérica dos resultados analisados através do teste do Vetor de *Park*, não existindo valores absolutos para avaliar o indicador em questão. Isto obrigou a que a escala de avaliação, representada na tabela 5.7, seja mais uma vez baseada na intuição do utilizador, e na sua interpretação do relatório fornecido pela empresa encarregue de o executar.

Tabela 5.8. Classificação do indicador “Vetor de *Park*”

Vetor de <i>Park</i>	
1	Péssimo
2	Mau
3	Razoável
4	Bom
5	Excelente

Vibrações

A vibração do motor é um indicador bastante importante, uma vez que é através das vibrações que se torna possível detetar inúmeros problemas relacionados com a máquina. A tabela seguinte apresenta a escala utilizada para avaliar o presente indicador.

Tabela 5.9. Classificação do indicador referente às vibrações do motor

VIBRAÇÕES				
Velocidade de Vibração (mm/s, rms)	Classe I < 15 kW	Classe II 15 kW ≤ P ≤ 75 kW	Classe III > 75 kW (Base rígida)	Classe IV > 75 kW (Base flexível)
0,28	5	5	5	5
0,45	5	5	5	5
0,71	4	5	5	5
1,12	4	4	5	5
1,8	3	4	4	5
2,8	3	3	4	4
4,5	2	3	3	4
7,1	2	2	3	3
11,2	1	2	2	3
18	1	1	2	2
28	1	1	1	2
45	1	1	1	1
71	1	1	1	1

O indicador foi parametrizado segundo a norma ISO 10816-8:2014, que estabelece procedimentos e diretrizes para a medição e classificação de vibração mecânica. Assim sendo, juntamente com o valor obtido através da medição das vibrações, é também necessário indicar o tipo de classe associada ao motor em questão.

5.2.1.3. Criticidade do Motor

A CM é a área que compreende os indicadores relacionados com o seu funcionamento e as consequências da sua atividade. São de seguida apresentados os três indicadores pertencentes a este conjunto. Assim como o ECE, esta é uma área cuja avaliação depende em grande parte do conhecimento e experiência do utilizador, não só no funcionamento da máquina como também nos processos de fabrico.

Impacto na Produção

Tal como o seu nome indica, este é o indicador designado para avaliar as consequências da paragem de um determinado motor MT nos níveis de produção do CPS, pois a interrupção dos serviços garantidos por este tipo de máquinas têm quase todos a capacidade de também suspender o funcionamento das linhas de produção.

Assim sendo, de forma a classificar este indicador, é necessário ter em conta aspetos como a presença de *stocks*, que pode garantir, ainda que temporariamente, o funcionamento de funções posteriores ao problema, o tempo previsto de paragem, associado ao tempo de reparação da máquina, e a redundância do motor, ou seja, se existe a possibilidade de transmitir o serviço interrompido para um outro equipamento em funcionamento, ou quando muito a sua substituição por um motor em armazém com as mesmas características. A tabela seguinte apresenta a parametrização deste indicador.

Tabela 5.10. Classificação do indicador “Impacto na Produção”

IMPACTO NA PRODUÇÃO	
1	Extremo
2	Elevado
3	Razoável
4	Baixo
5	Nenhum

Horas de Trabalho Anuais

Inicialmente este seria o indicador que representaria o tempo de vida útil do motor, porém verificou-se que devido às condições a que cada um está sujeito, como local de instalação, tipos de carga, rebobinagens já efetuadas e horários de funcionamento, nem sempre seria fácil de determinar, de facto, o tempo de vida útil restante do equipamento. Por exemplo, o CPS possui motores que devido às condições a que estão expostos, seja pelas características do local de instalação ou funcionamento, encontram-se em melhor estado de conservação do que outros motores mais recentes.

Como tal, decidiu-se avaliar o indicador representativo das horas de trabalho anuais a que cada motor está sujeito, mediante a consulta dos registos de funcionamento de cada secção da fábrica (mapa de produção de 2015), como exemplificado na tabela seguinte.

Tabela 5.11. Classificação do indicador “Horas de Trabalho Anuais”

HORAS DE TRABALHO ANUAIS	
1	$7008 < h \leq 8760$
2	$5256 < h \leq 7008$
3	$3504 < h \leq 5256$
4	$1752 < h \leq 3504$
5	$h \leq 1752$

Assume-se, portanto, que quanto mais horas o motor funcionar ao longo do ano, mais sujeito está a desgaste e a avarias.

Quantidade de Arranques

Por fim, a quantidade de arranques a que um motor está sujeito é também um parâmetro relevante no que toca à sua criticidade, pois quanto mais frequentes estes forem, mais desgaste o motor e os seus constituintes sofrem. Seja pelas necessidades do serviço prestado, por avarias ou por cortes gerais, os arranques sucessivos ou em curtos espaços de tempo não são de todo recomendados.

Existem, no entanto, segundo a norma IEC 60034-1, classes para distinguir as diferentes condições de funcionamento dos motores mediante um determinado *duty cycle*. Neste

sentido, torna-se relevante conhecer a classe representativa de cada um dos motores de modo a ser possível julgar, com precisão, o verdadeiro impacto que os arranques têm sobre estes.

As classes mencionadas variam entre S1 e S8, sendo que cada uma delas compreende um determinado tipo de operação consoante uma taxa de funcionamento e tipo de carga suportada. No caso do CPS, tendo em conta os modos de operação necessários para realizar as funções requeridas, todos os motores analisados pertenciam à classe S1. Esta classe é caracterizada por um ciclo de funcionamento contínuo, onde o motor opera com uma carga constante por um tempo suficiente para atingir a temperatura de equilíbrio. Isto é, o motor está preparado para operar à corrente nominal por um período contínuo. Estes não são, portanto, motores concebidos para suportar um elevado número de arranques num curto espaço de tempo.

Tendo isto em conta, a quantidade de arranques é considerado um indicador da CM na FAEC, parametrizado segundo a tabela seguinte.

Tabela 5.12. Classificação do indicador “Quantidade de Arranques”

QUANTIDADE DE ARRANQUES	
1	Arranques sucessivos diários
2	Arranque diário
3	Até 3 arranques semanais
4	Arranque semanal
5	Até 3 arranques mensais

5.2.2. Ponderação dos Indicadores e Cálculo da FAEC

Embora nem todos os indicadores anteriormente considerados partilhem o mesmo nível de importância na apuração do estado de condição do motor, ficou determinado desde início que o objetivo da FAEC seria dar uma ideia das situações mais críticas da máquina, de forma a agir em conformidade com o problema. Assim sendo, em vez da atribuição de pesos a cada um dos indicadores e da conjugação entre eles, o resultado da FAEC, em consequência da avaliação de cada uma das áreas, é determinado pelos indicadores de classificação inferior.

No caso da ECE e ECI, estas áreas são determinadas pela média dos seus respetivos parâmetros enquanto estes forem classificados entre 4 e 5. No caso de um deles apresentar uma classificação inferior a 4, o estado da área assume imediatamente o valor mínimo entre eles. É assim de todo conveniente evitar que os indicadores alcancem níveis tão baixos de classificação, cabendo de seguida à equipa responsável pela manutenção tomar a decisão se vale ou não a pena intervir consoante a gravidade apresentada pelos parâmetros avaliados.

Por sua vez, dadas as suas características, a CM é considerada mais como uma área informativa do que qualitativa. Como tal, realiza-se por isso a média entre os seus indicadores independentemente da gravidade apresentada entre eles, isto porque o facto de um motor apresentar um nível crítico no que toca ao impacto na produção ou às horas de trabalho não significa que este apresente um mau funcionamento, apenas que requer uma maior atenção por parte da equipa de manutenção.

Por fim, após a pontuação de cada uma das áreas, é finalmente conhecido o estado de condição geral do motor através da média entre elas, parametrizado tal como indica a tabela seguinte.

Tabela 5.13. Classificação do estado de condição geral do motor

ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO DE CONDIÇÃO DO MOTOR		
1	Péssimo	Urgente! Necessita de intervenção imediata
2	Mau	Perigo! Necessita de intervenção
3	Razoável	Atenção! Acompanhar evolução
4	Bom	Bom estado de conservação
5	Excelente	Ótimo estado de conservação

O resultado da FAEC permite assim à equipa de manutenção saber quando e onde deve intervir nos motores MT instalados no CPS. De notar que embora existam indicadores destinados única e exclusivamente a motores de rotor bobinado, em momento algum a FAEC exige a introdução desses valores, sendo desta forma uma ferramenta aplicável tanto aos motores de rotor bobinado como aos de curto-circuito. Isto também se verifica no preenchimento dos restantes indicadores, visto que nenhum deles é obrigatório. Assim, mesmo que não se tenha valores para cada um dos parâmetros, continua a ser possível

obter uma avaliação do estado de condição do motor para os indicadores conhecidos, embora quanto mais completos estes sejam, mais fiável e próximo da realidade será o resultado final.

5.2.3. Apresentação de Resultados

Após reflexão sobre como os resultados da FAEC seriam apresentados ao utilizador, foi sugerido que para além da indicação numérica já descrita no ponto anterior, seria também conveniente a sua exibição segundo um método gráfico, de forma a facilitar a compreensão dos resultados obtidos. Assim, mediante a avaliação das áreas e dos respetivos indicadores, foi criado um gráfico dinâmico, tal como representado na figura 5.2, responsivo a qualquer alteração efetuada na avaliação dos critérios definidos.

Legenda:

1º Anel: Áreas

ECE: Estado de Condição Externo

ECI: Estado de Condição Interno

CM: Criticidade do Motor

2º Anel: Indicadores

D: Danos

L: Limpeza

SA: Sistema de Arrefecimento

TA: Temperatura Ambiente

CT: Controlo de Temperatura

E: Desgaste das Escovas

RI: Resistência de Isolamento

IP: Índice de Polarização

IA: Índice de Absorção

DE: Desequilíbrio Elétrico

V: Vibrações

I: Impacto na Produção

H: Horas de Trabalho Anuais

QA: Quantidade de Arranques

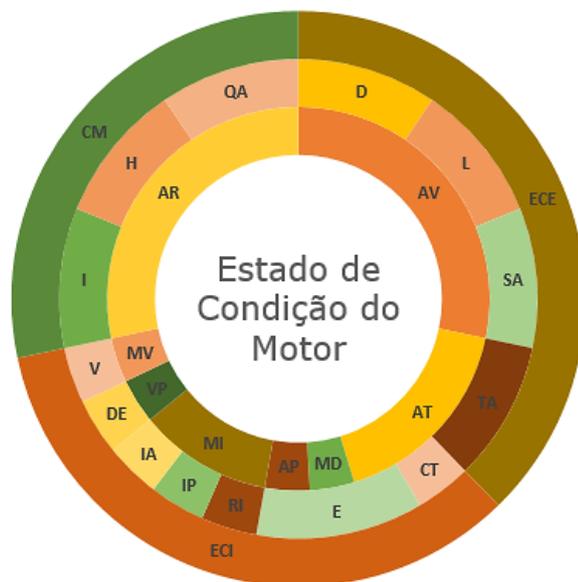


Figura 5.2. Exemplo do gráfico de diagnóstico da FAEC

3º Anel: Métodos Utilizadores

AV: Análise Visual

AT: Análise de Temperatura

MD: Medição da Dimensão

AP: Análise de Pressão

MI: Medição de Isolamento

VP: Vetor de *Park*

MV: Medição de Vibrações

AR: Análise de Registos

5.3. Casos de Estudo

A aplicação da FAEC em casos práticos e a análise dos resultados obtidos é o culminar do trabalho desenvolvido, que visa averiguar a funcionalidade e a veracidade do método. Neste sentido, a ferramenta construída foi testada com casos reais do CPS mediante informação recolhida através do acompanhamento das práticas de manutenção a três motores MT em funcionamento na fábrica.

