

Definição de uma Metodologia de Manutenção para a Verificação de Tolerâncias de Equipamentos numa Unidade de Produção de Pneus

José Pedro Tavares Pedro Bernardo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Armando Leitão

Orientador na empresa: Eng. João Novais



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2021-06-28

Resumo

A gestão dos ativos tem assumido uma importância crescente no contexto de uma organização. Tendo em conta que, na maior parte dos casos, os equipamentos representam os maiores investimentos de uma empresa ligada à indústria, é fundamental que sejam mobilizados esforços que garantam as suas melhores condições de funcionamento, assegurando a máxima durabilidade ao mínimo custo global.

O presente projeto propõe-se a definir e documentar uma metodologia a seguir para a prática de uma atividade de manutenção numa nova unidade de produção de pneus em instalação na fábrica da Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A. Esta atividade, denominada “Verificação de Tolerâncias de Equipamentos”, tem o objetivo de avaliar, periodicamente, a condição de um equipamento no que toca ao posicionamento absoluto e relativo de cada uma das suas diferentes partes. A definição desta metodologia envolveu o conhecimento profundo da construção e funcionamento da máquina, bem como do processo produtivo que nela ocorre. Em primeiro lugar, foi analisada em detalhe a estrutura da máquina e as suas partes principais, bem como a sua função específica no processo produtivo. Seguiu-se a definição das condições geométricas a garantir de modo a que o processo de produção ocorresse da forma idealizada. Uma vez definidas as condições a garantir, foram concebidos e testados na máquina os procedimentos destinados à verificação dessas mesmas condições. A reunião destes procedimentos culminou na elaboração de um manual com toda a informação necessária à sua realização, destinado a auxiliar a equipa da manutenção preventiva na execução desta tarefa na nova unidade. Em simultâneo com o desenvolvimento deste manual, foi também desenvolvido um suporte para o registo dos resultados das medições obtidas a partir dos procedimentos, por forma a ser possível aferir quanto à condição de funcionamento da máquina num determinado momento, bem como a sua monitorização ao longo do tempo. No final, foi ainda proposto um indicador de manutenção para a avaliação da eficiência da metodologia definida através da análise da condição da máquina antes e depois da execução dos procedimentos propostos.

O presente projeto permite constatar o impacto da condição de funcionamento de um equipamento na qualidade do produto final obtido. Ao realçar a importância de certas práticas periódicas na preservação do correto funcionamento dos equipamentos e dos seus consequentes processos produtivos, esta dissertação sensibiliza para o papel crucial da manutenção preventiva no contexto de uma empresa ligada ao setor industrial.

Abstract

Asset management has become increasingly important in the context of an organization. Taking into account that, in most cases, the equipment represents the largest investments of a company related to the industry, efforts must be mobilized to guarantee their best operating conditions, ensuring maximum durability at minimum overall cost.

This project aims to define and document a methodology for the practice of a specific maintenance activity in a new tire production unit installed at the factory of Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A. This activity, called “Machine Tolerance Check”, aims to periodically assess the condition of a certain equipment concerning the absolute and relative positioning of each of its different parts. The definition of this methodology in the machine correspondent to the production unit mentioned above involved in-depth knowledge of the construction and operation of the machine, as well as the production process that takes place in it. First, it was analyzed in detail the structure of the machine and its main parts, as well as their specific function in the production process. Next, the geometric conditions to be guaranteed so that the production process took place in the idealized way were defined. Once these conditions were defined, the procedures for checking them were designed and tested on the machine. The collection of these procedures culminated in the elaboration of a manual with all the necessary information for their execution, intended to assist the preventive maintenance team when performing this task on the new unit. Simultaneously with the development of this manual, a support for the registration of the results of measurements obtained from procedures was developed to facilitate the assessment of the machine’s operating condition at a given time, as well as its monitoring over time. In the end, a maintenance KPI was proposed to evaluate the efficiency of the methodology defined, by analyzing the condition of the machine before and after the execution of the procedures on the machine.

This project allows to evidence the impact of the operating condition of the equipment on the quality of the final product. By highlighting the importance of certain periodic procedures to preserve the correct functioning of the equipment and its consequent productive processes, this dissertation raises awareness for the crucial role of preventive maintenance in the context of a company linked to the industrial sector.

Agradecimentos

Ao Engenheiro João Novais, pelo tempo investido no meu acompanhamento na empresa e por toda a orientação e ajuda ao longo de todo o projeto.

A todos os elementos do Departamento de Engenharia 7, engenheiros e técnicos de manutenção, pelo contributo que, de uma maneira ou de outra, deram para o presente projeto. Um especial obrigado aos técnicos Bruno Costa, Ricardo Barbosa, Rui Alves e Sérgio Ribeiro, elementos da equipa da manutenção preventiva do departamento, pelo seu companheirismo ao longo do projeto e pela sua cooperação e auxílio na definição da metodologia proposta no presente trabalho.

Ao professor Armando Leitão, pelo acompanhamento e orientação do presente projeto.

Às pessoas que tive o prazer de conhecer ao longo dos últimos cinco anos e que tenho a sorte de poder chamar de meus melhores amigos. Obrigado pelo apoio durante os momentos mais difíceis e por fazerem parte dos momentos mais alegres. A todos eles, o meu profundo obrigado por tudo o que me fizeram aprender e crescer. Obrigado por todas as memórias que ficarão para sempre, e que venham muitas mais.

Aos meus irmãos, Mariana e Afonso, por toda a paciência e amor que sempre demonstram para comigo.

Por último, o meu profundo agradecimento àqueles a quem devo tudo: os meus pais. Obrigado por todo o amor e apoio incondicional, por todo o esforço que sempre investiram em mim para que fosse sempre melhor, para que nunca nada me faltasse. Obrigado por serem o grande suporte da minha vida e por permitirem que me tornasse naquilo que sou hoje. Obrigado por serem o meu maior exemplo.

Ao meu pai e à minha mãe

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	A empresa Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.	2
1.3	Objetivos do projeto	6
1.4	Metodologia do projeto	6
1.5	Estrutura da dissertação	6
2	Enquadramento teórico	7
2.1	Manutenção	7
2.1.1	Definição, objetivos e importância	7
2.1.2	Políticas de manutenção	8
2.1.3	Modelos de gestão da manutenção	10
2.2	Qualidade	13
2.2.1	Definição, objetivos e importância	13
2.2.2	Sistemas de gestão da qualidade	14
2.2.3	Documentação de um sistema de gestão da qualidade aplicada à manutenção	16
3	Contextualização e descrição detalhada do Projeto	19
3.1	A unidade CST da Continental Mabor	19
3.1.1	O DE7	20
3.1.2	A gestão da manutenção no DE7	22
3.2	O processo produtivo de um pneu OTR radial	24
3.2.1	O pneu OTR radial	25
3.2.2	Os elementos constituintes de um pneu OTR radial	26
3.2.3	A máquina OTR#03 e o processo de construção de um pneu OTR radial .	27
3.3	A gestão da qualidade no contexto do processo produtivo	32
3.3.1	A inspeção final e os requisitos de qualidade de um pneu	32
3.3.2	A influência da condição da máquina na qualidade do produto final . . .	33
3.3.3	Definição do conceito de Verificação de Tolerâncias de Equipamentos no contexto da empresa	35
3.3.4	Análise ao projeto proposto	35
4	Desenvolvimento do Projeto	37
4.1	Estrutura e partes principais da máquina	37
4.2	Condições a garantir entre as partes da máquina	38
4.3	Definição da Metodologia para a Verificação de Tolerâncias de Equipamentos da máquina	39
4.3.1	Manual de procedimentos de verificação de tolerâncias da máquina . . .	40

4.3.2	Ferramentas para o registo e monitorização das medições definidas nos procedimentos	42
4.4	Indicadores propostos para a avaliação do desempenho da metodologia definida .	43
5	Conclusão e Projetos Futuros	47
5.1	Conclusão	47
5.2	Projetos Futuros	48
A	Masterplan da Manutenção Planeada da unidade CST	51
B	Resultado de um Raio-X a um pneu OTR radial	53
C	Resultado de um teste de <i>shearografia</i> a um pneu OTR radial	55
D	Lista das partes principais da máquina OTR#03	57
E	Lista das partes principais da máquina críticas para o processo produtivo	59
F	Condições a garantir entre as partes da máquina	61
G	Lista de Procedimentos definidos	63
H	Índice do Manual de MTC elaborado	65
I	Descrição do Procedimento nº15.1: Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU	69
J	Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona <i>Carcass</i>	73

Siglas e Acrónimos

CST	<i>Commercial Specialty Tires</i>
OTR	<i>Off-The-Road</i>
DE7	Departamento de Engenharia 7
MTC	<i>Machine Tolerance Check</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>

Lista de Figuras

1.1	Áreas e divisões do grupo Continental AG	2
1.2	Vista aérea da fábrica da Continental Mabor em Lousado, Vila Nova de Famalicão. Fonte: intranet Continental	5
1.3	Organograma da empresa Continental Mabor. Fonte: intranet Continental	5
2.1	Tipos de abordagem à manutenção: planeada e não planeada	9
2.2	Representação esquemática de um processo simples. Fonte: Norma NP EN ISO 9001:2015	15
2.3	O ciclo PDCA	16
3.1	A unidade CST no contexto da Continental Mabor	20
3.2	Organograma da Direção de Engenharia da Continental Mabor	21
3.3	Organograma do Departamento de Engenharia 7	22
3.4	Esquematização do processo produtivo de um pneu OTR radial	24
3.5	Exemplares de pneus OTR radiais produzidos na unidade CST de Lousado	25
3.6	Legenda dos componentes constituintes de um pneu OTR radial. Fonte: <i>Off-The- Road Tires: technical Databook</i>	26
3.7	Processo à responsabilidade da máquina OTR#03	28
3.8	Representação das 5 zonas da máquina OTR#03	29
3.9	Pneu de teste construído na OTR#03	33
3.10	Resultado do Raio-X efetuado a um pneu de teste produzido na OTR#03	34
4.1	Modelo de cabeçalho aplicado ao procedimento nº15.1	41
4.2	Excerto da ferramenta de introdução e monitorização de medições desenvolvida, sem medições inseridas	42
4.3	Excerto da ferramenta de introdução e monitorização de medições desenvolvida com medições inseridas	43
A.1	<i>Masterplan</i> da unidade CST	52
B.1	Resultado de um Raio-X a um pneu OTR radial	54
C.1	Resultado de um teste de <i>shearografia</i> a um pneu OTR radial	56
H.1	Índice do Manual de MTC elaborado (Página 1 de 3)	66
H.2	Índice do Manual de MTC elaborado (Página 2 de 3)	67
H.3	Índice do Manual de MTC elaborado (Página 3 de 3)	68
I.1	Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU (Página 1 de 3)	70

I.2	Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU (Página 2 de 3)	71
I.3	Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU (Página 3 de 3)	72
J.1	Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona <i>Carcass</i> (Página 1 de 2)	74
J.2	Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona <i>Carcass</i> (Página 2 de 2)	75

Lista de Tabelas

1.1	Empresas subsidiárias do grupo Continental AG em Portugal	4
4.1	Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Carcass	38
D.1	Lista das partes principais da máquina OTR#03	58
E.1	Lista das partes principais da máquina críticas para o processo produtivo	60
F.1	Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Belt	62
F.2	Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Shaping	62
F.3	Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Alpha	62
G.1	Lista de Procedimentos definidos para a verificação de tolerâncias de equipamentos na máquina OTR#03	64

Capítulo 1

Introdução

O presente projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular “Dissertação”, do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial (MIEGI), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). O projeto de dissertação em contexto empresarial decorreu na empresa Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A., em Lousado (Vila Nova de Famalicão), durante o período correspondente ao 2º semestre do ano letivo 2020/2021, debruçando-se sobre o tema “Definição de uma Metodologia para a Verificação de Tolerâncias de Equipamentos numa Unidade de Produção de Pneus”.

Neste capítulo serão apresentados o enquadramento e motivação do projeto, a empresa, bem como os objetivos e a metodologia seguida na realização do mesmo. Será, ainda, apresentada a empresa e a estrutura da presente dissertação através da breve descrição do conteúdo de cada um dos seus capítulos.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O presente projeto foi desenvolvido no contexto do Departamento de Engenharia 7 (também referido como DE7) da empresa Continental Mabor, departamento responsável pela manutenção e melhoria dos equipamentos afetos à unidade de produção de pneus destinados a veículos pesados industriais (unidade CST) da fábrica de Lousado, bem como pela instalação de novos equipamentos nessa mesma unidade.

No contexto da empresa, todos os equipamentos que assumem uma especial relevância para o processo de produção são sujeitos a uma verificação periódica, denominada “Verificação de Tolerâncias de Equipamentos”, que consiste numa avaliação à condição de funcionamento do equipamento no que toca à posição absoluta e relativa dos seus diferentes componentes, que terão influência direta no processo produtivo e, consequentemente, na qualidade dos produtos finais obtidos. Estas verificações são materializadas através de medições com recurso a vários instrumentos de medição. Caso as medições efetuadas se encontrem dentro das tolerâncias admitidas, o equipamento é considerado de acordo com as suas especificações de operação, encontrando-se

apto a produzir. Caso contrário, são efetuadas operações de ajuste e afinação ao mesmo de modo a garantir que ele opera dentro da zona de tolerância definida.

A motivação do presente projeto prende-se com a recente adição à unidade CST de um novo equipamento – a máquina OTR#03 – responsável pelo processo de construção do pneu em verde (pré-vulcanização) concebido pela empresa italiana Maragoni Machinery. Esta máquina, a primeira do seu tipo a integrar a fábrica de Lousado, apresenta uma configuração única, pelo que os procedimentos de verificação de tolerâncias levados a cabo nas unidades já existentes não podiam ser replicados neste novo equipamento. Urgiu, por isso, a necessidade de definir uma metodologia de manutenção que permitisse a avaliação desta condição deste novo equipamento, de forma a garantir o seu correto funcionamento e, consequentemente, a qualidade do produto final.