Os testes realizados englobam assim três casos distintos, compostos por um motor da britagem, do moinho de cru e do moinho de cimento. Estes são convenientes de estudo, uma vez que cada um dos motores apresenta diferentes características quer pela sua construção, quer pelo ambiente em que está inserido e as funções que desempenha, provendo assim diferentes resultados para o estado de condição geral do equipamento.

São de seguida apresentados os três casos de estudo e os resultados obtidos de cada um. De referir que embora seja apresentado o gráfico de diagnóstico da FAEC já com os valores dos parâmetros introduzidos, foram omitidos os separadores respetivos ao preenchimento de cada um deles.

5.3.1. Caso 1: Motor de Acionamento do Britador

A figura 5.3 ilustra o motor utilizado no primeiro caso de estudo, bem como a sua ficha técnica, que contém algumas das características mais importantes do mesmo.



FICHA TÉCNICA – MOTOR B3M104	
Marca	EFACEC
Modelo	AV/RT 500L37
Potência	580 kW
Tensão no Estator	6000 V
Corrente no Estator	67,5 A
Tensão no Rotor	730 V
Corrente no Rotor	480 A
Velocidade	990 R.P.M.
Fator de Potência	0,88
Classe de Isolamento	F

Figura 5.3. Ficha técnica do motor do caso 1

5.3.1.1. Sobre o Objeto de Estudo

O motor do caso 1, juntamente com outro motor idêntico, é o responsável pelo acionamento do britador 2. Trata-se de um motor de rotor bobinado fabricado no início da década de 80, contando por isso já com vários anos de trabalho. Este é ventilado a ar, sem permutador de calor, e está inserido num ambiente fechado, livre de grande parte da humidade e sujeito a temperaturas amenas ao longo do ano, mas propício a algum levantamento de poeira dada a função que executa.

Em termos de impacto na produção, este motor apresenta um risco negligenciável para o CPS uma vez que executa um dos primeiros trabalhos no circuito de produção, sendo assim garantida a existência de *stocks* dada a enorme capacidade de armazenamento ao longo da linha. Para além disso, ambas as zonas da britagem são comutáveis entre si, o que garante a continuidade do serviço de produção caso uma delas apresente problemas e não possa operar.

Embora a quantidade de arranques do motor não seja um aspeto crítico do seu funcionamento, este possui a particularidade de sofrer picos de corrente excessivos devido ao bloqueio do rotor originado pela introdução de pedras volumosas no britador, dificultando a sua função. A pensar nisto, o motor possui um conjunto de resistências ligadas em série entre o rotor e o arrancador, de modo a libertar sob a forma de calor o excesso de corrente gerado. Ainda assim, embora o motor e as proteções elétricas estejam preparados para tal, este acaba por estar sujeito a um maior desgaste, o que se refletiu no indicador “Quantidade de Arranques”.

De seguida são apresentados alguns dos dados recolhidos durante os trabalhos de inspeção e manutenção ao respetivo motor (não foram feitas termografias pois o equipamento encontrava-se parado há já algum tempo).

INDICADORES	DADOS RECOLHIDOS
Temperatura Ambiente	16°C
Escovas (12 no total; 40 mm)	Pior medição: 27 mm; 200 gf/cm ²
<u>Resistência de Isolamento - Estator</u>	
Ao fim de 30 segundos	5000 MΩ
Ao fim de 1 minuto	9280 MΩ
Ao fim de 10 minutos	56500 MΩ
IP	6,088
IA	1,856
<u>Resistência de Isolamento - Rotor</u>	
Ao fim de 30 segundos	6080 MΩ

INDICADORES	DADOS RECOLHIDOS
Ao fim de 1 minuto	8500 MΩ
Ao fim de 10 minutos	13000 MΩ
IP	1,529
IA	1,398
Vetor de <i>Park</i>	Desequilíbrio no circuito estatórico
Vibrações	Classe III / 4,48 mm/s, rms
Horas de Trabalho Anuais (2015)	1878,4 h

5.3.1.2. Interpretação de Resultados

Após a introdução da informação recolhida na FAEC, verifica-se através do gráfico seguinte o estado de condição geral do motor em estudo.

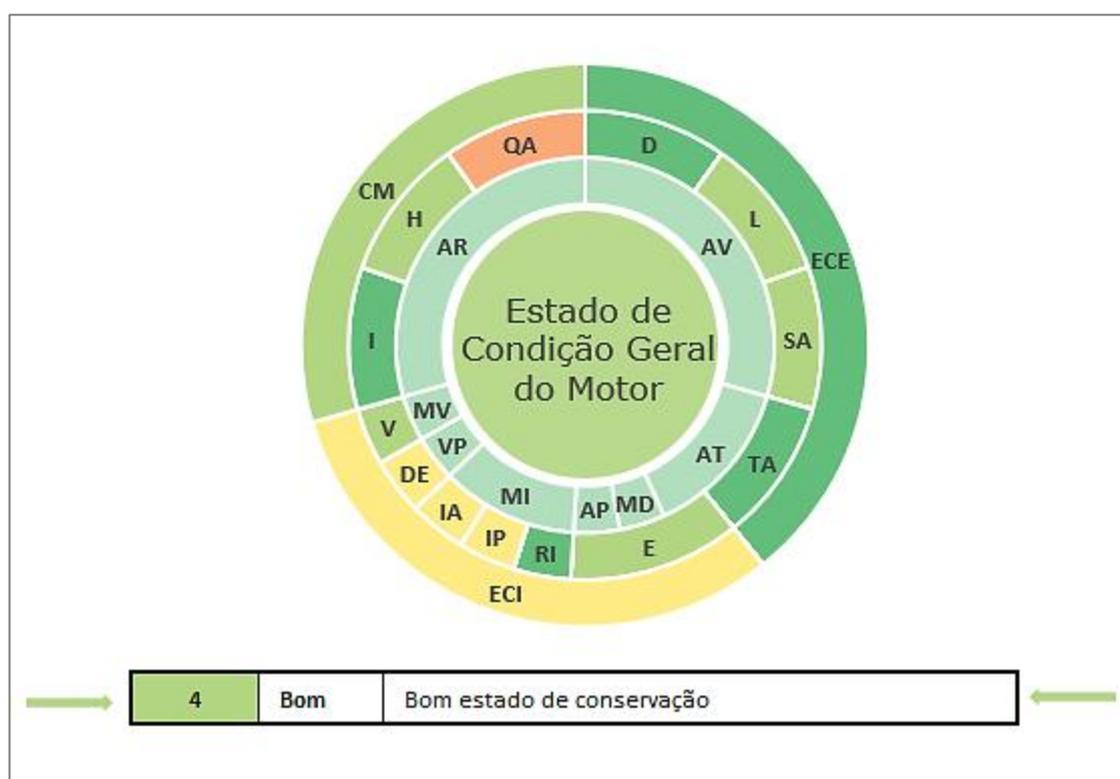


Figura 5.4. Estado de condição geral do motor do caso 1

Segundo a análise do gráfico apresentado na figura anterior, verifica-se que das três áreas avaliadas apenas a ECI apresenta um nível menos positivo, devido à classificação dos indicadores de IP e IA no rotor, e Vetor de *Park*. Tendo em conta que a melhoria destes parâmetros exige uma intervenção corretiva algo complexa e dispendiosa, e uma vez que

ainda não apresentam níveis críticos de avaliação, a solução passa por fortalecer as medidas preventivas já existentes através de um maior acompanhamento por parte da equipa de manutenção, o que se traduz numa redução da periodicidade das suas tarefas. Desta forma será possível assegurar que caso a situação dos indicadores piore, esta seja imediatamente detetada e se atue em conformidade de modo a evitar avarias e consequentemente paragens indesejadas.

O indicador a laranja refere-se sobretudo aos bloqueios do rotor, devendo-se ter especial atenção a esta condicionante do motor.

Conclui-se assim que apesar do motor apresentar alguns parâmetros cuja avaliação se situa apenas no razoável, no geral o seu estado de condição é aceitável e portanto para já não necessita de intervenção.

5.3.2. Caso 2: Motor de Acionamento ao Moinho de Cru

A figura 5.5 apresenta o motor utilizado no caso de estudo seguinte, juntamente com as características de funcionamento mais importantes.

	FICHA TÉCNICA – MOTOR E3M511	
	Marca	WEG
	Modelo	MAW 710
	Potência	2000 kW
	Tensão no Estator	6000 V
	Corrente no Estator	235,6 A
	Tensão no Rotor	1200 V
	Corrente no Rotor	991,1 A
	Velocidade	990 R.P.M.
	Fator de Potência	0,85
	Classe de Isolamento	F

Figura 5.5. Ficha técnica do motor do caso 2

5.3.2.1. Sobre o Objeto de Estudo

A máquina em questão é utilizada no acionamento do moinho de cru da linha 3, e distingue-se como sendo o motor de MT de rotor bobinado mais recentemente instalado

no CPS, fabricado apenas em 2010. Consequentemente, conta com tecnologia mais avançada que os restantes.

Trata-se de um motor instalado num edifício completamente fechado, encontrando-se por isso livre de chuva e sujeito a temperaturas amenas. No entanto, este é um local algo favorável à sujidade tendo em conta a proximidade dos transportadores de matéria-prima.

Possui um sistema de refrigeração através de um permutador de calor a água, não apresentando qualquer tipo de problemas neste sentido. Em termos de funcionamento este é um motor que passa grande parte do tempo a operar, e o número de arranques respeita a classe de *duty cycle* em que este se insere (S1).

Uma das suas particularidades é o facto de possuir um sistema automático de levantamento escovas, o que minimiza em grande parte a manutenção ao sistema coletor do equipamento, visto que o desgaste das escovas é extremamente reduzido tal como o pó de carvão libertado por elas, não exigindo portanto uma limpeza tão regular ao interior do motor.

O impacto nos níveis de produção pode ser sentido caso os *stocks* de cru não sejam suficientes para abastecer o forno durante a paragem do equipamento.

São apresentados de seguida as informações obtidas através do acompanhamento da manutenção preventiva ao respetivo motor.

INDICADORES	DADOS RECOLHIDOS
Temperatura Ambiente	8°C
Temperatura nos Enrolamentos do Estator	55°C
Temperatura nos Enrolamentos do Rotor	55°C
Temperatura nos Rolamentos	40°C
Escovas (15 no total; 40 mm)	Pior medição: 36 mm
<u>Resistência de Isolamento - Estator</u>	
Ao fim de 1 minuto	9280 MΩ
Ao fim de 10 minutos	84700 MΩ
IP	9,207
<u>Resistência de Isolamento - Rotor</u>	
Ao fim de 1 minuto	23800 MΩ
Ao fim de 10 minutos	125051 MΩ
IP	5,254
Vetor de <i>Park</i>	Em condições razoáveis de func.
Vibrações	Classe III / 2,17 mm/s, rms
Horas de Trabalho Anuais (2015)	5221 h

5.3.2.2. Interpretação de Resultados

O gráfico seguinte representa o estado de condição geral do motor, obtido através da inserção na FAEC dos valores recolhidos durante as práticas de manutenção.

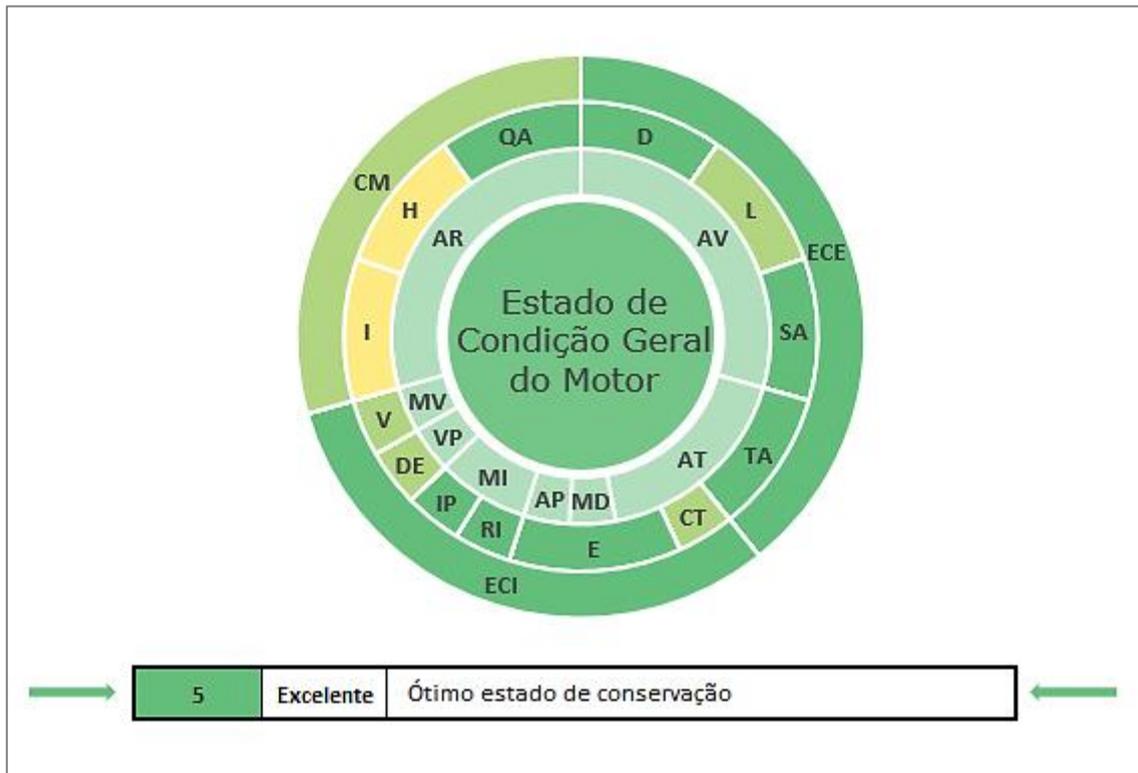


Figura 5.6. Estado de condição geral do motor do caso 2

Analisando o gráfico anterior, facilmente se observa as boas condições dos parâmetros avaliados, sejam as termografias ou os testes de isolamento realizados tanto ao estator como ao rotor. Através da análise realizada, foi também possível observar a mais-valia do motor possuir um sistema de levantamento de escovas automatizado, tendo em conta que a pior medição das escovas foi de 36 mm e estas não são trocadas há pelo menos 2 anos, ao contrário de outros motores em que as escovas podem ter de ser trocadas ao fim de alguns meses, dependendo do seu uso.

Verifica-se portanto, tal como seria de esperar dada a idade do motor, as excelentes condições em que o mesmo se encontra, principalmente no que diz respeito às áreas ECE e ECI. Por sua vez, os parâmetros na CM são meramente informativos e apenas indicam a necessidade de atenção dadas as características de funcionamento do motor, não apresentando por isso uma real ameaça ao seu estado de condição nem sendo assim necessário adotar medidas corretivas ou de prevenção mais rigorosas.

5.3.3. Caso 3: Motor de Acionamento ao Moinho de Cimento

A figura 5.7 apresenta o motor utilizado terceiro caso de estudo, juntamente com as suas características de funcionamento mais importantes.

FICHA TÉCNICA – MOTOR G3.4.1.1	
Marca	EFACEC
Modelo	AV/RA 710
Potência	1850 kW
Tensão no Estator	6000 V
Corrente no Estator	213,6 A
Tensão no Rotor	1226 V
Corrente no Rotor	910 A
Velocidade	914 R.P.M.
Fator de Potência	0,869
Classe de Isolamento	F

Figura 5.7. Ficha técnica do motor do caso 3

5.3.3.1. Sobre o Objeto de Estudo

Este motor, a par com outro de características idênticas, aciona o quarto e último moinho de cimento. À semelhança dos já analisados, este é também um motor de rotor bobinado, cujo fabrico data o ano de 1983. Encontra-se instalado num edifício fechado, livre de humidade, poeiras e extremos de temperatura, e a sua refrigeração, como perceptível na figura 5.7, é efetuada através de um permutador de calor a água instalado no seu topo, que pelo seu estado aparenta alguma degradação.

Os motores de acionamento dos moinhos de cimento possuem a particularidade do seu funcionamento seguir um plano de gestão energética, isto é, operam apenas nas horas de vazio e super vazio de forma a economizar na fatura. Como tal, caso seja necessário produzir cimento, estes equipamentos são sujeitos a um arranque diário.

Para além disso, em caso de avaria existe a possibilidade de realizar a permutabilidade de funções com os outros três moinhos de cimento existentes no CPS, não havendo portanto um forte impacto na produção caso ocorra a sua paragem.

Os valores a seguir apresentados fazem parte do acompanhamento da manutenção preventiva ao motor em questão.

INDICADORES	DADOS RECOLHIDOS
Temperatura Ambiente	12°C
Temperatura nos Enrolamentos do Estator	55°C
Temperatura nos Enrolamentos do Rotor	55°C
Temperatura nos Rolamentos	40°C
Escovas (18 no total; 40 mm)	Pior medição: 24 mm
<u>Resistência de Isolamento - Estator</u>	
Ao fim de 1 minuto	8713,53 MΩ
Ao fim de 10 minutos	24390,7 MΩ
IP	2,799
<u>Resistência de Isolamento - Rotor</u>	
Ao fim de 1 minuto	3571,12 MΩ
Ao fim de 10 minutos	4321,05 MΩ
IP	1,210
Vibrações	Classe III / 1,5 mm/s, rms
Horas de Trabalho Anuais (2015)	5447 h

5.3.3.2. Interpretação de Resultados

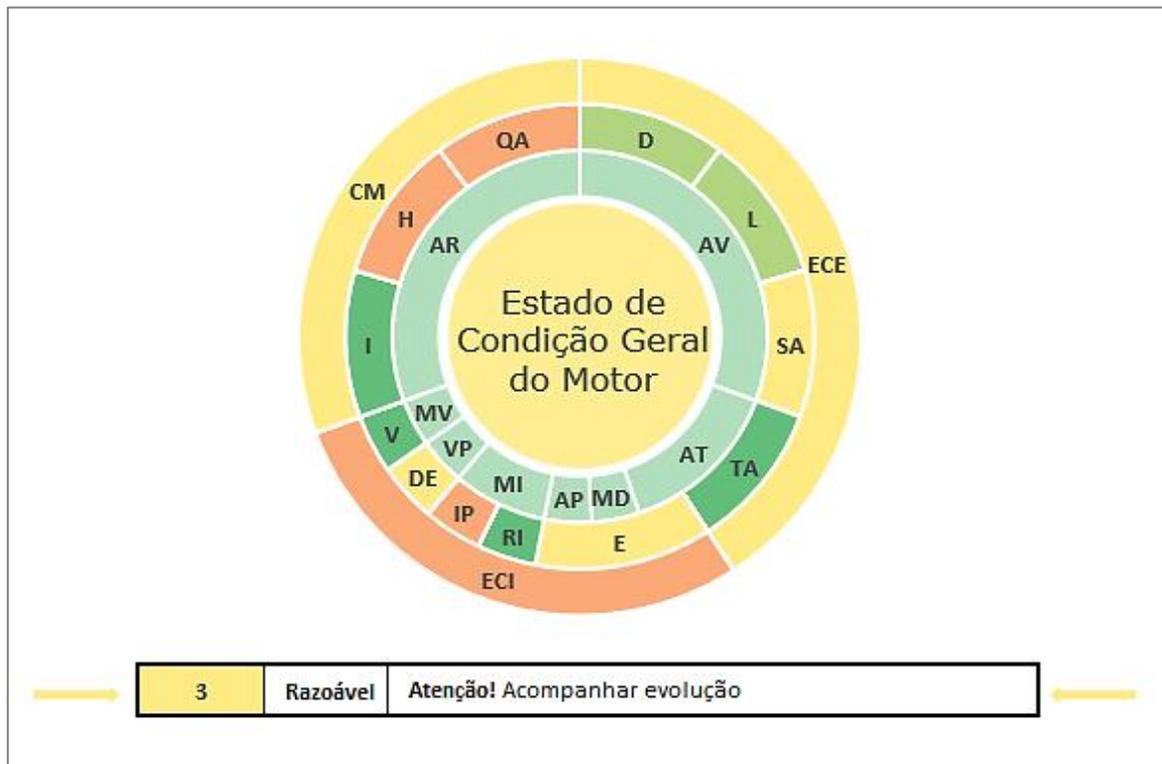


Figura 5.8. Estado de condição geral do motor do caso 3

O gráfico anterior ilustra o resultado do estado do motor obtido através dos valores adquiridos ao longo do acompanhamento da manutenção do respetivo equipamento. Verifica-se, através da comparação com os restantes motores analisados, a sua clara degradação, refletida na fraca condição dos parâmetros avaliados.

Na área ECE nota-se principalmente a deterioração aparente do permutador de calor, sendo provavelmente necessário uma beneficiação do seu sistema de refrigeração a fim de garantir as propriedades do equipamento.

A área CM informa, sobretudo, o desgaste a que o motor está sujeito ao longo do ano, seja pela quantidade de horas de funcionamento, seja pelo número de arranques consequente da política de gestão de energia. Neste sentido, exige-se um controlo mais rigoroso por parte da equipa de manutenção, de modo a detetar a tempo qualquer defeito gerado por estas condições.

Por fim, verifica-se que a ECI é a pior área das três analisadas, com uma classificação negativa. O Vetor de *Park* detetou uma assimetria no circuito estatórico, o que para já requer uma maior insistência deste tipo de teste, sendo recomendado uma periodicidade de 6 meses em vez de 1 ano, de modo a melhor controlar a evolução do defeito. A classificação atribuída à análise do desgaste das escovas deve-se à medição das mesmas, sendo apenas necessário efetuar a sua substituição por outras novas.

Em relação aos testes de isolamento, estes são sem dúvida o caso mais crítico do motor em questão. Embora a resistência de isolamento apresente níveis muito bons, o mesmo não se verifica dos testes realizados ao IP, principalmente ao nível do rotor onde este apresenta uma classificação bastante baixa, pondo em risco a segurança do equipamento e dos operários caso estas condições se agravem entretanto. Como tal, recomenda-se o planeamento das reparações ao isolamento do rotor, o que pode consistir na lavagem completa e secagem em estufa do componente, ou, em casos mais graves, na sua rebobinagem.

Observação: Cerca de 3 meses após a realização do teste a este motor, e ainda durante a época de estágio, o mesmo avariou e foi enviado para as instalações da WEG. Isto proporcionou uma visita às instalações da empresa, situada na Maia, Porto, a fim de analisar o estado do motor, as causas da avaria, e as medidas necessárias para o restaurar. Esta visita motivou a elaboração de um relatório técnico, desenvolvido em âmbito de estágio e exposto também neste trabalho, no Anexo A, o que suporta algumas das conclusões retiradas da sua avaliação.