1.2 A empresa Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.

O grupo Continental AG

O grupo Continental AG foi fundado em Hannover (Alemanha) em outubro de 1871, fabricando inicialmente objetos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas. Em 1898, iniciou a produção de pneus lisos (sem piso) para automóveis tendo acompanhado e contribuído desde então para a evolução da indústria automóvel através do desenvolvimento de técnicas, equipamentos e produtos. Em 2007, a aquisição da Siemens VDO Automotive AG fez com que o grupo se posicionasse entre os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel. Em 2018, o grupo encontrava-se na segunda posição no ranking dos 100 maiores fornecedores da indústria automóvel, em termos de receitas anuais, com estas a atingirem os 44,4 mil milhões de euros (Advisors, 2020).

Atualmente, para além da construção de pneus, o grupo Continental é especialista no desenvolvimento e produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos e sensores. No seu todo, o grupo alemão emprega mais de 240 000 colaboradores distribuídos por 59 países.

O Grupo Continental AG encontra-se organizado em 3 grandes áreas de negócio - *Automotive Technologies*, *Rubber Technologies* e *Powertrain Technologies* que, por sua vez, se encontram estruturadas por divisões. A Figura 1.1 representa uma esquematização da estruturação das diferentes áreas de negócio e respetivas divisões.

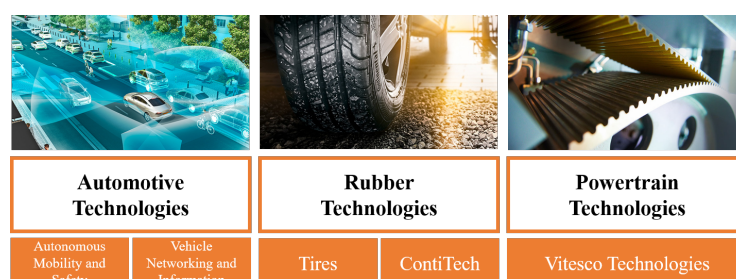


Figura 1.1: Áreas e divisões do grupo Continental AG

A área *Automotive Technologies* é constituída pelas divisões *Autonomous Mobility and Safety* (AMS) e *Vehicle Networking and Information* (VNI). Na primeira, *Autonomous Mobility and Safety*, estão incluídas as tecnologias destinadas à melhoria da segurança do veículo, tais como sistemas de travagens hidráulicos, sistemas avançados de assistência à condução, elementos de segurança passiva e sensores e sistemas de controlo de estabilidade do veículo. Já a divisão *Vehicle Networking and Information* é responsável pela criação de soluções relativas ao fluxo de informação de e entre veículos automóveis ligeiros e pesados. O principal foco está na integração de sistemas no interior do veículo bem como na sua interface com o utilizador. Aqui se desenvolvem produtos como *displays* táteis para *tablier*, soluções para emparelhamento de dispositivos móveis e sistemas de redes de conexão entre veículos.

Na área *Rubber Technologies* inserem-se as divisões *Tires* e *ContiTech*. A divisão *Tires* é aquela responsável pela maior percentagem de faturação do grupo e é nela que está inserida a unidade de Lousado, onde foi levado a cabo o presente projeto. Inclui cinco unidades de negócio: *Original Equipment*, *Replacement APAC*, *Replacement EMEA*, *Replacement the Americas*, e *Specialty Tires*. A unidade *Original Equipment* está associada à comercialização direta de pneus aos fabricantes automóveis, enquanto que a de *Replacement* representa o chamado “mercado de substituição”. Este mercado está dividido em 3 grandes áreas geográficas: APAC (*Asia and Pacific*), EMEA (*Europe, Middle East and Africa*) e “*the Americas*”(continente americano). A unidade de *Specialty Tires* engloba a produção de pneus destinados a veículos especiais, nomeadamente veículos agrícolas e industriais. Já a divisão *ContiTech* desenvolve e produz componentes e sistemas funcionais de borracha, plástico, metal ou tecido destinados à indústria automóvel, minéria, entre outras. De entre estes produtos destacam-se compostos e revestimentos de borracha, elastómeros e misturas poliméricas, sistemas de correias de transportes, soluções para o manuseio de fluidos, sistemas de vedação, materiais de superfície e soluções para controlo de vibração.

Por último, na área *PowerTrain Technologies* está inserida a divisão *Vitesco Technologies* que é responsável pela investigação e inovação na área da condução ecológica e eficiente. Saliente-se, de entre o seu portefólio de produtos, sistemas de injeção de combustível eficientes, soluções inovadoras de motores de combustão, soluções para o tratamento de gases de escape e controlos eletrónicos para transmissões.

O grupo Continental AG em Portugal

Em Portugal, a Continental AG está representada em duas diferentes localizações, através de cinco empresas. Três delas estão situadas em Lousado e as restantes em Palmela. A Tabela 1.1 mostra as diferentes subsidiárias do grupo Continental AG e as suas correspondentes siglas e localizações.

Tabela 1.1: Empresas subsidiárias do grupo Continental AG em Portugal

Nome da empresa	Sigla	Localização
Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A.	CMIP	Lousado, V. N. Famalicão
Continental Pneus (Portugal), S.A.	CPP	Lousado, V. N. Famalicão
Indústria Têxtil do Ave, S.A.	ITA	Lousado, V. N. Famalicão
Continental Lemmerz (Portugal) – Componentes para Automóveis, Lda	–	Parque Industrial AutoEuropa, Palmela
Continental Teves Portugal – Sistemas de Travagem, Lda	–	Parque Industrial das Carrascas, Palmela

A Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.

A Continental Mabor nasceu em dezembro de 1989 como resultado de uma *joint venture* entre a empresa portuguesa Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A. e a Continental AG. Esta decisão permitiu um considerável desenvolvimento das instalações e capacidade da fábrica existente, em atividade desde 1946, fruto de um elevado investimento que permitiu a renovação das máquinas existentes e a modernização dos processos e técnicas utilizados até à data. Estas alterações permitiram que a sua produção quadruplicasse em cerca de 6 anos. A aquisição total da empresa de Lousado pelo grupo alemão ocorreu em 1993.

As instalações da Continental Mabor situam-se na freguesia de Lousado, concelho de Vila Nova de Famalicão, dispondo atualmente de 900,000 m² de área útil, dos quais 52,000 m² representam área coberta. Aqui, são produzidos pneus destinados a veículos ligeiros, bem como pneus agrícolas e pneus fora-de-estrada. Em dezembro de 2020, a Continental Mabor contava com 2388 Colaboradores no seu quadro permanente, registando nesse mesmo ano a produção de cerca de 15 milhões de pneus destinados a veículos ligeiros.

A maior parte da produção da fábrica (cerca de 98%) destina-se à exportação, sendo que o designado mercado de substituição representa cerca de 60% da produção anual da Continental Mabor. A parte restante é distribuída pelas linhas de montagem dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel.

A política da Continental Mabor assenta diretamente nos valores do grupo e na sua missão, que é criar valor de uma forma sustentada e socialmente responsável satisfazendo em simultâneo os seus clientes com soluções de alta tecnologia, privilegiando a melhoria contínua com vista à eficiência, qualidade, flexibilidade e inovação promovendo sempre a competência, motivação e excelência dos seus colaboradores. A visão da Continental Mabor é ser líder na unidade de negócio onde atua dentro do grupo Continental (divisão *Tires*). A Figura 1.2 representa uma vista aérea da fábrica de Lousado, datada de 2020.



Figura 1.2: Vista aérea da fábrica da Continental Mabor em Lousado, Vila Nova de Famalicão. Fonte: intranet Continental

A estrutura organizacional da Continental Mabor

A dimensão da empresa Continental Mabor exige uma estruturação rigorosa no que toca à sua organização interna. A Figura 1.3 ilustra uma representação do organograma da empresa de Lousado.

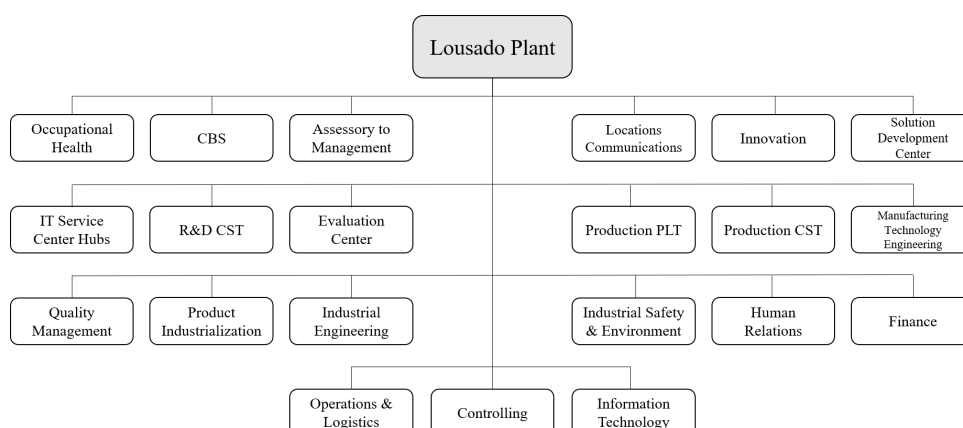


Figura 1.3: Organograma da empresa Continental Mabor. Fonte: intranet Continental

A estrutura apresentada pela empresa pode ser considerada como funcional, uma vez que os vários departamentos existentes estão associados a uma determinada função. Pessoas com tarefas similares são, portanto, agrupadas num mesmo departamento, estratégia que é adequada à dimensão e tipo de indústria a que se refere. Este tipo de estrutura organizacional permite uma maior especialização e produtividade, facilitando economias de escala e simplificando a coordenação dos trabalhos. Tem, por outro lado, a desvantagem de dificultar o fluxo de informação entre os vários departamentos, atrasar o processo de tomada de decisão e, consequentemente, o tempo de resposta a imprevistos ou alterações de planos. No sentido de combater estas adversidades, são realizadas no contexto da empresa reuniões regulares entre os vários representantes dos diferentes departamentos, o que facilita a comunicação e a transparência entre todas as partes.

1.3 Objetivos do projeto

O presente projeto tem como objetivo a definição de uma metodologia para a verificação de tolerâncias de equipamentos numa nova unidade de produção de pneus de grande porte em instalação na fábrica de Lousado. Desta definição, é esperada a obtenção de um conjunto de procedimentos de manutenção, devidamente detalhados e documentados, que sirvam como guia para a realização desta atividade por parte dos técnicos da manutenção preventiva do DE7 na unidade de produção em questão - a OTR#03. Simultaneamente a esta definição, é expectável o desenvolvimento de todo o suporte de auxílio à tarefa, nomeadamente a elaboração das ferramentas para o registo e monitorização dos dados obtidos através das medições resultantes dos procedimentos efetuados.

1.4 Metodologia do projeto

A integração no projeto iniciou-se com a familiarização com todo o processo envolvido na produção dos pneus especiais pesados ocorrida na unidade CST da Continental Mabor. A esta aprendizagem seguiu-se o estudo da máquina OTR#03 e da fase do processo específico por ela responsável - a denominada "construção" do pneu -, bem como a introdução ao conceito de Verificação de Tolerâncias de Equipamentos, essencial para o desenvolvimento do projeto proposto. Conhecidos os processos e a configuração da máquina, e uma vez compreendido o objetivo e importância da prática de manutenção em causa, foram definidas as condições a garantir para que o equipamento em questão se considerasse em boas condições de funcionamento. Após esta definição, foram elaborados, em colaboração com os técnicos da manutenção preventiva do DE7, os procedimentos de manutenção destinados à verificação dessas mesmas condições, sendo estes posteriormente detalhados e documentados. Da metodologia definida, surgiu a necessidade de registar um conjunto de resultados de medição para auxílio na verificação e monitorização das condições impostas. Para este fim, foram desenvolvidas ferramentas destinadas a diferentes tipos de utilizadores, de forma a manter o registo da informação exigida pelos requisitos da organização.

1.5 Estrutura da dissertação

Para além do presente capítulo introdutório, a dissertação é composta por quatro outros capítulos:

- No capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos aplicados ao projeto bem como a revisão bibliográfica subjacente às temáticas da dissertação;
- No capítulo 3 é feita a contextualização e descrição detalhada do projeto proposto;
- No capítulo 4 é descrita a metodologia usada no desenvolvimento do projeto, bem como apresentados os materiais obtidos da aplicação da metodologia definida;
- Por fim, o capítulo 5 encarrega-se da apresentação de algumas considerações finais consideradas pertinentes bem como do encerramento da dissertação.

Capítulo 2

Enquadramento teórico

2.1 Manutenção

Todos os equipamentos estão sujeitos a um processo de deterioração. Esta deterioração é causada por um conjunto de fatores que vão desde o seu simples funcionamento até ao ambiente onde o mesmo opera. Para que uma determinada instalação assegure corretamente a função para a qual foi concebida é necessário que seja mantida em boas condições de funcionamento. Isso requer que lhe sejam efetuadas determinadas rotinas e procedimentos tais como inspeções, reparações, mudanças de óleo, limpezas, substituições de componentes, pinturas, etc. A este conjunto de ações dá-se o nome de manutenção (Cabral, 2004).

2.1.1 Definição, objetivos e importância

De acordo com Higgins et al. (2002), o conceito de manutenção possui uma definição complexa, podendo ser expresso segundo diferentes pontos de vista. Para este autor, a manutenção é, por um lado, uma ciência, uma vez que a sua prática se baseia em todas as outras ciências ou áreas do saber. Por outro lado, o mesmo autor afirma que esta pode também ser encarada como uma arte, dado que problemas aparentemente idênticos exigem, muitas vezes, diferentes perspetivas e ações na sua análise e resolução. Outro motivo que corrobora esta analogia é o facto de, de entre os agentes que a praticam, existirem alguns que apresentam uma maior aptidão natural para o seu exercício. Por último, o autor defende, acima de tudo, a ideia de que a manutenção é uma filosofia, já que se deve adaptar cuidadosamente à operação ou organização na qual é aplicada, tendo em conta um vasto conjunto de fatores que transcendem as soluções mais óbvias e imediatas.