5.4. Conclusão

Tendo em conta os três casos estudados e expostos anteriormente, pode-se confirmar o funcionamento da ferramenta desenvolvida, atendendo aos objetivos inicialmente estipulados.

O modelo revela a sua importância através de uma fácil identificação do estado de condição dos motores mediante a análise de diversos indicadores, permitindo elaborar um plano de manutenção adequado, programar medidas preventivas ou corretivas de forma a restaurar ou manter o seu estado atual, e prevenir defeitos e acidentes em consequência do mesmo.

De notar que esta não é uma ferramenta que apresente uma precisão ideal no resultado calculado, uma vez que existem inúmeros fatores e condicionantes com capacidade de interferir na avaliação da condição da máquina, porém esta possibilita ter uma perceção próxima da realidade de como se encontra o estado físico do motor, possibilitando a ação da equipa de manutenção em conformidade com as conclusões retiradas da sua aplicação.

Concluindo, e atendendo aos resultados analisados ao longo do capítulo, espera-se que a FAEC possa contribuir positivamente para a otimização das práticas de manutenção do CPS, e que se reflita na diminuição dos incidentes nos motores MT e consequentemente na redução das perdas de produção, através da melhoria do desempenho e disponibilidade do sistema.

6. ELABORAÇÃO DOS NOVOS PLANOS DE MANUTENÇÃO E PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO

6.1. Introdução

O presente capítulo destina-se à apresentação dos novos planos de manutenção e fichas de procedimentos de execução, regidos pela nova política preventiva por parte da InterCement. Esta abrange os planos de manutenção dos diversos equipamentos do CPS, tendo-se mais uma vez utilizando o *software* Excel (versão 2013), da Microsoft, para a sua elaboração.

Esta estratégia foi motivada pela oportunidade de renovar os planos de manutenção, e por consequente aperfeiçoar as ações preventivas praticadas na Cimpor, tendo sido estabelecidas metas a cumprir pelo centro de produção, de forma a alcançar os objetivos predefinidos. Paralelamente a esta tarefa, foram ainda elaborados procedimentos de execução para equipamentos específicos, com o intuito de auxiliar as práticas de manutenção realizadas.

Estes eram, por sua vez, trabalhos já em desenvolvimento no CPS aquando do início do estágio, tendo sido delegada a sua continuidade para os restantes componentes afetados pela política. Espera-se que com esta reformulação do planeamento e gestão da manutenção se possa introduzir mais rigor nas tarefas realizadas, com o objetivo de maximizar a fiabilidade, a eficiência e a disponibilidade dos equipamentos, bem como a segurança dos profissionais incumbidos de as executar.

Para além dos objetivos mencionados, outro motivo relevante que levou a esta reestruturação foi a necessidade de integrar os planos de manutenção, e consequentemente os procedimentos de execução, com os restantes aspetos da manutenção preventiva, como a gestão de *stocks*. Ou seja, tornar as tarefas acessíveis através do *software* de gestão utilizado na empresa, o SAP. Assim, em vez de se determinar, imprimir e afixar semanalmente as tarefas recorrendo a um documento em Excel, procura-se executar estas ações através da consulta e notificação em SAP das mesmas, simplificando desta forma o todo o processo.

Tendo isto em conta, o presente capítulo será dividido em duas partes, a primeira referente à renovação dos planos de manutenção, e a segunda ao desenvolvimento das novas fichas de procedimentos de execução, procurando explicar a sua constituição e detalhar as etapas da sua construção.

6.2. Planos de Manutenção

A reformulação dos planos de manutenção consistiu, essencialmente, na renovação dos já existentes, ou na elaboração de novos planos para alguns equipamentos que porventura ainda não os possuíam. Devido a esta individualidade, a renovação dos planos pôde ser considerada como uma tarefa árdua, devido não só à imensa quantidade de elementos presentes na instalação, mas também pela forma detalhada com que os novos planos foram elaborados.

De forma a melhor organizar todo o processo, ficou estabelecido que numa primeira instância seriam apenas abrangidos os equipamentos pertencentes à linha 3, por ser a linha mais utilizada atualmente. Como tal, esta dividiu-se pelas diferentes secções de fabrico, estando já concluídos os planos referentes às zonas do forno, britagem e moagem de cru. Assim, ficou definido que até ao fim do estágio deveriam ser concretizadas as zonas do carvão, circuito de gases, transporte de clínquer, e o que fosse possível concluir das moagens de cimento.

Para a realização deste trabalho foram ainda definidas duas equipas, uma encarregue dos equipamentos eléctricos e outra dos equipamentos mecânicos. Dada a colocação na equipa eléctrica, foi determinada a realização dos planos correspondentes a componentes como motores, motorreductores, arrancadores rotóricos e transformadores. De notar que no caso de elementos como, por exemplo, os motorreductores, onde existe tanto uma componente eléctrica (motor) como mecânica (reductor), ocorreu a parceria por parte das duas equipas na elaboração do plano.

Para além disso, com a introdução da nova política de renovação dos planos de manutenção, foram também implementadas normas de forma a fazer distinção entre os diversos componentes, tendo em conta o grau de complexidade e nível de importância que cada um representa no funcionamento da linha. Assim sendo, a política de renovação recorreu ainda à existência de dois modelos de planos de manutenção, divulgados pelo Corporativo da Cimpor, situado na Argentina: os *standard* e os *padrão*. Desta forma, para além dos planos já existentes no CPS, estes serviram como base para a elaboração das novas tarefas

De seguida são apresentadas estes dois modelos de apoio segundo aquilo que os define e caracteriza.

6.2.1. Planos *Standard* de Manutenção

Os planos *standard* são constituídos por um conjunto de tarefas de manutenção destinadas aos equipamentos mais críticos da instalação. Estes chegaram ao CPS já construídos de uma forma generalizada, com tarefas predefinidas e prontos a adaptar conforme os componentes instalados.

Estas tarefas foram elaboradas segundo uma análise rigorosa e completa do equipamento a que se destinam, de modo a que fosse apenas necessário o ajuste no momento de as aplicar. Como tal, neste caso bastou apenas verificar se a descrição correspondia de facto às características de determinado equipamento, e se era necessário agregar alguma tarefa mais específica não contemplada ainda no plano, não havendo grande liberdade para alterar ou eliminar o que já havia sido estipulado. Por outro lado, caso existissem tarefas incompatíveis com o componente, apenas teria de ser assinalada o motivo de não as aplicar.

Assim, os planos *standard* têm como principal objetivo garantir a uniformização das tarefas a executar sobre os equipamentos mais relevantes, independentemente das estratégias de manutenção existentes no CPS e nos outros centros de produção.

6.2.1.1. Aplicação

Embora estes planos de manutenção já tenham chegado em grande parte concluídos, existiu ainda uma fase de adaptação dos mesmos para os equipamentos presentes no CPS e abrangidos pela política *standard*. São estes:

- Fornos;
- Grandes motores ou influentes no processo de fabrico;
- Transformadores elétricos;
- Acionamentos;
- Moinhos;
- Ventiladores de processo;
- Centrais hidráulicas;
- Grandes redutores;
- Britadores;
- Grandes filtros de mangas;
- Separadores dinâmicos.

Embora dos itens descritos apenas os motores e os transformadores sejam exclusivos da equipa responsável pela área elétrica, em quase todos os outros era normal encontrar dispositivos sensoriais, responsáveis pelas mais variadas medições, ou quadros de controlo e autómatos, algo que também competia à equipa elétrica abordar.

No caso dos motores, os planos *standard* compreendiam aqueles que possuísem uma das seguintes características:

- Motores MT (6kV);
- Motores de acionamentos de moinhos de carvão, farinha ou cimento;
- Motores de acionamentos de fornos;
- Motores de acionamentos de britadores de potência igual ou superior a 250 kW;
- Motores de acionamentos de ventiladores de processo na linha do forno, com potência igual ou superior a 200 kW;
- Motores de acionamentos diversos com potência igual ou superior a 450 kW.

Esta fase de adaptação consistiu, portanto, na averiguação dos itens abrangidos pela política, e conseqüentemente das tarefas aplicáveis através de uma análise em campo dos equipamentos, do estudo do seu funcionamento, e consultas de manuais do fabricante, de modo a complementar o plano e a assegurar que o mesmo representasse com precisão a realidade.

Por fim, cabe à gestão do CPS analisar cada um dos planos preparados e implementá-lo nas ações preventivas da fábrica, segundo as seguintes normas:

- No caso de a gerência possuir objeções ou dúvidas sobre as tarefas incluídas no plano, caberá à equipa responsável pela manutenção respondê-las e reenviar o respetivo ficheiro para ser aprovado. Este processo continuará desta forma até se dar a aprovação;
- Uma vez aprovado o plano *standard*, o CPS encarregar-se-á de carregar as suas tarefas em SAP;
- Os profissionais de manutenção executarão as tarefas conforme o plano ativo.

6.2.1.2. Estrutura

Os ficheiros referentes a este tipo de planos foram desenvolvidos em Excel e, ao contrário do que acontece nos planos padrão, apresentam um certo nível de complexidade na sua construção, devido em grande parte ao cruzamento da informação utilizada. Assim, neste tópico pretende-se esclarecer os principais subconjuntos que constituem os planos *standard*.

O início do plano começa com a Análise de Modo de Falha (AMF), destinada ao estudo do equipamento que é efetuado no momento de criar o plano por meio da metodologia *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Esta tem como objetivo identificar quais os defeitos que comprometem o desempenho da máquina, e quais ações que podem ser aplicadas a fim de corrigir ou evitar a incidência dos mesmos.

De seguida é apresentada a informação referente aos dados do equipamento e ao seu local de instalação. Esta é carregada automaticamente após a indicação do local onde o componente se encontra instalado, através de um cruzamento de informações com listas de dados retirados do SAP e indexados no ficheiro.

O plano *standard* de manutenção é o subconjunto que se segue, constituído pelas tarefas de manutenção propriamente ditas e as suas características, sendo estas:

- **Estado da Instalação:** Indica o estado em que o equipamento deve estar para a realização da tarefa (em funcionamento, parado, ou nas duas grandes paragens da linha realizadas anualmente);
- **Tipo de Tarefa:** Designa a natureza da tarefa a realizar, ou seja, indica se esta se trata de uma ação elétrica, mecânica, termográfica, de lubrificação, etc.;
- **Centro de Trabalho:** Indica a equipa incumbida de realizar a tarefa descrita. Normalmente esta é a equipa responsável pela zona onde o equipamento se encontra instalado, à exceção de algumas tarefas como termografias e de lubrificação, que possuem normalmente uma equipa responsável para as praticar;
- **Baixa Frequência e Alta Frequência:** Indicam a periodicidade da tarefa a realizar, sendo indicadas nas de baixa frequência as tarefas com intervalos inferiores a um mês, e nas de alta frequência as de intervalos superiores.

Por fim, o último subconjunto, denominado de “Gestão da Tarefa”, é utilizado para indicar se a tarefa é ou não aplicada ao respetivo equipamento. Em caso negativo é necessário justificar o porquê desta decisão. Existe ainda um campo destinado a realizar

as alterações de determinada tarefa, visando sempre a melhoria da mesma. Caso não sejam indicadas sugestões, a descrição da tarefa a carregar em SAP será a original do plano *standard*.

6.2.2. Planos Padrão de Manutenção

Os planos padrão são compostos por um conjunto de tarefas de manutenção aplicadas em diferentes componentes da instalação. Estes têm a finalidade de dar uma orientação às tarefas que se podem realizar sobre uma determinada máquina. Ao contrário do que acontecia com os planos *standard*, neste caso existe uma liberdade bastante superior na elaboração de tarefas baseadas neste modelo, uma vez que os equipamentos a que se destinam não causam um grande impacto na linha em caso de avaria. Como tal, estas podem ser criadas de raiz e não necessitam de uma análise tão profunda, segunda a metodologia RCM, para a sua aplicação.

Como tal, a elaboração, implementação e utilização dos planos padrão de manutenção fica à responsabilidade e total dispor de cada fábrica interessada.

6.2.2.1. Construção e Aplicação

Visto que a utilização dos planos padrão na elaboração das novas tarefas fica ao critério do centro de produção, foi necessária uma abordagem mais incisiva no estudo de cada um dos equipamentos, de forma a criar tarefas que refletissem, com clareza e precisão, toda a manutenção necessária a executar.

O desenvolvimento dos novos planos baseou-se nestas novas tarefas, naquelas previamente já definidas nos antigos planos dos equipamentos (alguns não tinham plano, porém um dos objetivos desta nova política era também colmatar essa falha), no estudo do seu funcionamento e sobretudo nas visitas a campo, a fim de analisar todas características e componentes suscetíveis de serem mencionados. Outros métodos utilizados foram a análise de memórias descritivas, desenhos técnicos, manuais e recomendações do fabricante, e a experiência das pessoas que trabalham sobre a máquina.

A aplicação dos planos padrão foi alargada a quase todos os equipamentos da fábrica, destacando-se na área elétrica os motores BT, arrancadores de motores MT, e motorreductores. A título de exemplo, de seguida são apresentadas as listas de tarefas principais criadas para estes equipamentos.

Motores e Motorreductores

- Verificar botoneira de comando local;
- Verificar caixa de ligações elétricas;
- Verificar arrefecimento;
- Verificar ventilador;
- Limpar carcaça do motor/motorreductor;
- Verificar chapa de características;
- Medir resistência de isolamento;
- Verificar seguranças do equipamento;
- Verificar proteção térmica de regulação;
- Confirmar fixação do motor/motorreductor;
- Verificar sondas de temperatura
- Verificar resistência de aquecimento
- Ajustar eletro-freio;
- Verificar e testar encoder;
- Verificar escova de aterramento;
- Verificar proteções dos rolamentos.

Arranadores Rotóricos

- Limpar arrancador e armário;
- Verificar eletrólito;
- Verificar ligações elétricas;
- Verificar termostatos;
- Verificar contactor de curto-circuito;
- Lubrificar sistema mecânico;
- Verificar e testar sensores de fim de curso;
- Verificar e testar detetor de nível.

Embora estas sejam as tarefas de manutenção recomendadas para este tipo de máquinas, dependendo do tipo e constituição do equipamento os planos podem sofrer alterações tendo em vista a melhoria das tarefas a executar.

Para além destes, foram feitos planos de manutenção padrão para muitos outros componentes, como tremonhas, bombas de lubrificação, sem-fins, diferentes tipos de válvulas, transportadores, etc., ficando a cargo da equipa elétrica a elaboração das tarefas referentes aos quadros elétricos, ligações, e ainda aos diferentes dispositivos e sensores instalados nos equipamentos ou no sistema correspondente. Estes têm como objetivo medir e transmitir a informação do estado de determinada grandeza associada à função dos elementos.

De seguida é apresentada a listagem dos sensores e dispositivos de medição presentes na linha de produção, e abrangidos pelos planos de manutenção desenvolvidos.

- **Controlador de rotações:** Instalado em equipamentos rotativos, de forma a contabilizar um determinado número de rotações ou simplesmente para se certificar de que o equipamento continua em funcionamento;
- **Cópia de ângulo:** Utilizado para determinar, por exemplo, o ângulo em que se encontra o fecho de uma conduta;
- **Caudalímetro:** Instrumento de medida para realizar a medição do gasto volumétrico de um fluído;
- **Detetor de enchimento:** Transmite a informação de que determinado recipiente está cheio;
- **Detetor de rotura de baldes:** Instalado nos baldes que fazem o transporte da matéria-prima, este permite detetar caso exista rompimento do mesmo;
- **Eletroválvula:** Dispositivo com capacidade de permitir ou não a passagem de um determinado fluxo, mediante a receção de sinal elétrico;
- **Pesões/balanças:** Utilizado normalmente nas bases dos silos de armazenamento de material ou de transportadores, de forma a calcular o peso em determinado momento;
- **Pressostato:** Instrumento de medição de pressão;
- **Sensor de desvio de baldes ou telas:** Utilizado para saber quando a tela ou os baldes de um transportador ultrapassam a margem de alinhamento permitida;
- **Sensores de fim de curso:** Dispositivo capaz de indicar quando um determinado equipamento alcançou o limite do seu campo de movimento;

- **Sensores de paragem de emergência:** Sensores que permitem a paragem imediata do equipamento associado aos mesmos, normalmente após detetar a presença de um objeto estranho no seu perímetro;
- **Sonda de nível:** Utilizado normalmente nas tremonhas ou silos de armazenamento, de forma a conhecer o seu grau de enchimento;
- **Sonda de temperatura:** Permite conhecer a temperatura de determinado equipamento em tempo real;
- **Termostato:** Dispositivo que regula as variações de temperatura de um sistema, procurando mantê-lo a temperatura constante.

A averiguação de sensores nos diversos elementos era, na grande maioria das vezes, uma etapa realizada em campo, através da análise visual do equipamento. Quando isto não era possível, uma ferramenta que se demonstrou extremamente útil nesta análise foi o WinCC, o *software* de supervisão da linha de produção utilizado no CPS. Este permitiu, através das indicações de pressão, temperatura, caudal, peso, entre outras grandezas, saber os tipos de sensores instalados em determinados equipamentos e locais.

Por sua vez, as tarefas relacionadas com cada um destes dispositivos eram bastante semelhantes, e consistiam essencialmente em testar a fixação, o correto funcionamento, e a calibração dos mesmos sempre que necessário.

Após os planos de manutenção concluídos, a análise das tarefas e das respetivas periodicidades eram definidas através de reuniões com os responsáveis das determinadas áreas, de modo a preparar o plano para futura implementação.

6.2.2.2. Estrutura

No caso dos planos de manutenção padrão, não sendo necessário um detalhe exaustivo das tarefas e informações do equipamento tal como acontecia nos planos *standard*, o desenvolvimento baseado neste modelo foi bastante simplificado. Ainda assim, os planos padrão apresentam uma melhoria considerável quando comparados com os planos utilizados anteriormente no CPS, não só porque as tarefas se encontram mais completas e detalhadas, mas também porque nenhum equipamento ficou excluído.

Nos planos já existentes, para além da indicação de equipamento parado ou em funcionamento, da periodicidade, código do item e da zona da instalação, as tarefas pouca informação acrescentavam para além do essencial, deixando de lado ações “secundárias” que poderiam ser consideradas de modo a assegurar um melhor funcionamento do equipamento. Neste sentido, os planos padrão traduzem-se numa evolução do modo como a preventiva era tratada no CPS.

Em termos de estrutura, o arquivo possui as tarefas que são recomendadas para a máquina em questão e as suas respetivas informações, como o local de instalação, marca e modelo do equipamento. Tem-se ainda o estado do funcionamento e tipo de tarefa, que as permitirá agrupar consoante a seu tipo, como inspeção elétrica, inspeção mecânica, lubrificação, instrumentação, etc. Tem-se também o centro de trabalho, que indica a equipa responsável pela zona onde o equipamento se encontra instalado e pela execução destas tarefas, e por fim a frequência recomendada para cada uma delas.

Constata-se, assim, uma evolução nos novos planos não só em termos de conteúdo mas também na clareza com que a informação é transmitida. Para além da melhor organização dos diversos parâmetros, as tarefas encontram-se exaustivamente detalhadas ao invés da forma sintetizada com que estas eram previamente apresentadas, o que beneficia a manutenção aplicada em cada um dos componentes.

6.3. Procedimentos de Execução

Os procedimentos são documentos onde é explicada, de forma detalhada, a execução de algumas das tarefas de manutenção ou de algum processo de medição. Embora inicialmente estivesse estipulado que cada um dos planos *standard* possui-se um procedimento vinculado, ou seja, os equipamentos abrangidos pela política destes planos seriam também sujeitos a uma ficha de procedimentos, no caso dos equipamentos elétricos estes acabaram por ser alargados a todos os motores e motorreductores, independentemente da sua importância na linha de produção.

A finalidade dos procedimentos de execução é apoiar os profissionais da manutenção do CPS na realização das tarefas e medições a executar, através da descrição detalhada das mesmas. Desta forma, garante-se que, independentemente da pessoa a executar o serviço, são sempre utilizados os métodos e os critérios mais corretos para lidar com o equipamento, e que visem tanto a sua preservação como a segurança do técnico. Para além do auxílio na execução da tarefa, os procedimentos permitem ainda, de certa forma,

instruir o utilizador através de figuras e uma base teórica que suporta e justifica cada uma das tarefas a realizar.

6.3.1. Fichas de Procedimentos

À semelhança do que aconteceu na elaboração dos planos de manutenção, as fichas de procedimentos foram desenvolvidas pelas equipas elétrica e mecânica, dependendo do equipamento em questão. Como tal, a equipa elétrica ficou responsável pela construção dos procedimentos para motores, motorreductores e transformadores.

As tarefas descritas nestas fichas foram essencialmente baseadas nos planos de manutenção *standard* e padrão, nos planos já existentes, nos métodos indicados nos manuais do fabricante, e no acompanhamento das tarefas de manutenção do CPS, de forma que qualquer técnico seja capaz de compreender e executar a ação requerida pelo plano de manutenção.

Por sua vez, tendo em conta a natureza das ações preventivas a realizar, os procedimentos de execução foram distribuídos em diferentes fichas, cada uma delas referente a um conjunto de tarefas específico, ou apenas aplicáveis tendo em conta o tipo de equipamento. Os tópicos seguintes apresentam cada um dos componentes elétricos privilegiados no desenvolvimento das fichas de procedimentos.

6.3.1.1. Motores BT e Motorreductores

Como já mencionado, inicialmente as fichas de procedimentos seriam apenas destinadas aos motores MT e aos transformadores presentes na instalação, contudo, tendo em conta a quantidade e a diversidade das tarefas presentes nos planos de manutenção dos motores e motorreductores, torna-se de todo conveniente a utilização de fichas de procedimentos na realização da manutenção nestes equipamentos.

No caso dos motorreductores, estes podem ser considerados um único equipamento, tal como o seu nome o indica, embora também não seja errado tratá-los como o conjunto de dois elementos distintos, o motor e o redutor. No caso do CPS, ficou definido que para equipamentos de baixa potência estes são vistos como motorreductores, ou seja, um único equipamento, sendo no entanto vistos em separado para grandes acionamentos devido à existência de planos de manutenção destinados única e exclusivamente a grandes redutores. Assim sendo, os motorreductores partilham as mesmas fichas que os motores BT, uma vez que não existe uma diferença significativa nas tarefas a executar.

Atendendo à constituição de ambas as máquinas e dos testes preventivos a realizar, foram desenvolvidas as seguintes fichas de procedimentos:

Ficha de Procedimento de Execução Geral: Esta ficha diz respeito a todas as tarefas que, de um modo geral, devem ser aplicadas em cada intervenção a este tipo de equipamentos, para que quando necessário realizar a intervenção, os profissionais possam guiar-se pela ficha e assim executar as ações necessárias que garantam o correto funcionamento do mesmo. O procedimento de execução geral é organizado por tópicos, cada um constituído por um conjunto de tarefas relacionadas ente si, sendo estes:

- Botoneira de comando local;
- Caixa de ligações elétricas;
- Arrefecimento;
- Ventilador;
- Limpeza exterior;
- Chapa de características;
- Seguranças do equipamento;
- Fixação do equipamento;
- Servo-freio (dispositivo que permite parar o equipamento numa determinada posição, normalmente associado aos motorreductores).