Sob um ponto de vista mais prático, Cabral (2004) define manutenção como "o conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade possível, tudo a um custo global otimizado". Já sob um ponto de vista mais técnico, e de acordo com a norma NP EN 13306:2007, o conceito de manutenção define-se 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 repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”.

Independentemente da forma como possa ser definida, manutenção é, hoje, reconhecida como uma das mais importantes áreas da atividade industrial. Apesar dos efeitos serem, muitas vezes (e idealmente), invisíveis ao olho comum, a manutenção afirma-se como essencial para o bom desempenho produtivo de qualquer unidade industrial. É através dela que se garante a preservação dos investimentos da empresa, ao mesmo tempo que se assegura a segurança dos operadores e a rentabilidade do processo produtivo. Um processo produtivo eficiente e sem falhas reflete-se diretamente na qualidade do produto final, o que por sua vez se reflete na satisfação do cliente e na imagem da empresa.

A qualidade e o volume da produção estão intimamente relacionados com a manutenção. Uma máquina corretamente afinada e bem oleada debita produtos finais com as características e cadências desejadas. No entanto, as operações de manutenção representam um custo incorrido pela empresa, quer pela eventual quebra que possa causar a pausa de um determinado processo produtivo (no caso da intervenção exigir a paragem do mesmo), quer pela necessidade de mão de obra especializada e de ferramentas e instrumentos adequados ao trabalho exigido. Importa, pois, encontrar o ponto de equilíbrio entre este custo da manutenção e o benefício por ela produzido que maximize a rentabilidade geral da empresa (Cabral, 2004). A esta exigente busca por políticas, métodos e ações a adotar com vista a atingir este ponto ótimo dá-se o nome de gestão da manutenção. O responsável por esta complexa tarefa é denominado gestor da manutenção e a ele é exigido um *working knowledge* sobre um vasto leque de domínios, que vão desde a capacidade de planeamento e gestão de pessoas até ao conhecimento da engenharia por detrás das máquinas e dos conceitos e técnicas de manutenção. Os objetivos da manutenção têm, pois, de estar perfeitamente alinhados com os objetivos globais da empresa por forma a serem atingidas as diferentes metas ao nível da produtividade, qualidade, sustentabilidade, segurança e motivação dos colaboradores. Apenas assim é possível garantir que todos os *stakeholders* são beneficiados e que a empresa consegue criar valor.

2.1.2 Políticas de manutenção

Existem várias estratégias que podem ser adotadas pelo gestor relativamente à forma como este controla os trabalhos de manutenção na sua empresa. A escolha de quais as políticas a adotar para cada um dos trabalhos a levar a curso é uma tarefa complexa cuja importância não deve ser desprezada.

A figura 2.1 esquematiza as duas grandes abordagens à manutenção e as principais políticas que surgem de cada uma delas. Estas abordagens distinguem-se, essencialmente, pelo caráter planeado ou não-planeado da ação de manutenção que as representa.

Sempre que se fala em manutenção, é essencial definir e distinguir os conceitos de avaria e falha. Segundo a Norma NP EN 13306:2007, uma avaria define-se como uma “cessação da aptidão de um bem para cumprir uma função requerida”. É, por isso, um acontecimento, um evento depois do qual um determinado bem poderá estar em falha, total ou parcial. Estar “em

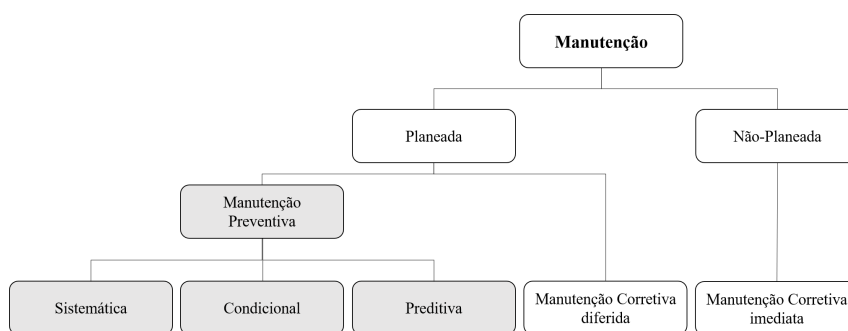


Figura 2.1: Tipos de abordagem à manutenção: planeada e não planeada

falha” é, portanto, um estado inerente ao bem no qual ele se encontra inapto para cumprir a sua função requerida, de forma total ou parcial.

Manutenção corretiva

A manutenção corretiva propõe-se a corrigir a condição de um equipamento sempre que este se encontra em falha, restaurando-o de modo a poder desempenhar todas as suas funções de forma correta. Este tipo de manutenção, geralmente também designada manutenção curativa, pode assumir um carácter planeado ou não-planeado, consoante a urgência inerente a esse restauro de condição. No caso de avarias que provoquem estados de falha parciais no equipamento, ou seja, em casos em que o equipamento após avaria ainda consegue desempenhar a sua função (ainda que não de forma perfeita), é possível agendar a reparação para uma ocasião futura mais pertinente. A este tipo de manutenção dá-se o nome de manutenção corretiva diferida. À intervenção imediata na máquina perante um estado de falha total dá-se o nome de manutenção corretiva imediata ou manutenção de urgência.

Manutenção preventiva

A manutenção preventiva, por seu turno, é realizada com o objetivo primordial de evitar a ocorrência de avarias no equipamento. Não se trata, portanto, de corrigir estados de falha, mas sim de evitá-los através de intervenções planeadas. Respeitando esta política, atua-se no equipamento de forma preventiva, procurando detetar e evitar certos estados de degradação que o possam tornar incapaz de desempenhar corretamente a sua função num determinado horizonte temporal considerado. Importa, aqui, definir três diferentes tipos de atuação de carácter preventivo cuja principal diferença se baseia no critério definido para o planeamento das ações de manutenção a desempenhar: a manutenção preventiva sistemática, a manutenção preventiva condicional e a manutenção preditiva.

A manutenção preventiva sistemática define as necessidades de manutenção com base em intervalos temporais definidos ou num determinado número de ciclos de utilização da máquina. Este tipo de manutenção, comumente denominada manutenção pré-determinada, não tem em

conta a condição da máquina em questão mas sim o seu historial de avarias, que é considerado para o cálculo da periodicidade de inspeção ou de substituição de componentes na mesma.

Por outro lado, a manutenção preventiva condicional recorre a métodos de monitorização de certos parâmetros para determinar o momento mais oportuno para intervir preventivamente na máquina. Estes parâmetros são utilizados como indicadores da condição da máquina, já que refletem a sua situação de operação em tempo real. Podem ser medidos em contínuo ou de forma discreta (através de inspeções), e a decisão quanto à oportunidade para a intervenção na máquina ocorre quando algum desses parâmetros se encontra fora dos limites de tolerância aceitável para o mesmo.

Por último, a manutenção preditiva baseia-se no estudo dos comportamentos de falha dos equipamentos para prever possíveis ocorrências de avarias no futuro. O planeamento das ações de manutenção ocorre, portanto, de acordo com as previsões calculadas, política que se traduz numa otimização de recursos que se reflete em menores danos nos equipamentos, menores tempos de paragem planeada e, conseqüentemente, menores custos para a empresa.

2.1.3 Modelos de gestão da manutenção

O grande objetivo da gestão da manutenção é conseguir garantir o máximo desempenho de um determinado bem ao mínimo custo possível (Cabral, 2004), objetivo este que apenas pode ser garantido pelo gestor no domínio da manutenção planeada. Neste sentido, dois grandes modelos emergem com a intenção de guiar o gestor na busca deste ponto ótimo inevitavelmente inalcançável. São eles o *Reliability Centered Maintenance* (RCM) e o *Total Productive Maintenance* (TPM).

Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance, traduzido em português para "Manutenção Centrada na Fiabilidade", é uma metodologia de trabalho que surgiu na década de 1960 na indústria aeronáutica americana como alternativa à política de manutenção utilizada que se baseava na substituição preventiva de componentes após períodos de tempo ou ciclos de utilização pré-determinados. Esta crença de que os componentes possuíam uma vida limitada e que a única maneira de garantir a segurança dos passageiros era através da substituição dos componentes independentemente da sua condição foi sendo crescentemente questionada, com muitos especialistas a considerarem que a indústria estava a incorrer em manutenção excessiva. Estudos comissionados pela *Federal Aviation Administration* (FAA) concluíram que as inspeções periódicas feitas aos equipamentos não afetavam significativamente (de forma positiva ou negativa) a frequência de avarias. Em alguns casos, essa frequência até aumentava a seguir à revisão, como resultado da chamada "mortalidade infantil" do equipamento. No contexto da manutenção, este fenómeno refere-se ao período de vida inicial do equipamento, durante o qual existe uma maior probabilidade de ocorrência de avarias. Ao se restabelecer a idade do componente para zero através de uma revisão (através da sua substituição, por exemplo), está-se a aumentar essa probabilidade de avaria. O estudo concluiu

também que, para a maior parte dos sistemas de equipamentos complexos, as avarias ocorriam de acordo com eventos aleatórios, tais como cargas repentinas, descargas elétricas, lubrificação deficiente ou utilização imprópria. Estas conclusões representaram o surgimento do conceito de RCM (Duffuaa and Raouf, 2015). O RCM é, então, uma metodologia lógica usada para identificar as ações de manutenção mais adequadas e eficazes para garantir a melhor performance de um determinado equipamento ou sistema ao mais baixo custo. Está intrinsecamente ligado, tal como o nome indica, ao conceito de fiabilidade, tendo também atenção a questões relacionadas com o ambiente e segurança como a análise dos modos de falha, os seus efeitos e a sua criticidade. O resultado da aplicação desta metodologia é uma combinação ótima de ações de manutenção de carácter corretivo, preventivo sistemático, preventivo condicional e de melhoria que permitam ao sistema operar nas condições desejadas.

Total Productive Maintenance

Total Productive Maintenance (ou, em português, Manutenção Produtiva Total) é uma abordagem à gestão da manutenção que importa conceitos e técnicas da área da Gestão da Qualidade Total para a manutenção. Na sua essência, este tipo de atuação consiste em focar todos os funcionários da organização nos processos de manutenção e de melhoria contínua dos diferentes equipamentos.

Seiichi Nakajima (1988), considerado como o pai do TPM, define o conceito de uma forma simples como uma “manutenção produtiva levada a cabo por todos os funcionários por meio de atividades em pequenos grupos”.

O conceito de TPM foi introduzido primeiramente no Japão na empresa Nippondenso, subsidiária do grupo *Toyota Motor Company*, durante a década de 60, evoluindo até se tornar numa marca registada do *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM). A sua principal característica distintiva é o facto de envolver toda a organização na manutenção, com um especial foco nos operadores. Explorando o facto de serem estes aqueles que, à partida, melhor conhecem a máquina, as suas características e funcionamento, a grande aposta está em valorizar o seu *feedback* quanto a eventuais alterações ao desempenho da mesma, proporcionando-se, deste modo, as melhores condições para a deteção e prevenção de avarias, bem como a introdução de eventuais melhorias que permitam uma maior produtividade e eficiência dos processos que nela decorrem (Cabral, 2004).

A metodologia TPM tem como objetivo principal a eliminação de avarias, defeitos e outras formas de perdas e desperdícios, com vista à maximização global da eficiência das máquinas e equipamentos, requerendo o envolvimento de todos, a todos os níveis. Nakajima (1988) defende que a máxima eficácia é alcançada através da eliminação das seis grandes perdas. Duffuaa and Raouf (2015) definem e descrevem essas perdas, considerando-as decorrentes dos seguintes motivos:

1. **Avaria de equipamentos** – representam geralmente uma grande percentagem do total das perdas. A melhor abordagem é tentar evitá-las através de políticas de manutenção preventiva;

2. **Tempos de paragem provocado por *setups* ou outros ajustes** – refere-se às perdas que ocorrem sempre que é necessário readaptar a unidade à produção de um novo produto, quer pelo tempo representado pelo downtime, quer pelos primeiros produtos que se podem revelar defeituosos;
3. **Inatividade e paragens menores** – representam as perdas de produção fruto de uma paragem decorrente de uma avaria ou pelo facto de a máquina se encontrar parada entre produções de diferentes tipos de produtos;
4. **Velocidade reduzida** – corresponde à diferença entre a velocidade para a qual o equipamento foi projetado para operar e a velocidade à qual ele realmente opera;
5. **Defeitos de produção** – perdas de qualidade causadas pelo equipamento. As causas destes defeitos devem ser identificadas e eliminadas;
6. **Produção reduzida** – perdas de produção que ocorrem nos estados iniciais de produção, após iniciação da máquina até à sua estabilização.

No sentido de quantificar os efeitos destas perdas, bem como de monitorizar eventuais melhorias através da sua redução, o TPM sugere a criação de um indicador da eficácia associada ao equipamento sobre o qual esta metodologia é aplicada, denominado *Overall Equipment Efficiency* (OEE), traduzido para português para Eficiência Global do Equipamento. Para o cálculo deste indicador, são tidos em conta três indicadores independentes, representados sob a forma de percentagem, o que permite ao gestor uma interpretação direta e intuitiva do seu significado prático. Segundo Borris (2005), esses indicadores são denominados *Availability* (Disponibilidade), *Performance* (Desempenho) e *Quality* (Qualidade), sendo definidos da forma que se segue.

O indicador *Disponibilidade* pode ser estimado através do quociente entre o tempo durante o qual a máquina realmente está em produção e o tempo idealmente planeado para produção, sem interrupções provocadas por paragens inesperadas. Este indicador reflete, de forma direta, as perdas por avarias de equipamentos (1) e pelos tempos de inatividade provocados por *setups* ou outros ajustes (2). A fórmula de cálculo deste indicador é apresentada de seguida:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo planeado de Produção} - \text{downtime}}{\text{Tempo planeado de Produção}} \times 100$$

Nota: O *Tempo planeado de Produção* é dado pelo tempo disponível para produção subtraído pelo *downtime* planeado, que se refere ao tempo de paragem oficial previsto no plano de produção, onde estão contempladas ações de manutenção ou outras atividades de gestão. O *downtime* apresentado na fórmula refere-se ao tempo de paragem não-planeado da máquina.