Este é, portanto, um conjunto de tarefas básico a aplicar quando o equipamento se encontra parado, e que não requer muito trabalho ou tempo para o executar, mas permite realizar um *check-up* geral ao equipamento e assim verificar facilmente se tudo se encontra em conformidade.

Ficha de Medição da Resistência de Isolamento: Tal como o seu nome indica, esta ficha é destinada a apresentar a forma correta e segura de executar os testes de isolamento ao estator do motor, como a resistência de isolamento, o IP e o IA. Isto é conseguido através da descrição detalhada, passo-a-passo, para a realização dos mesmos.

6.3.1.2. Motores MT

Como visto anteriormente, os motores MT são dos equipamentos mais críticos do CPS, sendo importante fazer-se acompanhar pelos procedimentos de execução aquando da

realização das suas tarefas preventivas. Como tal, foram criadas as seguintes fichas para auxiliar o processo de manutenção a estes equipamentos:

Ficha de Procedimento de Execução Geral: Esta tem o mesmo propósito do já descrito na mesma ficha de procedimento geral para os motores BT e motorreductores, no entanto apresenta algumas diferenças das tarefas a realizar devido às diferenças funcionais das respetivas máquinas. Como tal, os tópicos contidos neste procedimento são apresentados em seguida, podendo variar, obviamente, de motor para motor dependendo da sua constituição:

- Botoneira de comando local;
- Limpeza exterior;
- Caixa de ligações elétricas;
- Sistema de ventilação;
- Seguranças do equipamento;
- Chapa de características;
- Resistências de aquecimento;
- Resistências óhmicas;
- Sondas de temperatura;
- Fixação do equipamento;
- Escova de aterramento;
- Sensor de vazamento de água (no caso de permutador a água);
- Resistências de Amortecimento (motores do britador).

Ficha de Medição da Resistência de Isolamento: Esta ficha é destinada a apresentar a melhor maneira de aplicar os testes de isolamento, tanto ao estator como ao rotor do motor MT, como a resistência de isolamento, o IP e o IA, mediante a exposição detalhada da realização dos mesmos.

Ficha de Medição de Escovas: Esta ficha de medição, contida apenas nos procedimentos dos motores MT devido à presença de coletor, é referente à explicação detalhada de como realizar a mensuração das escovas nos motores de rotor bobinado (comprimento e pressão), como proceder à sua substituição, caso necessário, e como analisar os demais aspetos referentes ao sistema coletor.

Tendo em atenção a criticidade e a importância dos motores MT no sistema prolífico do CPS, os procedimentos de execução desenvolvidos ao longo do estágio para estes equipamentos foram postos em prática no sentido de verificar se eram, de facto, exequíveis e fáceis de compreender e aplicar. Para isto foram realizadas intervenções preventivas extra a quatro dos motores do CPS (os dois da britagem 2 e de ambos os moinhos de carvão), destinadas exclusivamente a seguir, com exatidão, as fichas de procedimentos criadas. Estes ensaios serviram para corrigir algumas incoerências, organizar melhor a ordem natural das tarefas indicadas, bem como adicionar uma ou outra ação ainda não abordada mas igualmente relevante.

6.3.1.3. Transformadores Elétricos

Embora este não tenha sido o principal foco do trabalho, até porque se tratam de equipamentos presentes nas salas elétricas e inicialmente ficou definido que numa primeira fase apenas seriam abordados aqueles dispostos ao longo da linha, eventualmente foi elaborado o plano de manutenção para um novo transformador, e também as respetivas fichas de procedimentos.

Este foi um trabalho algo mais exigente uma vez que ainda não se tinham realizado fichas para estes equipamentos, o que obrigou a um estudo antes de as elaborar. Verificou-se que, ao contrário do que acontecia nos motores, os transformadores possuíam diversas variantes que podiam condicionar não só os planos de manutenção como também as ações e medições a efetuar, devido à presença ou não de neutro e de um secundário simples ou duplo.

Neste caso, o transformador em questão não continha neutro (Dy), possuía dois secundários e era do tipo seco, ou seja, o seu funcionamento não recorria a óleos. Atendendo às suas características, foram elaboradas as seguintes fichas de procedimentos:

Ficha de Procedimento de Execução – Equipamento Parado: Esta ficha elucida sobre as principais ações preventivas a realizar com o transformador consignado da rede elétrica, a montante e a jusante, de forma a operá-lo em segurança. Mais uma vez foi seccionada em tópicos conforme o tipo de tarefa, sendo estes:

- PT/Cela/Sala elétrica;
- Transformador;
- Identificação do transformador;

- Seguranças do equipamento;
- Terminais e isoladores;
- Sistema de proteção por temperatura;
- Comutador de tomadas.

Ficha de Procedimento de Execução – Equipamento em Funcionamento: Tal como o nome indica, as tarefas detalhadas nesta ficha correspondem às ações preventivas a tomar quando o equipamento se encontra em funcionamento. Estas tarefas baseiam-se essencialmente no controlo do nível e perdas de óleo (transformadores a óleo) e na medição da corrente no primário e secundário. Como tal, a presente ficha elucida apenas para esta última prática.

Ficha de Medição da Resistência de Isolamento: Tal como acontece nos motores, a medição da resistência de isolamento é também um aspeto relevante na análise e controlo do estado dos transformadores elétricos. Assim sendo, esta ficha de medição explica detalhadamente a forma como se deve realizar a mensuração da resistência de isolamento, bem como o cálculo de ambos os índices, IP e IA. Ao contrário dos motores, em que a medição da resistência de isolamento se processa sempre da mesma maneira (polo positivo do megómetro nos enrolamentos do estator ou rotor, e polo negativo na massa), nos transformadores esta medição é fortemente influenciada pela sua constituição, uma vez que deve ser realizada entre cada partição de enrolamentos, ou seja, entre o enrolamento primário e a massa, entre o enrolamento secundário e a massa, e entre ambos os enrolamentos.

6.3.2. Fichas de Registo Histórico

Para além das fichas anteriormente abordadas, uma das particularidades dos procedimentos de execução foi o desenvolvimento de fichas de registo históricos, destinadas à inserção dos valores das medições de isolamento e da medição das escovas efetuadas nos equipamentos.

Embora este tipo de registos já existisse e fosse utilizado no CPS, as novas fichas trazem algumas melhorias efetivas no tratamento da informação, uma vez que efetuam, por exemplo, a indicação automática de ambos os índices, IP e IA, e respetiva avaliação através de um sistema classificativo de cores. Da mesma forma, estas indicam também o

estado de conservação das escovas, através da inserção dos valores medidos em termos de mensuração de comprimento e pressão da escova com o anel coletor.

Para além das melhorias mencionadas, as fichas de registo introduzem ainda a novidade de permitir observar a evolução das medições efetuadas ao longo do tempo, através de gráficos dinâmicos associados às mesmas.

A figura seguinte ilustra um exemplo desses mesmos gráficos evolutivos de um dos motores da britagem 2 através da utilização de registos antigos, referente à evolução do desgaste das escovas do primeiro anel coletor.

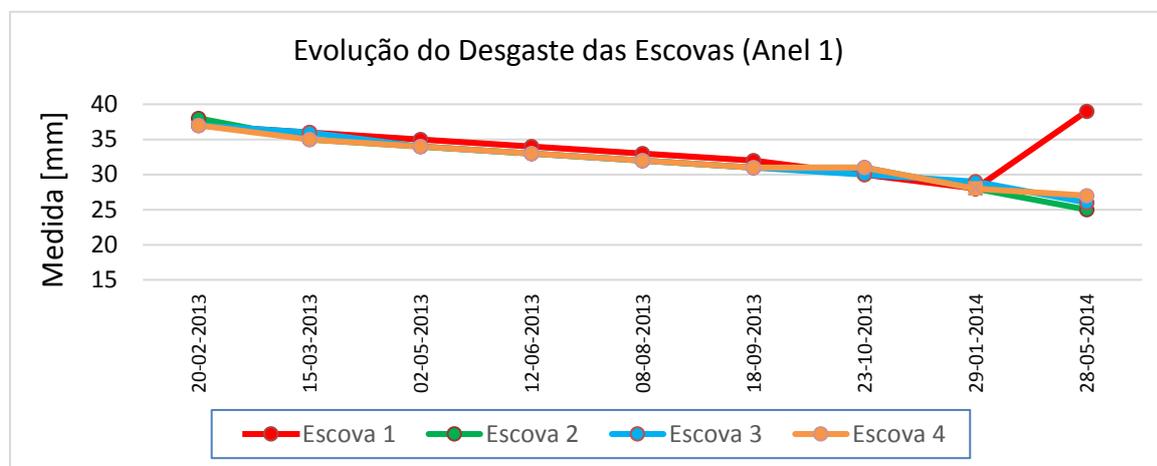


Figura 6.1. Gráfico referente à evolução do desgaste das escovas

Mediante a análise da figura anterior, destaca-se uma subida acentuada de comprimento na escova 1 no dia 28/05/2014, o que é justificado pela substituição da escova por uma nova (40 mm).

Embora se possa questionar o facto de apenas esta ter sido substituída quando apresentava aproximadamente o mesmo comprimento das restantes, a verdade é que esta é uma prática recorrente no CPS, uma vez que não é recomendando realizar a substituição de todas as escovas do mesmo anel simultaneamente, devido à necessidade de um tempo de adaptação à curvatura do mesmo. Caso esta troca fosse generalizada, o mau assentamento das escovas poderia causar sérios problemas no motor.

As figuras 6.2 e 6.3 ilustram, respetivamente, a evolução da resistência de isolamento e IP no estator do mesmo motor.

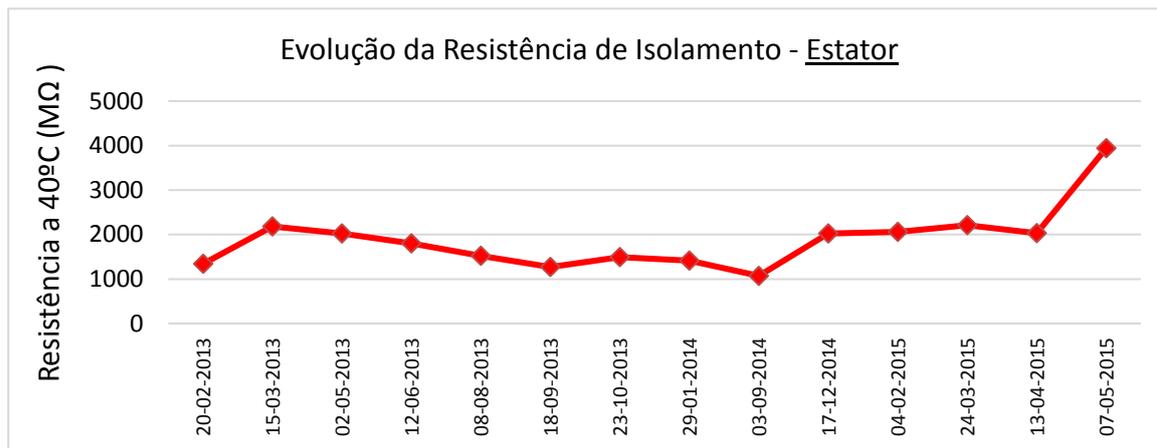


Figura 6.2. Gráfico referente à evolução da resistência de isolamento do estator

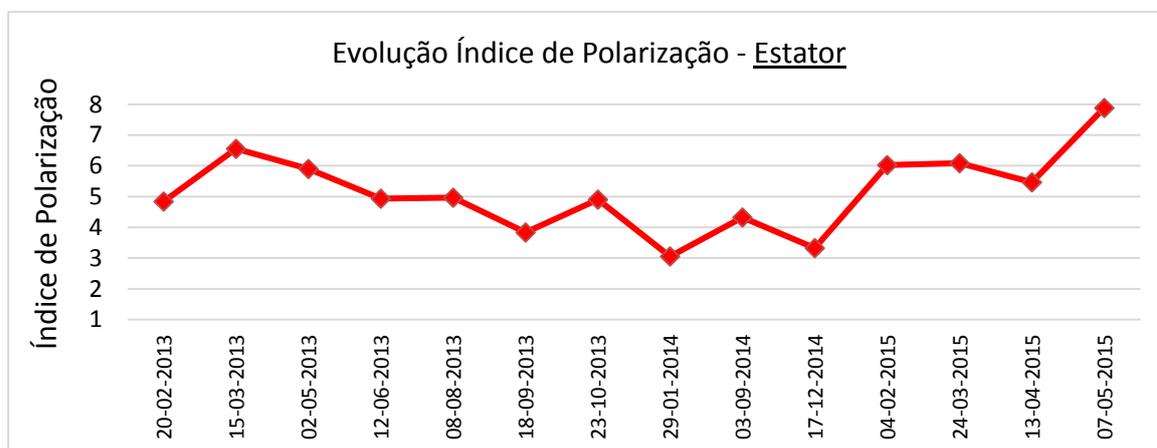


Figura 6.3. Gráfico referente à evolução do IP do estator

O gráfico representativo do IA não foi determinado pois até então não eram efetuadas medições da resistência de isolamento para 30 segundos, e o mesmo se verificou para as temperaturas, tendo sido adotada uma de 20°C na aplicação do fator de correção.

Analisando os gráficos anteriores, verificam-se diversas variações principalmente na evolução do IP, sendo estas originadas pelos diferentes níveis de humidade presente nos enrolamentos do motor. Nota-se também um aumento súbito nos valores registados no dia 07/05/2015, quando comparados com os das medições anteriores. Tanto num caso como no outro, esta melhoria foi conseguida devido à lavagem e secagem em estufa do motor, procedimento este característico dos motores com baixos níveis de resistência e índices de isolamento.

Estes são apenas alguns exemplos das conclusões que se podem retirar a partir dos registos históricos, através da observação da evolução de um parâmetro. Desta forma, torna-se mais fácil compreender alguns dos valores medidos, e determinar possíveis ações a fim de corrigir o mesmo.

6.4. Conclusão

A elaboração do trabalho relatado no presente capítulo, e que ocupou grande parte do estágio, revelou-se uma mais-valia para o CPS e para o estágio, pois possibilitou um aprofundamento do tema Manutenção e do funcionamento dos próprios equipamentos abordados, como motores, transformadores e dos inúmeros sensores.

Embora os planos de manutenção tenham ficado em fase de revisão pelos profissionais do CPS para posterior colocação em SAP, os procedimentos de execução e fichas de registo dos motores MT, já testados, foram postos em prática ainda durante a realização do estágio. A sua importância foi imediatamente sentida ao alertar para a medição da resistência de isolamento ao fim de 30 segundos, de forma a determinar o IA, algo que ainda não era feito.

Tanto os planos de manutenção como as fichas de procedimentos demonstram assim uma clara melhoria em relação à forma como a manutenção era planeada e executada no CPS, através de uma organização estrutural mais ajustada de todo o sistema, o que possibilita uma melhoria na administração e execução das práticas preventivas.

7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Conclusões Gerais

O presente estágio teve como principal objetivo o desenvolvimento de métodos com capacidade de otimizar as práticas preventivas executadas no CPS. Estes consistiram, acima de tudo, na elaboração de uma ferramenta de avaliação do estado de condição de um motor MT, denominada de FAEC, e do desenvolvimento de novos planos de manutenção e fichas de procedimentos.

De forma a ir de encontro aos objetivos inicialmente propostos, foi necessário um estudo aprofundado das inúmeras temáticas abordadas ao longo do estágio, dando ênfase à arte da Manutenção e às diversas características dos motores assíncronos trifásicos, para que tanto o trabalho desenvolvido como o presente relatório apresentassem uma base teórica consistente.

Mediante os resultados alcançados através da aplicação da FAEC nos três motores analisados, conclui-se o sucesso da mesma na obtenção de um diagnóstico do estado de condição do motor, possibilitando à equipa responsável pela manutenção destes equipamentos agir em conformidade com a situação verificada. Seja pelo ajuste das periodicidades das mais variadas tarefas, seja pela preparação ou pela execução da intervenção exigida, é garantido um melhor controlo sobre a supervisão e sobre o planeamento da manutenção a executar.

No que diz respeito aos novos planos de manutenção, acredita-se que estes serão uma mais-valia para o CPS, pois permitem a consulta e a realização da manutenção de uma forma mais simples e organizada do que antes era feita. Por sua vez, os procedimentos de execução foram desenvolvidos, testados e postos em prática com sucesso, para já apenas referentes aos motores MT, permitindo não só um melhor registo histórico da informação recolhida ao longo das diversas medições efetuadas, mas também a sensibilização para algumas aspetos como o cálculo do IA, , ou o registo da pressão das escovas, algo que até então era pouco frequente medir ou registar.

Dá-se assim por concluído o relatório de estágio, com a esperança de que a implementação do trabalho desenvolvido possa contribuir positivamente para as práticas de manutenção do CPS, maximizando o sucesso do seu desempenho, reduzindo o risco de acidentes e de avarias do sistema, e otimizando os custos associados às mesmas.

7.2. Sugestões Para Trabalhos Futuros

No que diz respeito à ferramenta desenvolvida, a FAEC, acredita-se que muito ficou por analisar, e que a melhoria e aperfeiçoamento da metodologia poderá contribuir para uma melhor averiguação do estado de condição dos motores sujeitos à sua aplicação. Desta forma, nos pontos seguintes são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, que, de certo, serão um contributo valioso para uma melhor determinação do estado do motor e das medidas a tomar consoante o seu diagnóstico:

- Os diferentes indicadores considerados na FAEC não exercem a mesma influência sobre o estado de condição do motor. Embora o resultado final obtido tenha sido definido pelo indicador com classificação mais baixa, sugere-se a introdução de uma ponderação dos indicadores por pesos, consoante a importância de cada um. Desta forma será possível determinar, com mais rigor, o estado de condição geral do equipamento, proporcionando a tomada de medidas mais adequadas tendo em vista a elevação do grau de precisão do modelo;
- Outro trabalho interessante, e igualmente conveniente para o aprimoramento da ferramenta de avaliação, seria a conjugação entre o estado de condição geral do motor e de cada uma das suas áreas (ECE, ECI e CM), com os valores da despesa referentes às medidas a tomar. Assim, sugere-se o desenvolvimento de uma metodologia que permita determinar a manutenção estritamente necessária a aplicar a determinado equipamento, conseguida através do compromisso entre a máxima fiabilidade e os mínimos custos associados. Este processo funcionaria de certa forma como um *add-on* da FAEC, suplementando a ferramenta já existente e tornando-a apta para lidar com a otimização de custos.

7.3. Observação Final

Em virtude dos fatos mencionados, conclui-se que o projeto realizado foi importante na minha formação, dada a aquisição de diversas competências, não só sobre os temas expostos, mas também pela relação interpessoal com os diversos profissionais do CPS, e pelo acompanhamento das diversas atividades de engenharia de uma das empresas de referência em Portugal como a Cimpor, revelando-se, de certo, uma mais-valia para futuras realizações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, F. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa. ISBN 978-989-752-151-5.
- Assis, R. (2014). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos*. Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa. ISBN 978-989-752-112-6.
- Cabral, J. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: Dos Conceitos à Prática...* Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa. ISBN 978-972-757-440-7.
- Cimpor (2012). NP EN 197-1:2012, European Standard, versão Portuguesa - Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes.
- Cimpor (2014). *Relatório e Contas 2014*. Obtido em 19 de abril de 2016, de <http://www.cimpor.pt/cache/binimagens/xpqxh7axx238988qh4cstgfpzku.pdf>.
- Dias, J. (2003). *A Gestão da Manutenção em Portugal*. Tese de Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial. Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Francisco, A. (2006). *Motores de Indução Trifásicos*. Versão 0. Material de Estudo à disciplina Máquinas Elétricas, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu.
- GIAGI (2005). *Gestão da Manutenção e Disponibilidade dos Equipamento*. Manual Formando. Consultores em Gestão Industrial, Lda., Aveiro. POEFDS – Ministério da Segurança Social e do Trabalho. Edição 0.
- Gobbo, L. (2003). *Os Compostos do Clínquer Portland: Sua Caracterização Por Difração de Raios-X e Quantificação Por Refinamento de Rietveld*. Dissertação de Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Gonçalves, C. (2005). *Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Gonçalves, J. (2007). *Estudo do Comportamento do Motor de Indução Trifásico Sujeito a Perturbações na Qualidade da Energia*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Hjartarson, T., Jesus, B., Hughes, D., e Godfrey, R. (2003). *Health Indices for Substation Asset Condition Assessment. EDIST Conference*. Ontario, Canada.

Hughes, D. (2003). *The Use of “Health Indices” to Determine End of Life and Estimate Remnant Life For Distribution Assets*. 17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED). United Kingdom.

IPQ (2007). NP EN 13306:2007, European Standard, versão Portuguesa - Terminologia da Manutenção Portugal.

Lobo, B. A. (2012). *Acetatos de Apoio à Cadeira de Gestão da Manutenção*. Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Mirshawa, V. e Olmedo, N. (1993). *Manutenção: Combate aos Custos na Não Eficácia - A Vez do Brasil*. McGraw-Hill Ltda., São Paulo. ISBN 0074502425.

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. Industrial Press Inc. Nova Iorque. ISBN 0-8311-3078-4.

Murty, A. e Naikan, V. (1995). *Availability and Maintenance Cost Optimization of a Production Plant*. Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 12 Iss: 2, pp.28-35

Pinto, C. V. (2002). *Organização e Gestão da Manutenção*. Monitor. Lisboa. ISBN 9789729413391.

Pinto, V. M. (1994). *Gestão da Manutenção*. IAPMEI - Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento. Lisboa. ISBN 972-9205-57-4.

P&Q (2016). *A Eficácia do Coprocessamento na Gestão de Resíduos*. Obtido em 16 de Agosto de 2016, de <http://www.peqengenhariajr.com.br/eficacia-do-coprocessamento-na-gestao-de-residuos/>.

Ramos, P. (2012). *Organização e Gestão da Manutenção Industrial: Aplicação Teórico-prática às Fabricas Lusitana – Produtos Alimentares, S.A.* Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Souris, J. (1992). *Manutenção Industrial: Custo ou Benefício?*. Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa. ISBN 972-9018-25-1.

Varela, N. e Vieira F. (2005). *Cimento: Uma Matéria-Prima Essencial no Fabrico de Argamassas*. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.