Já o indicador *Desempenho* representa a relação entre a quantidade produzida pela máquina ou equipamento e a quantidade teórica que seria possível a máquina produzir em condições ideais,

sem perdas. Este indicador é diretamente afetado pelas perdas por inatividade e paragens menores (3) e pela velocidade reduzida de produção (4).

$$\text{Desempenho (\%)} = \frac{\text{Nº de unidades produzidas}}{\text{Nº possível de unidades}} \times 100$$

Por último, o indicador *Qualidade* representa o rácio entre o número de unidades produzidas em conformidade com as especificações (sem defeitos) e o número total de unidades produzidas. Nele têm influência as perdas por defeitos de produção (5) e da produção reduzida (6).

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{Nº de unidades produzidas} - \text{Nº de unidades produzidas defeituosas}}{\text{Nº de unidades produzidas}} \times 100$$

O indicador Eficiência Global do Equipamento (denominado, daqui em diante, OEE) aglomera estes três indicadores num só, sendo calculado de forma intuitiva pela multiplicação destes:

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}$$

Conclui-se, portanto, que o indicador OEE pode ser aumentado se for aumentado o indicador de Disponibilidade (reduzindo o downtime), o indicador de Desempenho (aumentando a velocidade de produção, ou seja, reduzindo o tempo de ciclo) e o indicador de Qualidade. Para melhorar este último indicador, o estado na qual o equipamento produz um produto conforme as especificações deve ser identificado e uma política de manutenção adequada deve ser assegurada por forma a manter equipamento nessa condição a todo o momento, centrando o objetivo de manutenção no estado em que o equipamento produz zero avarias (Duffuaa and Raouf, 2015).

2.2 Qualidade

Durante muito tempo, a definição de “qualidade” nos Departamentos de Qualidade das empresas cingia-se, simplesmente, a “conformidade com as especificações”. Contudo, recentemente uma nova ênfase no consumidor causou uma revisão dessa abordagem, passando a associar a esse conceito as necessidades do consumidor que não se incluem na especificação do produto (Juran et al., 1999). Hoje, é inegável que a qualidade constitui o motor do sucesso de qualquer organização. Desenvolver uma cultura baseada em princípios da qualidade é abrir caminho à eficácia e melhoria contínua dos métodos e processos levados a cabo pela empresa (Pinto and Soares, 2009).

2.2.1 Definição, objetivos e importância

De acordo com Juran et al. (1999), das várias definições que podem ser apontadas ao conceito de qualidade, existem duas que assumem uma importância crítica para o exercício da gestão da qualidade. A primeira definição é orientada para as receitas, e associa a qualidade com as propriedades de um determinado produto que conseguem satisfazer as necessidades do utilizador.

Seguindo esta abordagem, uma maior qualidade reflete-se numa maior satisfação do consumidor, o que porventura se refletirá em mais vendas e maiores rendimentos. Contudo, garantir uma maior qualidade significa, na maior parte das vezes, um maior investimento, o que inevitavelmente aumenta os custos. A segunda abordagem à qualidade está relacionada com as características intrínsecas do produto. “Qualidade” significa ausência de defeitos, defeitos esses que exijam *rework* (repetição de algum processo de produção) ou resultem em avarias, insatisfação do cliente ou reclamações. Neste sentido, a definição de qualidade está orientada para os custos, e para a minimização dos mesmos.

Na perspetiva técnica, a Norma Portuguesa NP EN ISO 9000:2015 define que a qualidade de um produto ou serviço “é determinada pela aptidão para satisfazer os clientes e pelo impacto, pretendido ou não, sobre outras partes interessadas consideradas relevantes”. Esta Norma defende ainda que a noção de qualidade inclui não só as funções e o desempenho pretendidos para esse produto ou serviço, mas também o valor percebido e o benefício correspondentes para o cliente.

A incorporação do conceito de qualidade na ideologia e visão de uma empresa tem inúmeros benefícios para qualquer organização. Uma melhor relação com o cliente, o aumento da motivação dos colaboradores, a melhoria do clima organizacional ou mesmo da imagem exterior da empresa são apenas algumas dessas vantagens. Cada vez mais, os gestores compreendem a necessidade do controlo e gestão da qualidade dos seus processos, produtos e serviços, reconhecendo-o como uma vantagem competitiva perante uma economia crescentemente exigente e globalizada.

2.2.2 Sistemas de gestão da qualidade

Pinto and Soares (2009) definem o conceito de sistema de gestão da qualidade como “a filosofia e prática de gestão que se traduz no envolvimento de todos os que trabalham na organização num processo de cooperação que se concretize no fornecimento de produtos e serviços que satisfaçam as necessidades e expectativas dos clientes”. Esta definição vai de encontro à definição da norma NP EN ISO 9000:2015 que enuncia que um sistema de gestão da qualidade gere os processos e recursos interatuantes necessários para criar valor para os *stakeholders*, sugerindo que este inclui as atividades que permitem à organização identificar os seus objetivos e determinar os processos e recursos requeridos para atingir os resultados desejados.

A construção de um sistema de gestão da qualidade adequado a uma determinada organização é um desafio de grande escala e não existe um método único para a sua elaboração. Qualquer sistema deve ser baseado nos princípios de gestão da qualidade impostos pela norma anteriormente mencionada. São eles:

- **Foco no cliente** - o foco primordial da gestão da qualidade é na satisfação do cliente e no esforço por exceder as suas expectativas;
- **Liderança** - os líderes estabelecem, a todos os níveis, unidade no propósito e na orientação e criam as condições necessárias para que cada um se comprometa a atingir os objetivos propostos;

- **Comprometimento das pessoas** - é essencial que, em todos os níveis da organização, haja pessoas competentes, empenhadas e comprometidas, às quais tenham sido atribuídos poderes que lhes permitam a criação de valor;
- **Abordagem por processos** - atividades bem compreendidas e geridas como processos inter-relacionados originam resultados consistentes e passíveis de serem controlados;
- **Melhoria** - as organizações devem focar-se em permanência na melhoria para atingir o sucesso;
- **Tomada de decisão baseada em evidências** - decisões baseadas na análise e avaliação de dados são mais suscetíveis de produzir os resultados desejados;
- **Gestão das relações** - as organizações devem focar-se em gerir, de forma inteligente e sustentável, as relações com todas as partes interessadas.

Atente-se no princípio da abordagem por processos. Esta abordagem, imperativamente essencial quanto maior a dimensão da organização e a complexidade dos processos produtivos que nela ocorrem, permite uma grande visibilidade e consequentemente controlo das pequenas partes da organização – os processos – que dessa forma podem ser geridos como um todo, com um foco no risco mas também nas oportunidades de melhoria que neles são detetadas.

A Figura 2.2 representa uma esquematização de um processo simples, mostrando a interação entre os seus vários elementos. Em cada uma das fases do processo, devem ser identificados os pontos de monitorização e medição necessários para o controlo do mesmo.

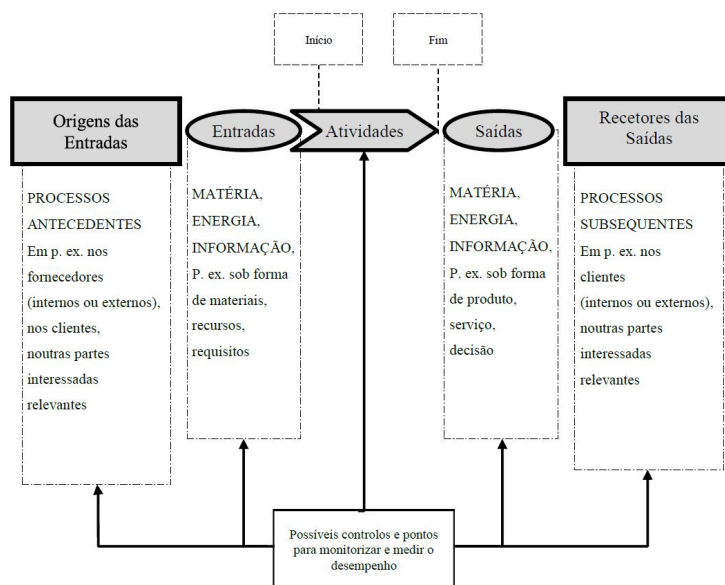


Figura 2.2: Representação esquemática de um processo simples. Fonte: Norma NP EN ISO 9001:2015

A aplicação do princípio da abordagem por processos permite a compreensão e satisfação dos requisitos definidos, a consideração dos processos em termos de valor acrescentado e a obtenção de um desempenho eficaz dos mesmos.

O ciclo PDCA

O ciclo PDCA, também conhecido por ciclo de Deming, consiste numa metodologia que potencia a melhoria contínua num sistema de gestão da qualidade, e desenvolve-se em quatro fases, podendo ser a um processo de forma individual ou ao sistema como um todo (Pinto and Soares, 2009). A figura 2.2 esquematiza este ciclo, cujo nome deriva das iniciais de cada uma das palavras representativas das diferentes fases.

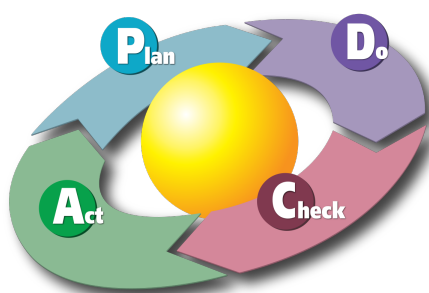


Figura 2.3: O ciclo PDCA

- *Plan* (Planear) - descreve a fase em que se estabelecem os objetivos e os processos a controlar, definindo quais os tipos de resultados pretendidos de acordo com os requisitos do cliente e as políticas da organização, identificando os riscos incorridos e as oportunidades detetadas;
- *Do* (Fazer) – representa a fase em que são implementados os processos planeados;
- *Check* (Verificar) – consiste em monitorizar e medir os processos, produtos ou serviços, confrontando-os com as políticas, objetivos, requisitos da organização, construindo relatórios sobre os resultados obtidos;
- *Act* (Atuar) – é a fase em que são empreendidas as ações para a melhoria do desempenho dos processos ou do sistema, tendo em conta os resultados obtidos na fase anterior que determinam a adequação e atualização das medidas implementadas.

2.2.3 Documentação de um sistema de gestão da qualidade aplicada à manutenção

Pinto and Soares (2009) defendem que “a espinha dorsal de qualquer sistema de gestão é a sua documentação”. Cabral (2004) afirma que toda a documentação existente num departamento de manutenção é documentação de qualidade, na medida em que toda ela contribui, direta ou indiretamente, para a qualidade. Este autor refere ainda que esta documentação deve ser formulada

de tal forma que todo e qualquer documento desempenhe eficazmente a função para o qual foi concebido e não constitua simplesmente um impresso realizado para preencher um determinado requisito. Neste sentido, podem ser identificados cinco tipos de documentos relacionados com a manutenção que estão inseridos no sistema de gestão da qualidade de uma organização. Esses documentos são apresentados e descritos de seguida, de acordo com Cabral (2004):

1. Manual da qualidade

É o documento que estabelece a política, procedimentos e regras da qualidade da empresa. É elaborado seguindo os requisitos das normas aplicáveis e explicita a posição global da organização perante os vários processos envolvidos na sua atividade. Este manual da qualidade é complementado com os restantes documentos que se enumeram de seguida;

2. Procedimentos

São os documentos que estabelecem as linhas de orientação e metodologias de atuação para que sejam atingidos os objetivos da organização. Por outras palavras, descreve a execução, a responsabilidade e o controlo de uma determinada atividade. É complementado pelas instruções de trabalho, documentação técnica e registos;

3. Instruções de trabalho

São documentos que descrevem de forma detalhada o método de realização de uma atividade;

4. Documentação técnica

São constituídas pelos documentos que auxiliam os participantes dum determinado processo a desempenharem corretamente as suas funções. De entre este tipo de documentos contam-se manuais de operação de fornecedores, manuais de manutenção, *layouts* fabris, legislações, normas, regulamentos aplicáveis à atividade, entre outros;

5. Registos

São documentos utilizados para registar resultados obtidos ou fornecer evidências de atividades realizadas.

Para assegurar a organização e eficiência de um sistema de gestão da qualidade, deve ser garantida a codificação, verificação, aprovação e emissão de todo e qualquer documento do sistema. As cópias devem ser controladas e entregues exclusivamente a pessoal autorizado para o efeito. Todas as revisões ou atualizações aos documentos devem passar novamente por todas as etapas descritas anteriormente da sua distribuição.

Capítulo 3

Contextualização e descrição detalhada do Projeto

Neste capítulo é apresentada a unidade da fábrica onde foi realizado o projeto, bem como o seu modo de operação e abordagem à gestão da manutenção. É introduzido ainda o pneu especial pesado produzido na unidade, decomposto nos seus elementos constituintes, e detalhado o processo produtivo ocorrido na máquina alvo do presente projeto – a OTR#03. É ainda abordada, de forma breve, a temática da gestão da qualidade na empresa assim como a influência da condição dos equipamentos no processo produtivo e, consequentemente, na qualidade do produto final. Por fim, é definido o conceito de Verificação de Tolerâncias de Equipamentos no contexto da empresa e analisado o projeto proposto.

3.1 A unidade CST da Continental Mabor

A fábrica de Lousado é responsável pela produção de dois tipos diferentes de pneus: os pneus PLT e pneus CST, construídos em duas áreas distintas e independentes. A unidade PLT (sigla para “*Passenger Light Tires*”) é a maior, mais antiga e mais predominante área dentro da fábrica, sendo responsável pelo maior volume de produção, maior volume de receitas e maior número de postos de trabalho. Esta é a área destinada à produção dos mais variados tipos de pneus para veículos ligeiros. Por outro lado, a unidade CST (sigla para “*Commercial Specialty Tires*”) é a área responsável pela produção de pneus de maior porte para veículos destinados à indústria agrícola, portuária e mineira. Esta área entrou em atividade em Lousado em setembro de 2017 e desde então tem vindo a expandir-se gradualmente, tanto em área fabril como em volume de produção. Um investimento de 100 milhões de euros por parte do grupo alemão em 2019 permitiu o crescimento da unidade, com a instalação de nova maquinaria de última geração e a implementação de veículos autónomos para o transporte e armazenamento dos pneus produzidos. A figura 3.1 representa a dimensão da unidade CST no contexto da Continental Mabor.

A dimensão dos pneus produzidos nesta unidade, bem como a exigência das condições extremas às quais estão sujeitos nas diferentes aplicações a que se destinam, fazem com que o nível



Figura 3.1: A unidade CST no contexto da Continental Mabor

de complexidade do seu processo produtivo seja mais elevado do que o associado aos pneus ligeiros. Estes fatores, associados a um número mais reduzido de máquinas de produção e operadores na unidade CST, resultam num tempo de ciclo de produção bastante maior que o verificado na unidade PLT e, consequentemente, numa taxa de produção consideravelmente inferior. Ao passo que na área PLT a taxa de produção ronda os 56 000 pneus diários, a unidade CST produz cerca de 140 pneus AGRO (denominação interna para pneus agrícolas) e apenas 20 pneus OTR (pneus *Off-The-Road*).

Para além desta unidade de produção, a Continental Mabor conta ainda com instalações de pesquisa e desenvolvimento de pneus agrícolas, bem como um centro de avaliação e testes dos pneus produzidos na unidade CST. De salientar ainda que a fábrica de Lousado é a única localização mundial onde são produzidos pneus fora-de-estrada radiais (pneus OTR radiais) da marca Continental.

3.1.1 O DE7

A Direção de engenharia da Continental Mabor, representada no organograma apresentado no Capítulo 1, é responsável por todo o conjunto de tarefas relacionadas com a operação e manutenção de toda a infraestrutura necessária ao funcionamento da fábrica. De acordo com a organização da empresa, é da responsabilidade da Direção de Engenharia:

- Elaborar, coordenar e desenvolver os procedimentos e planos de Manutenção Preventiva e Corretiva na Empresa;
- Implementar o Programa de MTC (*Machine Tolerance Check*);
- Maximizar a disponibilidade das máquinas para produção;
- Apoiar a implementação das ações corretivas, nos equipamentos e instalações, decorrentes dos planos de ação desenvolvidos pelos grupos de Auditorias Internas, AMFEs (Análise

Modal de Falhas e Efeitos), GAPs (Grupo de Ação Positiva), Sistema de Sugestões, entre outros;

- Apoiar a formação dos elementos da Produção, nas operações dos novos equipamentos;
- Introduzir melhorias nos equipamentos, de forma a otimizar a sua capacidade (índices Cp e Cpk);
- Executar todos os projetos de desenvolvimento e instalação de novas máquinas, assim como quaisquer alterações às instalações fabris;
- Participar na implementação do "*Total Productive Maintenance*"(TPM);
- Manter em bom estado de conservação todas as instalações fabris;
- Assegurar a disponibilidade dos recursos energéticos necessários, otimizando a sua utilização.

Neste âmbito, a Direção de Engenharia está estruturada em 10 departamentos independentes, esquematizados na Figura 3.2.

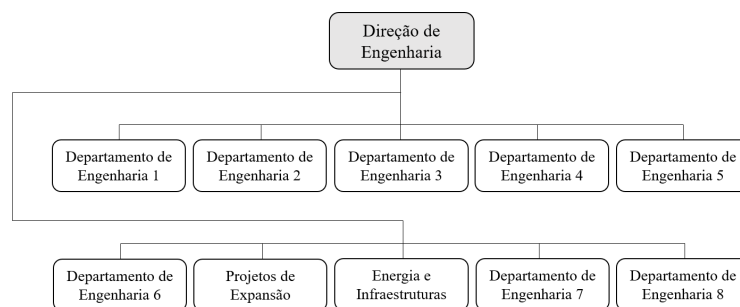


Figura 3.2: Organograma da Direção de Engenharia da Continental Mabor

Tal como é apresentado, a maioria dos departamentos estão associados a um número, correspondendo a uma fase específica do processo de produção de um pneu. Os Departamentos de Engenharia 1, 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem à unidade de PLT da empresa e referem-se às principais fases que constituem o processo produtivo – misturação (DE1); extrusão/calendragem (DE2); ta-lão, *apex* e corte (DE3); construção e pintura (DE4); *curing* (DE5); acabamento final e *contiseal* (DE6). Existem ainda o departamento Projetos de Expansão da Fábrica, responsável pelos projetos de expansão da unidade industrial, e o departamento Energia e Infraestruturas cuja função é assegurar o contínuo fornecimento de energia à fábrica, bem como a climatização e manutenção das infraestruturas. Por fim, restam os departamentos Departamento de Engenharia 7 e 8. Estes departamentos são relativos à unidade CST da fábrica e são responsáveis pela preparação e construção dos pneus deste tipo (DE7) bem como pela vulcanização e acabamento final (DE8). A nomenclatura DE é utilizada para referir a um departamento de engenharia. Daqui em diante, será utilizada a designação DE7 como referência ao Departamento de Engenharia 7.

3.1.2 A gestão da manutenção no DE7

A organização do DE7

A função do DE7 é, para além das funções gerais da Direção de Engenharia mencionadas anteriormente, garantir a operacionalidade de todo o parque de máquinas da unidade CST dedicadas à preparação e construção dos pneus aqui produzidos. Distinga-se, aqui, os conceitos de preparação e construção de um pneu. É chamada “preparação” à produção de todos os componentes necessários à construção de um pneu, o que inclui processos tais como a produção do talão, dos perfis, da camadas, dos *breaker*, do *filler*, entre outros, bem como do seu corte e instalação nas cassetes que irão acoplar às unidades de serviço das máquinas de construção. Por outro lado, a “construção” do pneu refere-se, tal como o nome indica, à montagem e união dos diferentes componentes constituintes de modo a produzir o denominado pneu “em verde” (pré-vulcanização).

Ao nível da sua estrutura organizacional, o DE7 está dividido em 3 diferentes sub-divisões funcionais, apresentadas na Figura 3.3. Cada uma destas áreas é liderada por um engenheiro cuja função é gerir as equipas responsáveis pela manutenção. Relativamente aos técnicos de manutenção, estes encontram-se divididos por tipo de manutenção que desempenham, acompanhando assim a estruturação do departamento.



Figura 3.3: Organograma do Departamento de Engenharia 7

As sub-divisões de Manutenção Corretiva e Manutenção Preventiva são responsáveis por todas as atividades de manutenção corretiva e preventiva (respetivamente) requerida pelos equipamentos da unidade CST. Já a sub-divisão Projetos encarrega-se da gestão de todas as operações de instalação de novos equipamentos e melhorias nos equipamentos existentes na unidade.

O elevado número e a complexidade das máquinas associadas ao DE7 exige que exista, em permanência, uma equipa destacada para a correção das avarias que ocasionalmente vão ocorrendo, interrompendo a produção. Como a fábrica labora em regime permanente, operando continuamente com a exceção de um turno por semana, é necessária a existência de 4 equipas de manutenção corretiva constituídas por 3 técnicos (tipicamente 1 mecânico e 2 eletricitas), cujos turnos sofrem uma rotatividade semanal e acompanham os turnos dos operadores de produção nesta área da fábrica. O escalonamento dos horários das 4 equipas permite que exista sempre uma equipa em permanência na fábrica à exceção de um turno semanal, o que acontece entre as 7:00 e as 15:00 da quinta-feira, período durante o qual não há produção na unidade CST pelo que também não existe necessidade de uma equipa de manutenção corretiva de serviço. Esses períodos são utilizados pela equipa de manutenção preventiva que aproveita a paragem das máquinas para efetuar intervenções de carácter preventivo, consoante o plano delineado para cada semana.

Também a equipa de manutenção preventiva assume um carácter crucial no âmbito da manutenção do departamento. Esta equipa, mais reduzida do que a corretiva ao nível do número de técnicos, é constituída por 4 elementos, que laboram num único turno.

A manutenção preventiva no DE7

A manutenção preventiva no contexto do DE7 tem o objetivo de prevenir e evitar falhas e avarias nas máquinas que originem ineficiências ou paragens indesejadas na produção que se traduzem em custos para a empresa. Estas rotinas de manutenção incluem limpezas, verificações, inspeções, lubrificações, entre outras operações que visam promover o bom funcionamento das máquinas.

Em cada das equipas a cargo da manutenção é nomeado um responsável, denominado chefe de turno, cuja função é reportar os acontecimentos ao engenheiro responsável da subdivisão correspondente. O planeamento da manutenção preventiva na Continental Mabor é elaborado com o horizonte temporal de um ano. É definido no final do ano pelo DE7 o plano a seguir no ano seguinte, tendo este de ser posteriormente aprovado pelo departamento da produção do CST. Este plano define as intervenções a levar a cabo em cada conjunto de máquinas, qual a sua duração, periodicidade e distribuição ao longo do ano, sendo denominado *Masterplan*. Um exemplo de um documento referente a este plano está ilustrado no Anexo A.

A intervenções de carácter preventivo no DE7 podem ter uma duração de entre 2 a 8 horas, dependendo do trabalho a levar a cabo e da máquina alvo da intervenção. Estas intervenções exigem a paragem das máquinas sendo que, por norma, cada grupo de máquinas para pelo menos uma vez por mês para algum procedimento de manutenção planeada. O software SAP é utilizado transversalmente à empresa como sistema integrado de gestão empresarial (ERP) e é através dele que são emitidas as ordens de trabalho que contêm o plano de manutenção a ser seguido em cada um dos dias, que deve ser executado de acordo com os procedimentos definidos. No momento anterior à ação de manutenção, é impresso um documento exportado do SAP contendo toda a informação necessária à realização dos procedimentos, incluindo a descrição de todas as tarefas a executar, ferramentas e instrumentos necessários e a sua duração.

Uma vez recebida a ordem de trabalho por parte do chefe da equipa de manutenção preventiva, esta é associada à informação transmitida pelas equipas de manutenção corretiva, recolhida quer através das reuniões de *briefing* no início dos turnos quer através do sistema de informação em *Access* concebido especialmente para este efeito. Este sistema está inserido numa pasta partilhada em rede cujo acesso é permitido a todo o pessoal do DE7, que acede ao mesmo com o seu *login*. O objetivo deste sistema é facilitar a comunicação entre as equipas da manutenção corretiva e a equipa da manutenção preventiva, através do registo e descrição de anomalias detetadas nas máquinas ou equipamentos. A reparação destas anomalias, cuja correção na maior parte dos casos significa a substituição dos equipamentos ou componentes em questão, está a cargo da equipa da manutenção preventiva, dado o carácter não urgente das avarias que não afetam diretamente a produção. Este tipo de ações podem, por isso, ser consideradas como ações de manutenção

corretiva diferida. Assim que estas ocorrências são corrigidas, cabe à equipa da preventiva fazer esse registo no sistema, registando a ocorrência como resolvida.

Com base em toda a informação recolhida, o chefe da equipa preventiva faz uma priorização das tarefas a executar e a sua distribuição pelos diferentes elementos da equipa. Os trabalhos desenvolvem-se durante o turno sendo que devem ser terminados aproximadamente uma hora antes do início do próximo turno. Durante essa hora, os técnicos efetuam juntamente com os operadores, o arranque das máquinas intervencionadas de modo a garantir a segurança e operacionalidade da mesma para a produção aquando do início do turno seguinte. Findo esse processo, é feito um pequeno relatório onde são anotadas as tarefas realizadas bem como as anomalias detetadas, que é inserido no sistema SAP em simultâneo com o fecho da ordem de trabalho.

3.2 O processo produtivo de um pneu OTR radial

O processo de produção de um pneu OTR radial envolve, sensivelmente, as mesmas etapas de produção de qualquer outro tipo de pneu. De uma forma sucinta, este pode ser dividido em 5 fases fundamentais, representadas no esquema da Figura 3.4.

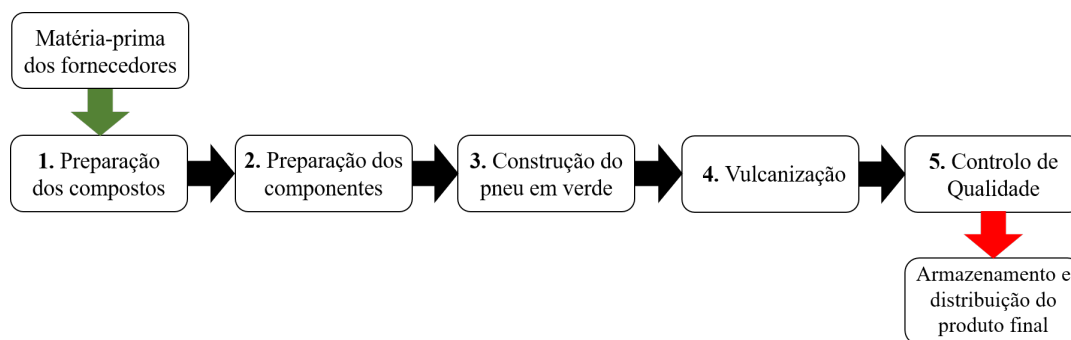


Figura 3.4: Esquematização do processo produtivo de um pneu OTR radial

Após a receção da matéria-prima por parte dos fornecedores, são preparados os compostos (essencialmente borracha, cordões têxteis e fio metálico) necessários à preparação dos componentes. Uma vez preparados os componentes, segue-se a chamada fase de construção do pneu em verde (pneu não curado e sem o relevo do piso) o qual será posteriormente submetido a um processo de vulcanização que lhe conferirá a forma final desejada. Por fim, são efetuados testes de controlo de qualidade no sentido de garantir a conformidade do produto obtido com as especificações.

Importa, aqui, salientar mais uma vez a denominação “construção de um pneu”, bastante utilizada ao longo desta dissertação. Esta designação é utilizada ao nível interno da organização para descrever a fase particular do processo produtivo que engloba a combinação dos diferentes componentes do pneu para a obtenção do pneu em verde (representada na Figura 3.4 como a fase nº3) e não todo o processo acima descrito. Será dada uma especial relevância a esta fase neste capítulo, em simultâneo com a introdução à unidade de construção por ela responsável e alvo deste projeto: a máquina OTR#03.

3.2.1 O pneu OTR radial

A designação OTR deriva da sigla correspondente ao termo em inglês “*Off-The-Road*” e refere-se a pneus destinados a uma utilização fora-de-estrada por máquinas ou veículos de grande porte. No caso particular dos pneus OTR produzidos na fábrica de Lousado, estes destinam-se essencialmente a veículos pesados utilizados para a movimentação de terras e manuseamento de contentores marítimos. Várias gamas de pneus são produzidas na unidade CST, com diâmetros de jante a variarem entre 24” e 35”. Alguns dos maiores modelos produzidos podem apresentar até 2,5 m de diâmetro total e cerca de 1200 kg de massa.

Os pneus OTR podem ser divididos, essencialmente, em dois grandes tipos: radiais ou diagonais. Estes dois tipos de pneus são estruturalmente bastante distintos e correspondem a métodos de construção radicalmente diferentes, o que afeta a sua performance a todos os níveis.

Os pneus radiais distinguem-se pelo facto das paredes laterais e do piso do pneu serem estruturas independentes uma da outra. A carcaça (estrutura interna do pneu) ocupa toda a área de talão a talão e o piso do pneu é estabilizado por cintas metálicas aplicadas em camadas. Esta característica faz com que os choques absorvidos pelas paredes laterais não se propaguem para o piso, o que resulta num maior conforto durante a condução e numa maior quilometragem. Dado que a área de contacto do pneu com a superfície é maior, o pneu radial oferece também uma maior tração.

Por outro lado, os pneus diagonais apresentam uma carcaça constituída por múltiplas camadas de material, sobrepostas diagonalmente (em direcções contrárias) de talão a talão, enquanto que as paredes e o piso representam uma única entidade. Deste modo, todos os choques nas paredes são transferidos ao piso do pneu, o que significa que a área de contacto deste com o solo varia de acordo com as condições deste. Apesar desta construção resultar em paredes mais robustas, boa estabilidade do veículo e menores custos de produção, estes pneus apresentam um maior aquecimento e menor conforto, bem como um maior consumo de combustível.

Na unidade CST da fábrica de Lousado, são produzidos exclusivamente pneus OTR do tipo radial, sendo esta a única localização a nível mundial onde são produzidos pneus com esta configuração da marca Continental. A Figura 3.5 representa alguns dos modelos de pneus OTR radiais produzidos pela unidade CST de Lousado.



Figura 3.5: Exemplos de pneus OTR radiais produzidos na unidade CST de Lousado

Para que seja possível compreender o processo de produção de um destes pneus, é necessário conhecer, em primeiro lugar, quais os elementos constituintes utilizados na sua construção. De seguida, serão apresentados esses mesmos elementos, bem como as suas características individuais que combinadas conferem a um pneu OTR radial a sua estrutura e propriedades.

3.2.2 Os elementos constituintes de um pneu OTR radial

Qualquer pneu é um produto de um processo tecnológico longo e complexo. No caso dos pneus OTR, este processo é ainda mais delicado devido à maior dimensão tanto do pneu como de toda a maquinaria envolvida durante as diferentes etapas de produção.

A matéria-prima necessária à produção de um pneu pode ser resumida a 2 materiais essenciais: fio metálico e borracha. Estes materiais são incorporados nos componentes que irão ser usados na construção do pneu. A Figura 3.6 ilustra os vários componentes constituintes de um pneu OTR radial, descritos de seguida.

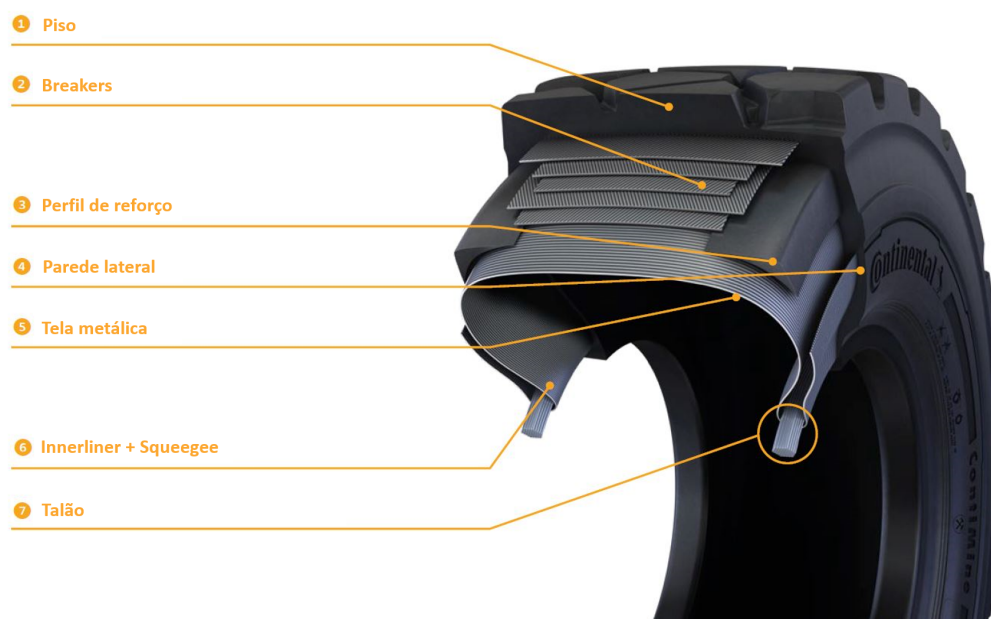


Figura 3.6: Legenda dos componentes constituintes de um pneu OTR radial. Fonte: *Off-The-Road Tires: technical Databook*

1. **Piso (*tread*)** - É responsável pela aderência ao solo, durabilidade, escoamento de água e resistência ao rolamento do pneu. Protege as camadas interiores do pneu contra fraturas e impactos. É formado por borracha natural e sintética.
2. **Breakers** - Feito com cabos de aço e borracha, é o elemento que garante a rigidez do piso nas suas direções longitudinais e laterais. É responsável pela transmissão de potência durante a condução, melhora a estabilidade nas curvas e aumenta a resistência ao desgaste do pneu. Suporta os impactos e as cargas aos quais o pneu está sujeito.

3. **Perfil de reforço** - O perfil de reforço tem a função de reduzir a geração de temperatura no pneu. É formado por borracha natural.
4. **Parede lateral** - É uma camada de borracha protetora aplicada nas laterais do pneu (denominadas paredes). É desenhada para resistir a cortes, arranhões e fissuras.
5. **Tela metálica (*body ply*)** - É o elemento que fornece a consistência ao pneu, controlando a pressão interna, absorver choques e garantir a forma, flexibilidade, conforto e manobrabilidade do pneu.
6. **Innerliner + Squeegee** - O conjunto “*innerliner+squeegee*” forma a camada interior do pneu, que funciona como câmara de ar. É formado por borracha de butilo extrudida.
7. **Talão (*bead*)** - Considerado como a fundação do pneu, os talões têm a função de garantir um encosto firme da borda do pneu na jante, impedindo perdas de ar. É constituído por arame de aço impregnado com borracha e borracha sintética.
8. **Chafer** - Dependendo do tipo de pneu a construir, este pode ainda incluir outro componente não contemplado na imagem: o *chafer*. O papel do chafer é proteger o pneu contra o desgaste provocado pela fricção na zona de contacto entre o pneu e a jante, oferecendo uma elevada resistência contra o stress mecânico no processo de montagem do pneu na jante.

3.2.3 A máquina OTR#03 e o processo de construção de um pneu OTR radial

O presente projeto incide sobre a nova unidade de construção de pneus OTR radiais da unidade CST da Continental Mabor. Esta nova unidade é constituída por uma máquina projetada e construída pela fabricante italiana *Maragoni Machinery*, líder mundial na conceção e produção de maquinaria destinada à indústria de pneus. Esta empresa é uma subsidiária do grupo italiano *Marangoni Meccanica SpA* que oferece soluções ao nível do desenvolvimento de máquinas destinadas à produção e recauchutagem de pneus, bem como da produção e comercialização de pneus e dos compostos necessários à sua produção.

Esta nomenclatura atribuída à máquina – OTR#03 – deve-se ao facto de se destinar à produção de pneus OTR e de ser a terceira capaz de fabricar pneus deste tipo a ser instalada na fábrica. Ainda que as duas máquinas já existentes produzam também pneus OTR, a nova OTR#03 irá ser capaz de construir pneus de tamanho superior aos atuais. Estas máquinas - OTR#01 e OTR#02 - foram projetadas e construídas por um fabricante distinto da nova OTR#03, pelo que a sua configuração e operação é bastante diferente. Na OTR#03 ocorre, então, a combinação de todos os componentes necessários à construção de um pneu. A Figura 3.7 representa uma esquematização simplificada do processo pelo qual a máquina é responsável.

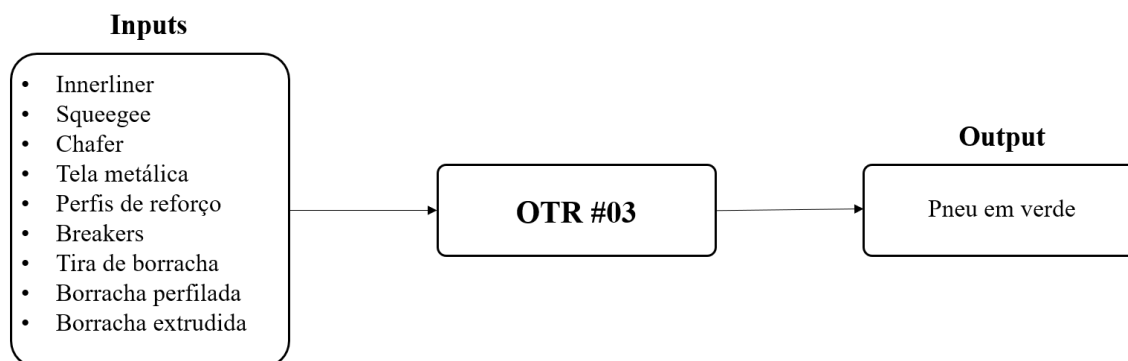


Figura 3.7: Processo à responsabilidade da máquina OTR#03

Todos componentes utilizados para a montagem do pneu em verde (pré-vulcanizado) são produzidos na unidade CST, com a exceção da tela metálica e da borracha que alimenta as extrusoras que são produzidas na unidade PLT. Estes materiais podem ser armazenados de três diferentes modos, consoante o seu tipo: cassetes, carros de perfis ou paletes. As cassetes consistem em rolos de material onde são armazenados e transportados componentes tais como o *innerliner*, o *squeegee*, o *chafer*, a tela metálica e os *breakers*. Por outro lado, os perfis são transportados nos chamados “carros de perfis”, dada a sua geometria e volume que não permitam que sejam enrolados.

No caso das cassetes, elas são acopladas aos diferentes servidores correspondentes ao material que transportam, onde estes irão ser “desbobinados” das mesmas e transportados em transportadores até à posição onde serão aplicados. No caso dos perfis, são transportados em “carros de perfis” desde a sua zona de preparação (onde são produzidos) até à máquina. Aí são carregados individualmente em altura num armazém automático vertical que integra a OTR#03. Aquando do seu carregamento, o operador insere no sistema de informação da máquina os dados relativos aos perfis que estão a ser carregados, pelo que o sistema sabe a todo o momento quais as existências no seu interior. Durante o processo de montagem do pneu, um braço robótico KUKA é utilizado para retirar o perfil do armazém e colocá-lo nos transportadores, onde seguirão até ao seu local de aplicação. Existem ainda outros materiais de menor dimensão que são transportados em pequenos rolos, como o filler e as tiras de borracha perfilada. Estes materiais são aplicados manualmente pelo operador.

Uma vez carregados os componentes necessários, o processo de montagem está pronto a ser iniciado. A máquina está desenhada de tal forma que o processo de construção que nela ocorre seja sequencial e ocorra por fases. Em cada uma das fases é adicionado um novo material ao conjunto já existente.

A OTR#03 pode ser dividida em 5 zonas ou grupos de máquinas: *Carcass*, *Belt*, *Alpha*, *Shaping* e *Transfer*. A Figura 3.8 apresenta o *layout* da máquina com a divisão correspondente ao grupo de máquinas em questão. Em cada uma destas estações ou zonas ocorre um processo diferente, essencial para a obtenção final do pneu em verde.

Um pneu radial pode ser dividido em duas sub-partes que são construídas de forma independente: a carcaça (em inglês, *carcass*) e a cinta (em inglês, *belt*). A carcaça é a parte interior do

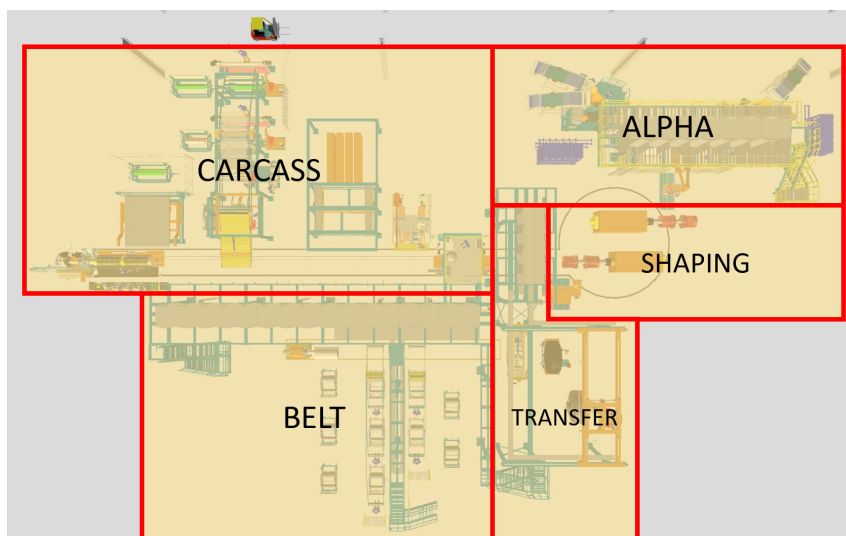


Figura 3.8: Representação das 5 zonas da máquina OTR#03

pneu e tem a função de suportar a pressão interna do pneu e absorver choques. É formada por componentes como o *innerliner*, o *squeegee*, o *chafer*, a tela metálica e os perfis. A montagem destes componentes ocorre na estação *Carcass*. Nesta estação, uma vez construída a carcaça, são ainda aplicados sobre esta os talões. A construção na estação *Carcass* ocorre do seguinte modo: uma plataforma móvel que contém um tambor rotativo de expansão move-se sobre guias lineares entre diferentes posições pré-definidas onde lhe são aplicados os materiais que vão constituir a carcaça do pneu. Existem 4 pontos de paragem principais sobre o trajeto definido pelas guias, que correspondem ao posicionamento da plataforma em frente a diferentes módulos: servidor de aplicação da tela metálica, servidor de aplicação do *innerliner*, *squeegee* e *chafer*, servidor de aplicação dos perfis e servidor de aplicação dos talões. Em cada uma dessas paragens, são aplicados os componentes correspondentes no tambor em rotação. Vários pontos de sucção ao longo do tambor mantêm a primeira camada de material aplicado fixa a este, ao passo que as camadas seguintes, por serem constituídas essencialmente por borracha, aderem facilmente às anteriores. São necessários dois operadores para auxiliar a montagem de uma carcaça, quer para assegurar a correta posição dos materiais, quer para ajudar à união entre as várias camadas, certificando-se que o mínimo volume de ar fica retido entre elas. Ao processo de retirar o ar entre os materiais por forma a uni-los corretamente dá-se o nome de “carretilhagem”. O semi-produto obtido no final das operações levadas a cabo na zona *Carcass* é a chamada “carcaça”, que conta também com os talões aplicados em posição.

Simultaneamente, e de forma independente a este processo, ocorre a construção da cinta na estação *Belt*. A cinta constitui a zona exterior do pneu sobre o qual será aplicado o piso, tendo um papel fundamental no asseguramento da integridade do pneu durante a sua utilização. Consiste em várias camadas de *breaker* localizadas entre a tela metálica da carcaça e o piso do pneu, que aumenta a resistência às tensões de corte provocadas pelo contacto com a superfície, bem como a rigidez estrutural do mesmo. Também aqui um tambor de expansão é utilizado para dar a forma

cilíndrica ao conjunto, movendo-se sobre guias entre diferentes posições de aplicação de material.

Uma vez finalizados os conjuntos que formam a carcaça e a cinta, é momento de juntar estas duas partes de forma a ser possível uni-las. Colocam-se, aqui, dois desafios diferentes: separar a carcaça do tambor de expansão da carcaça e a cinta do tambor de expansão da cinta, que ficam “coladas” aos respetivos tambores após a aplicação dos materiais. No caso do conjunto da carcaça, esta separação ocorre por intermédio de uma unidade denominada CTU (*Carcass Transfer Unit*), que consiste num conjunto de anéis com ventosas que, uma vez posicionado o tambor no seu interior, formam vácuo, fixando a carcaça. Após este acontecimento, o tambor, que tinha expandido gradualmente durante a montagem da carcaça, reduz o seu diâmetro novamente soltando-se assim da carcaça.

Decorrido este processo, a carcaça é retirada novamente da CTU por meio de um outro tambor de expansão, denominado *Shaping Turret*, que se desloca desde a zona *Shaping* até ao interior da CTU através de guias lineares. Uma vez na posição definida no interior da CTU, o sistema de sucção é desligado e a carcaça solta-se das ventosas, sendo suportada pelo novo tambor, que retorna à sua posição inicial na estação *Shaping*.

Já no caso da cinta, o processo ocorre de uma forma diferente. Como a cinta terá de ser transportada para junto da carcaça para que ocorra a união, é utilizado um anel de transferência (denominado *Transfer Ring*), cuja função é não só separar a cinta do tambor como também deslocá-la para o local onde decorrerá essa mesma união. Assim, tambor é inserido no interior do anel e este, através da sua estrutura, contrai até estar em contacto com a cinta. A fixação da cinta ao anel ocorre através da atração magnética entre os ímanes do anel e os componentes metálicos dos *breakers* da cinta. Após esse momento, o tambor da cinta contrai, libertando a cinta no anel, que se desloca através de guias superiores até à posição onde ficará alinhado com o tambor de expansão que contém a carcaça. Esta transferência e transporte da cinta ocorre na estação *Transfer*.

É na estação *Shaping* que ocorre, finalmente, a primeira união da carcaça com a cinta (a segunda e derradeira ocorrerá durante o processo de vulcanização do pneu). O *Shaping Turret* contendo a carcaça preparada anteriormente é deslocado novamente através das guias posicionando-se no interior do anel que agora contém a cinta. Assim que se encontra na posição correta, é colocado em rotação ao mesmo tempo que são accionados os comandos pneumáticos do mesmo que expandem as cabeças de expansão ao mesmo tempo que insuflam o interior da carcaça, forçando-a a expandir-se até à posição onde encontra a cinta e impondo a união sobre estas duas partes, e a forma desejada do pneu em verde.

Após este processo, o conjunto é sujeito a um processo de carretilhagem, cujo objetivo é remover o ar entre os dois conjuntos unidos anteriormente. Neste processo, dois objetos cilíndricos, denominados carretilhas, são forçados contra o conjunto em rotação, seguindo movimentos em direções opostas desde o centro do pneu até às suas extremidades definidas pela cinta.

A duração de todo o processo - desde o início da construção da carcaça e da cinta até à união dos dois elementos - é de, aproximadamente, 1 hora. O passo seguinte é a aplicação do piso e das paredes laterais no pneu. Esta aplicação ocorre na estação *Alpha* e é a última etapa para a obtenção do pneu em verde. Esta estação conta com três extrusoras que extrudem diferentes

tipos de borracha para o piso e para as laterais do pneu. Borracha da misturação é introduzida numa extrusora que a força a uma forma de rolo extrudido, que de seguida é introduzido numa calandra que lhe dá a forma de tira desejada. À saída da calandra, esta tira é arrefecida por enrolamento em tambores de arrefecimento e de seguida aplicada no conjunto unido anteriormente que entretanto se posicionou em frente à máquina de aplicação por rotação de uma plataforma. O material é aplicado da seguinte forma: o veio constituinte do *Shaping Turret* que contém o conjunto é colocado em rotação e uma máquina de aplicação aplica a borracha no piso e paredes do pneu. A este processo dá-se o nome de *Stripwinding* já que é aplicada uma tira de borracha por enrolamento à volta do pneu.

A duração deste processo de enrolamento de tira é de cerca de 1 hora e durante este período são aplicados milhares de metros de tira de borracha extrudida. Uma vez finalizado este processo, é obtido o pneu em verde. A configuração da OTR#03 permite acelerar o processo de construção do pneu devido à existência de dois *Shaping Turrets*. Como a duração do processo de *Stripwinding* é a aproximadamente a mesma do que do processo de montagem do conjunto carcaça+cinta, a existência de um segundo *Shaping Turret* permite que seja possível ocorrer em paralelo estas duas fases de construção, isto é, uma vez finalizado o processo de *Stripwinding* num dos *Shaping Turrets*, o outro já se encontra preparado com o novo conjunto para esse mesmo processo, bastando por isso rodar a plataforma.

Após a obtenção do pneu em verde, a última fase é descarregá-lo da máquina para uma palete de transporte especialmente concebida para o efeito. Para isso, recorre-se mais uma vez ao anel de transferência utilizado anteriormente. A plataforma giratória roda, deslocando o novo conjunto "carcaça+cinta" que entretanto foi preparado para a posição de *Stripwinding* e o pneu em verde para a posição oposta. Aí, alinhado com o centro do *Transfer Ring*, o *Shaping Turret* desloca-se nas guias até à posição onde será rodeado pelo anel, que o transportará mais uma vez deslocando-se através das guias superiores até à estação *Transfer*. Uma vez nesta estação, é transportado por um sistema de extração e descarregado na paleta onde será transportado para a sua próxima paragem.

Uma vez concluído o chamado processo de construção, o pneu é transportado por veículos autónomos (denominados AGVs) para a zona de pintura onde lhe é aplicado um lubrificante no interior. Este lubrificante tem a função de proteger o interior do pneu durante a fase de vulcanização. Por fim, novamente transportado por meio de um AGV, o pneu é levado até à prensa de vulcanização onde é introduzido através de um automatismo desenvolvido para o efeito. Aqui, ocorre o segundo e derradeiro momento de união da carcaça com a cinta. Um diafragma é colocado no interior do pneu em verde que, sujeito a uma determinada pressão e temperatura, é forçado contra as paredes da moldação que impõem o relevo no piso definindo a forma e aspeto final do pneu. Após este processo, que pode durar entre 180 e 240 minutos, o pneu é removido da prensa ficando a arrefecer durante um período igual a 80% do ciclo de vulcanização.

Segue-se a fase de controlo de qualidade, descrita em detalhe no subcapítulo seguinte.

3.3 A gestão da qualidade no contexto do processo produtivo

A qualidade é um valor que está presente ao longo de toda a cadeia de valor da empresa. Várias medidas de gestão da qualidade são implementadas ao longo de todo o processo produtivo desde a reunião da matéria-prima até à obtenção do produto final, de modo que seja garantida, em última análise, a satisfação e segurança do cliente. Esta exigência, transversal a toda a organização, culmina no momento de inspeção final a que todos os pneus são sujeitos.

3.3.1 A inspeção final e os requisitos de qualidade de um pneu

Os pneus OTR radiais são desenvolvidos e produzidos de acordo com inúmeras normas internacionais, estabelecidas por organizações como a ETRTO (*European Tyre and Rim Technical Organization*), a TRA (*Tire and Rim Association*), a JATMA (*Japan Automobile Tyre Manufacturers Association*) e a ISO (*International Standards Organisation*). Estas normas determinam as suas especificações relativas a propriedades como a capacidade de carga, a pressão interna, o diâmetro total, a largura total, entre outras. No sentido de garantir que todos estes requisitos são satisfeitos, após a passagem por todas as etapas de produção, um pneu OTR radial é sujeito a 3 fases de inspeção: raio-X, inspeção visual e *shearografia*.

Finalizado o processo de vulcanização, e após o tempo de arrefecimento recomendado para o pneu, este é transportado até à zona de raio-X.

Aqui, o pneu é sujeito a radiações que detetam a posição de algumas das camadas de material. Apenas os pneus OTR são sujeitos a este tipo de teste, visto que são os únicos que contêm componentes suficientemente densos para serem detetados através de raio-X, no caso, as camadas que contêm componentes metálicos (tela metálica e *brakers*). O resultado deste tipo de teste pode ser observado no Anexo B. Durante esta fase de inspeção, outros tipos de defeitos podem ser detetados como materiais estranhos no interior do pneu, emendas da tela metálica abertas ou imperfeitas, dobras ou estragos na tela metálica, entre outros.

Após a aprovação na fase do Raio-X, o pneu segue para a inspeção visual. Aqui, um operador procura no pneu defeitos visíveis a olho nu pneu ao mesmo tempo que remove algum excesso de borracha que permaneça no pneu fruto do processo de vulcanização.

Finda mais esta etapa, o pneu segue para a terceira e última fase de inspeção, a *shearografia*, que se realiza numa área diferente da fábrica (Centro de Avaliação e Testes). Aqui, o pneu é sujeito a um ensaio não-destrutivo cujo objetivo é detetar a presença de bolhas de ar retidas no seu interior. A Figura C.1 do Anexo C mostra o resultado de um teste de *shearografia* ao pneu apresentado anteriormente. Aqui, mais uma vez, existem tolerâncias admissíveis no que toca ao diâmetro das bolhas de ar apresentadas no pneu. Uma bolha de um diâmetro maior que o estipulado torna automaticamente o pneu inutilizável.

Considerando os recursos necessários para a sua produção, sucatar um pneu deste tipo representa um prejuízo de milhares de euros para a empresa. É, por isso, essencial garantir o funcionamento de toda a unidade de produção nas melhores condições possíveis, aplicando, sempre que possível, métodos de controlo de processos ao longo das várias fases de produção do pneu. O

processo de construção do pneu, descrito anteriormente, é determinante para que a conformidade do produto com as especificações seja garantida. Por esta razão, a condição de funcionamento da máquina representa uma importância fundamental para a garantia da qualidade do produto final obtido e do sucesso de todo o processo produtivo.

3.3.2 A influência da condição da máquina na qualidade do produto final

O processo de construção de um pneu é bastante exigente do ponto de vista técnico. Ao longo deste processo de construção, a aplicação dos vários materiais deve respeitar posicionamentos exatos e precisos ao longo das diferentes etapas de produção, por forma a garantir a conformidade do pneu final com as especificações. A posição dos materiais está, por sua vez, intimamente relacionada com a posição dos componentes da máquina que os transportam e aplicam, de forma semiautomática, ao conjunto existente. Descentramentos dos tambores relativamente aos transportadores de material, incorreta posição dos lasers relativamente aos tambores, posições de paragem incorretas dos tambores em momentos de transferência dos conjuntos da carcaça e da cinta e um posicionamento imperfeito das carretilhas durante o processo de carretilhagem são falhas que representam a introdução de erros que se propagam ao longo do processo e que põem em causa a qualidade dos pneus construídos.

Tome-se como exemplo o pneu apresentado na Figura 3.5, construído como pneu de teste pela máquina OTR#03.



Figura 3.9: Pneu de teste construído na OTR#03

Este pneu, aparentemente normal e visualmente conforme, foi considerado pelo Departamento da Qualidade como “não conforme” após ser submetido ao exame de raio-X. A Figura 3.10 mostra, em detalhe, o resultado da radiografia levada a cabo ao pneu.

As anotações na figura correspondem à distância, em milímetros, do centro do piso do pneu até aos limites esquerdo e direito de três das camadas de *breakers* sobrepostas. O Departamento da Qualidade determina que o descentramento dos *brakers* num pneu OTR não pode ser superior a 10 mm. No caso do pneu correspondente à figura apresentada, podemos observar que a 1º camada de *breaker* (de largura maior) possui um descentramento superior ao apresentado:

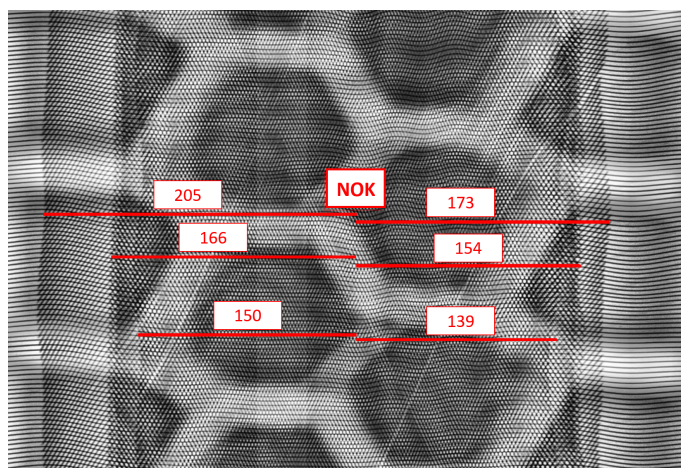


Figura 3.10: Resultado do Raio-X efetuado a um pneu de teste produzido na OTR#03

$$\frac{205 \text{ mm} - 173 \text{ mm}}{2} = 16 \text{ mm} > 10 \text{ mm}$$

Este defeito detetado, aparentemente insignificante, torna o pneu inutilizável já que se refere a uma condição estrutural que não pode ser reparada. Tendo em conta que o defeito verificado, podemos aferir quanto à sua origem, que pode advir de várias causas diferentes:

1. Aplicação incorreta dos materiais por parte do operador;
2. Posicionamento incorreto dos lasers de guia para os *breakers*;
3. Posicionamento incorreto da plataforma que contém o tambor da cinta (tambor do *Belt*) relativamente ao transportador
4. Posicionamento incorreto do material à saída do transportador;
5. Posicionamento incorreto do tambor de expansão do *Shaping* relativamente ao *Transfer Ring* no momento de união da cinta com a carcaça.

Podemos, então, observar que apenas uma das possíveis causas apresentadas (1) está relacionada com componente humana do processo, sendo que todas as outras têm que ver com a máquina e com a sua condição de funcionamento. A incorreta posição de alguma das diferentes partes da máquina mencionadas nos pontos (2), (3), (4) e (5), ou de mais que uma, fez com que o pneu produzido fosse considerado como defeituoso, acabando mesmo por ser sucata.

O exemplo anterior surge apenas como um exemplo prático do problema em questão que origina a necessidade do presente projeto. Considerando que alguns dos pneus produzidos nesta unidade são comercializados com preços que atingem as dezenas de milhares de euros por unidade, torna-se absolutamente essencial garantir as condições de funcionamento da máquina que permita a produção de pneus em conformidade com as especificações. Essas condições são garantidas através de um processo exaustivo de verificações aplicadas às máquinas de construção instaladas na

fábrica, denominado “Verificação de Tolerâncias de Equipamentos”, que será descrito em detalhe de seguida.

3.3.3 Definição do conceito de Verificação de Tolerâncias de Equipamentos no contexto da empresa

Durante o processo de construção do pneu ocorre a combinação dos vários componentes que constituem o pneu em verde que segue para o processo de vulcanização. O desalinhamento ou desvio de algum componente relativamente à sua posição especificada na receita (procedimento a seguir para a construção do pneu), ainda que por escassos milímetros, pode tornar o pneu defeituoso. Deste modo, a posição relativa de cada uma das diferentes partes da máquina intervenientes em cada momento de aplicação de material possui uma relevância fundamental no sucesso ou insucesso do processo produtivo. Momentos críticos de transferência e união de materiais devem ser seguidos com uma atenção e rigor exímios. É neste exigente contexto que surge o conceito de “Verificação de Tolerâncias de Equipamentos” ou, como também é internamente referido na empresa, a sigla MTC (*Machine Tolerance Check*). O MTC baseia-se num processo de verificação das posições das diferentes partes da máquina, cujo objetivo é a perceber se a máquina em questão está a operar de acordo com os requisitos para a qual foi concebida. Durante este processo, são verificadas relações de concentricidade, paralelismo e centragem entre diferentes partes. São ainda verificados nivelamentos, batimentos circulares radiais, folgas, posições de paragem e perímetros de tambores de expansão, permitindo saber se as posições de paragem de elementos da máquina pré-definidas estão a corresponder às posições reais de paragem.

Estas verificações são materializadas através de medições, com recurso a vários instrumentos de medição tais como comparadores, paquímetros, batímetros, fitas métricas, níveis de precisão, réguas, esquadros, entre outros. Importa também aqui garantir a calibração de todos estes sistemas para que se possa garantir a máxima fiabilidade dos valores obtidos.

Dentro da empresa, a denominação MTC é bem conhecida e amplamente implementada nas várias máquinas em produção. Dada a natureza deste processo – pelo facto de consistir numa inspeção periódica que se leva a cabo num determinado equipamento com vista a avaliar o estado de funcionamento do mesmo – o MTC pode ser considerado, no domínio da manutenção, como um procedimento de manutenção preventiva sistemática, sendo por isso levado a cabo pela equipa de manutenção preventiva do DE7.

3.3.4 Análise ao projeto proposto

A necessidade do presente projeto decorre naturalmente da importância de assegurar o correto funcionamento da nova máquina OTR#03 e de garantir a qualidade dos produtos finais nela construídos, que se comprova através da sua conformidade com as especificações definidas para os mesmos nos vários momentos de inspeção final aos quais todos os pneus OTR produzidos são sujeitos.

A configuração e o desenho de construção da máquina OTR#03 apresenta várias preocupações ao nível da posição relativa das várias partes da máquina nos diferentes momentos de construção do pneu. Dada a importância destas posições explicada anteriormente, é essencial que existam formas de controlo que assegurem a qualidade do processo de montagem das diferentes camadas do pneu. Esse controlo é feito através do conjunto de procedimentos de manutenção preventiva sistemática descritos anteriormente: o MTC (ou, em português, Verificação de Tolerâncias de Equipamentos). Através da aplicação de procedimentos de MTC à máquina em questão, é possível aferir quanto à sua condição de funcionamento.

No caso da máquina OTR#03, são muitas as questões que se levantam quanto à aplicação deste tipo de método já que a máquina é bastante diferente de qualquer outra existente na fábrica. A escassa existência de marcações de posição ao longo da máquina, de referências visuais e de sistemas de travagem e bloqueio de partes móveis faz com que se revele um verdadeiro desafio de engenharia garantir a correta e harmoniosa operação de todas as partes da mesma.

O projeto que se apresenta tem como objetivo a definição da metodologia de manutenção a seguir de modo a verificar e documentar a condição da máquina OTR#03 no que concerne à posição relativa e absoluta das suas diferentes partes, que devem operar numa determinada zona de tolerâncias.

Esta metodologia será elaborada de uma perspectiva técnica pela definição e descrição dos métodos e procedimentos de medição a seguir, instrumentos e sistemas de medição a utilizar, medições a registar e tolerâncias a admitir. Associado ainda a este projeto está o desenvolvimento de um suporte para o registo e monitorização das medições efetuadas e a definição de indicadores para avaliação da metodologia proposta.

Capítulo 4

Desenvolvimento do Projeto

No presente capítulo são definidas, numa primeira fase, a estrutura principal da máquina e as condições a garantir para o seu correto funcionamento. De seguida, é apresentada a forma determinada para o manual dos procedimentos definidos, bem como as ferramentas desenvolvidas para o registo dos resultados das medições obtidos através da execução dos procedimentos. Por fim, são apresentados os indicadores propostos e as suas correspondentes fórmulas de cálculo para a avaliação e monitorização da metodologia definida.

4.1 Estrutura e partes principais da máquina

Dado que o processo de construção de um pneu é sequencial e ocorre através da associação de vários componentes transportados e aplicados por diferentes partes da máquina OTR#03, as posições absolutas e relativas por estas assumidas em cada momento afetam diretamente as características do produto em construção.

Por forma a delinear uma metodologia de manutenção adequada à verificação da posição das diferentes partes da máquina é essencial, em primeiro lugar, conhecer a estrutura geral da mesma e as diferentes partes que a constituem. Para a realização desta tarefa, foi consultada toda a documentação técnica disponibilizada pelo fornecedor, bem como realizadas várias visitas à unidade de construção ainda em instalação na fábrica. Desta pesquisa resultou a esquematização apresentada na Tabela D.1 do Anexo D. Nesta tabela encontram-se listadas as partes principais identificadas na máquina OTR#03, distribuídas pelas cinco zonas da máquina referidas no Capítulo 3.

Uma vez identificadas as partes principais que constituem a estrutura da máquina, é necessário distinguir aquelas cujo posicionamento influencia, de forma direta, a qualidade do produto final. Uma cuidada análise ao processo produtivo descrito no Capítulo 3, bem como à documentação relativa aos defeitos detetados nos vários momentos de inspeção, permitiu fazer uma seleção destas partes, que se encontram apresentadas na Tabela E.1 do Anexo E. Serão, então, estas o alvo do processo de verificação de tolerâncias que se pretende definir na presente dissertação.

4.2 Condições a garantir entre as partes da máquina

Após o levantamento exaustivo de todas as partes constituintes da máquina cuja posição impacta no processo produtivo, foram avaliadas as condições a assegurar entre estas de forma a obter-se um produto final conforme as especificações. Como resultado desta avaliação foram identificadas, essencialmente, condições de concentricidade, paralelismo, centragem e perpendicularidade entre os tambores de expansão da Carcaça, do *Belt* e do *Shaping* e as restantes partes da máquina, bem como condições de uniformidade de perímetro, nivelamento e batimento circular radial para cada um dos tambores de expansão existentes. A Tabela 4.1 apresenta todas as condições a garantir entre as diferentes partes existentes na zona *Carcass* de forma a assegurar o correto funcionamento da máquina.

Tabela 4.1: Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Carcass

Zona	Parte #1	Parte #2	Condição a garantir
Carcass	Tambor da Carcaça	-	perímetro
			expansão
			nivelamento
			batimento circular radial
	Tambor da Carcaça	guias do Tambor da Carcaça	centragem
	Laser da plataforma do Tambor da Carcaça	-	verticalidade
	Laser da plataforma do Tambor da Carcaça	Tambor da Carcaça	centragem
	Carretilhas do Tambor da Carcaça	Tambor da Carcaça	centragem
	Tapete transportador Body Ply	Tambor da Carcaça	folga
			centragem
	Tapete transportador Innerliner	Tambor da Carcaça	folga
			centragem
	Tapete transportador Squeegee	Tambor da Carcaça	folga
			centragem
	Tapete transportador Chafer	Tambor da Carcaça	folga
			centragem
	Tapetes transportadores Server Multilayer	Tambor da Carcaça	folga
			centragem
	Bead Setter Left	Tambor da Carcaça	concentricidade
			paralelismo
	Bead Setter Right	Tambor da Carcaça	concentricidade
			paralelismo
	Tambor da Carcaça	CTU	concentricidade
			paralelismo
			centragem

As duas partes da máquina relacionadas estão identificadas nas colunas "Parte #1" e "Parte #2", ao passo que a condição que entre elas deve ser respeitada definida na coluna "Condição a garantir". Desta tabela podemos facilmente concluir, por exemplo, que o Tambor da Carcaça se deve encontrar centrado relativamente às guias onde circula, e que o tapete transportador *Body Ply* deve respeitar uma determinada folga relativamente ao Tambor da Carcaça, ao mesmo tempo que se encontra, também ele, centrado relativamente a este. Por outro lado, a CTU deve respeitar as condições de concentricidade, paralelismo e centragem relativamente ao Tambor da Carcaça.

Atente-se no significado prático deste último caso. A forma geométrica do Tambor da Carcaça pode ser aproximada à de um cilindro, enquanto que a CTU é uma estrutura constituída por sete anéis circulares. Garantir a concentricidade entre estas duas partes significa assegurar que os eixos teóricos de cada uma delas se encontram coincidentes ao longo de todo o comprimento destas peças¹. Na prática, esta coincidência é inatingível, pelo que o que é pretendido é, sim, que estes se encontrem dentro de uma determinada zona de tolerâncias definida. No caso da condição de paralelismo mencionada, esta traduz-se na relação entre um plano teórico normal ao eixo definido pelo Tambor da Carcaça e um plano coincidente com um dos anéis da CTU. Por último, a centragem entre estas duas partes indica que a posição de paragem do Tambor da Carcaça no interior da CTU deve ser tal que o centro deste esteja equidistante de cada um dos anéis das extremidades da CTU.

No total, foram identificadas 52 condições a garantir na OTR#03. As Tabelas F.1, F.2 e F.3 do Anexo F complementam a síntese desses requisitos relativamente às diversas partes das zonas *Belt*, *Shaping* e *Alpha*, respetivamente. A verificação do cumprimento ou incumprimento destas condições ocorrerá, portanto, através dos procedimentos de manutenção definidos apresentados de forma breve no subcapítulo seguinte.

4.3 Definição da Metodologia para a Verificação de Tolerâncias de