WEG (2015). *DT-6: Motores Elétricos Assíncronos e Síncronos de Média Tensão – Especificação, Características e Manutenção*. Obtido em 26 de maio de 2016, de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/weg-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>

ANEXO A

Relatório de Visita Técnica



uma empresa  InterCement

CIMPOR
Centro de Produção de Souselas

Relatório de Visita Técnica

Visita às instalações da WEG a fim de averiguar os defeitos presentes nos motores do Cimento 4

Equipamentos

Motor Nº1: AV/RA 710 1850kW 6kV 6P, Nº Série 852302001 - 1021

Motor Nº2: AV/RA 710 1850kW 6kV 6P, Nº Série 900111002 - 922

Autor

João Vaz

Intervenientes

Daniel Pereira

Paulo Pereira

Rodrigo Abrunheiro

R. Eng. Frederico Ulrich 605, 4470 – Maia, Porto

05 de julho de 2016

A.1. Enquadramento

Após a análise do relatório técnico, de referência A1.300349100, emitido pelo Eng.º Nuno Silva da WEG, no dia 05 de julho de 2016 foi realizada uma visita às suas instalações, com localização na Rua Eng. Frederico Ulrich, na Maia, Porto, a fim de avaliar o estado de condição dos dois motores responsáveis pelo acionamento do moinho do cimento 4:

- **Motor N° 1:** AV/RA 710 1850kW 6kV 6P, N° Série 852302001 – CPS 1021;
- **Motor N° 2:** AV/RA 710 1850kW 6kV 6P, N° Série 900111002 – CPS 922.

Já no local local, às 10h45, os equipamentos encontravam-se desmontados e prontos para a avaliação, como se pode verificar pelo ilustrado na figura seguinte.

Procedeu-se assim à análise dos motores, tendo sido recolhida informação técnica, inclusive fotos, que motivam e sustentam o presente relatório.

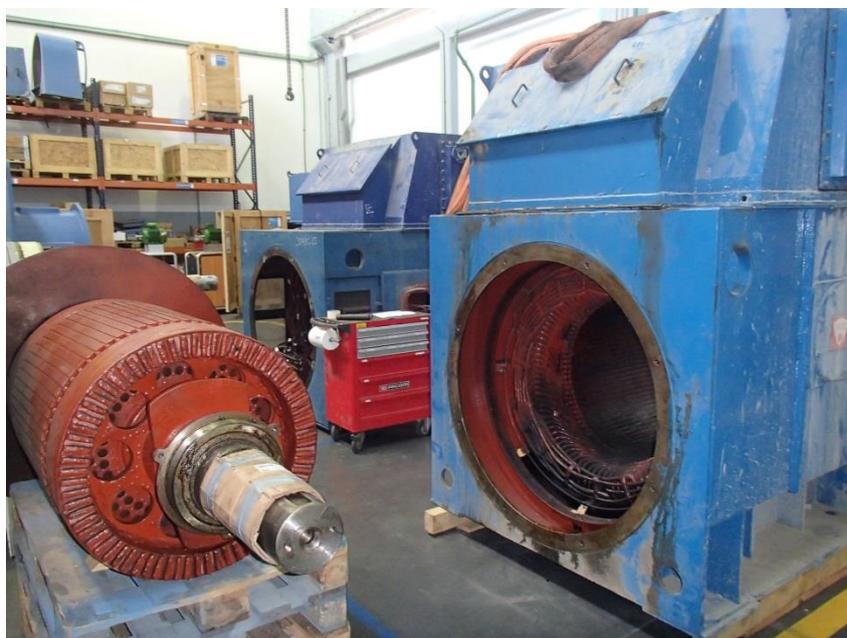


Figura A.1. Motores desmontados

O relatório apresenta-se dividido em duas partes distintas, de forma a diferenciar a análise feita a cada um dos motores. Contém ainda algumas considerações finais, onde são referenciados outros aspetos a ter em atenção.

A.2. Motor Nº 1: Nº Série 852302001 – CPS 1021



Características:
Nº CPS 1021
Marca EFACEC
Ano 1983
Potência 1.850 kW
Tensão estator 6.000,000 V
Inten. estator 213,6 A
Tensão rotor 1.226 V
Inten. rotor 910,000 A
Velocidade 994,000 R.P.M.
Fator Potência 0,87
Montagem B3

Figura A.2. Características do motor nº 1: Nº Série 852302001 – CPS 1021

A.2.1. Estado do Equipamento

Segundo o relatório técnico da WEG este é o motor mais problemático, uma vez que tanto o estator como o rotor se apresentam danificados. Verificam-se, portanto, as seguintes deformidades:

- Presença de curto-circuito a meio das barras estatóricas, numa das ranhuras, o que originou a projeção de cobre para o rotor, danificando também a chaparia do mesmo.

Solução inicialmente proposta: Rebobinagem do estator.

- Resistência de isolamento do rotor bastante baixa (1,79 M Ω).

Solução inicialmente proposta: Lavagem completa e secagem em estufa do rotor.

- Cabos do coletor de escovas envelhecidos.

Solução inicialmente proposta: Substituição dos cabos.

A.2.2. Análise no Local

Já nas instalações da WEG verificou-se, de facto, o elevado estado de degradação tanto do estator como do rotor.

O estator apresentava danos sobretudo ao nível da chaparia causados pelo levantamento das regletes, o que originou também danos no rotor. As figuras seguintes ilustram o estado em que o estator se encontrava.



Figura A.3. Danos no estator do motor nº 1

Após uma análise ponderada, concluiu-se que os danos se deveram às regletes, constituídas por fibra de vidro. Estas, que deveriam ser amagnéticas, levantaram devido à magnetização aplicada no momento do arranque pelo indutor no induzido, gerando um curto-circuito entre eles e por conseqüente os defeitos em ambos os componentes.

À partida existe a possibilidade dos danos no estator serem apenas superficiais, o que eliminaria a necessidade de reparação do circuito magnético, bastando apenas a sua rebobinagem. Assim sendo, será realizado um descasque a toda a sua chaparia, de forma a realizar novos testes e verificar se o problema persiste.

Por sua vez o rotor encontrava-se bastante contaminado de sujidade, em especial pelas poeiras de cimento e carvão acumuladas ao longo do tempo, sendo esta a principal causa apontada para o valor baixo da Resistência de Isolamento medida (1,79 M Ω). Recomenda-se assim a lavagem e secagem em estufa do respetivo rotor, a fim de eliminar qualquer tipo de contaminação, seguido de novos testes de isolamento onde se esperam melhores resultados.



Figura A.4. Presença de sujidade no rotor do motor n° 1

Como se pode verificar pela figura anterior, para além da sujidade acumulada, é também possível observar os efeitos que a avaria do estator teve no rotor, através da fusão do cobre visível na chaparia.



Figura A.5. Cobre do estator fundido com a chaparia do rotor

Apesar do dano verificado no rotor, espera-se que este não influencie significativamente o desempenho do motor, uma vez que após o momento do arranque o rotor é curto-circuitado, não tendo portanto qualquer impacto no funcionamento nominal da máquina. Assim sendo, em princípio não será necessário aplicar nenhuma medida interventiva neste sentido, à exceção da remoção do cobre fundido na chaparia do rotor, e de novos testes para verificar se de facto este influência ou não o seu funcionamento.

Para além das falhas descritas, detetou-se ainda que os cabos das escovas se encontram ressequidos, sendo recomendada a sua substituição.



Figura A.6. Cabos das escovas ressequidos

A.2.3. Medidas a Implementar

Tendo em conta a análise realizada ao estado de condição do motor nº 1, ficou decretado que se aplicassem as seguintes medidas a fim de reparar o respetivo equipamento:

- Descascar o estator e realizar novos testes, entre eles o ensaio de anel e análise de pontos quentes durante o arranque, de modo a averiguar se será de facto necessário proceder à reparação do circuito magnético;
- Rebobinagem do estator;
- Lavagem completa e secagem do rotor em estufa, de modo a eliminar a sujidade acumulada ao longo do tempo;
- Remover o cobre do estator fundido na chaparia do rotor e verificar a influência do mesmo no arranque do motor;
- Ordem de substituição dos cabos responsáveis pela ligação das escovas ao coletor, por se encontrarem bastante ressequidos.

A.3. Motor Nº 2: Nº Série 900111002 – CPS 922



Características:
Nº CPS 922
Marca EFACEC
Ano 1983
Potência 1.850 kW
Tensão estator 6.000,000 V
Inten. estator 213,6 A
Tensão rotor 1.226 V
Inten. rotor 910,000 A
Velocidade 994,000 R.P.M.
Fator Potência 0,87
Montagem B3

Figura A.7. Características do motor nº 2: Nº Série 900111002 – CPS 1021

A.3.1. Estado do Equipamento

Segundo o relatório técnico da WEG, o motor nº 2 apresenta as seguintes deformidades:

- Presença de curto-circuito no final da chaparia do estator, à saída do circuito magnético.

Solução inicialmente proposta: Rebobinagem do estator.

- Valor da resistência de isolamento do rotor bastante aceitável (15,8 G Ω) e aparentemente em bom estado.

Solução inicialmente proposta: Lavagem completa e secagem em estufa do rotor.

A.3.2. Análise no Local

Apesar de ter sido recomendada a rebobinagem de ambos os estatores, esperava-se que com esta visita se pudesse encontrar uma solução mais económica para o estator do motor nº 2, tendo em conta que o dano observado se encontrava apenas na bobina à saída do circuito magnético, próximo da “testa” do motor. Contudo, após uma melhor avaliação, verificou-se que também as bobinas ao lado se encontravam danificadas, provocando o curto-circuito entre fases.



Figura A.8. Constatação dos danos ao final da chaparia do estator

Presume-se que este problema seja o resultado direto da falha verificada no estator do motor nº 1, originado pela paragem deste e por consequente a transferência de todo o trabalho para o motor nº 2. Este excesso de carga, não sendo suportável por apenas um motor, causou os danos irreparáveis verificados na figura anterior, sendo assim inevitável proceder à rebobinagem do estator.

Com o motor aberto foi possível verificar a existência de um excesso de massa lubrificante junto ao estator, embora aparentemente não tenha tido qualquer influência na avaria registada.



Figura A.9. Excesso de massa lubrificante no interior

No que diz respeito ao rotor, não se verificou nenhuma inconformidade. Este não aparentava sinais de sujidade e a resistência de isolamento medida indicava um bom estado de isolamento, não sendo portanto necessário aplicar nenhuma medida corretiva. No entanto, constatou-se que na rebobinagem anterior o rotor foi selado de forma incorreta, obstruindo grande parte da ventilação a que este poderia estar sujeito (estimado em cerca de 50%).



Figura A.10. Ventilação do rotor obstruída

Assim, embora o rotor funcione corretamente, é expectável que tenho um tempo de vida útil reduzido devido ao desgaste do material proporcionado pela falta de ventilação.

A.3.3. Medidas a Implementar

Tendo em conta a análise realizada ao estado de condição do motor nº 2, ficou decretado que se aplicassem as seguintes medidas a fim de reparar o respetivo equipamento:

- Rebobinagem do estator;
- Realizar ensaio de anel e análise de pontos quentes após a rebobinagem, de forma a avaliar a aceitação da mesma.

A.4. Notas Finais

Para além da análise efetuada aos motores e das medidas acordadas entre ambas as entidades, ficou combinada a pintura dos mesmos (já incluída no orçamento).

Será ainda realizada uma análise aos dois permutadores, a fim de avaliar o estado de condição dos mesmos. O orçamento para a sua beneficiação será emitido, caso se julgue necessário.

Concluiu-se assim o relatório da visita técnica às instalações da WEG, tendo sido avaliado com clareza o estado de condição de ambos os motores do Cimento 4, e determinadas as medidas a tomar para as suas reparações.

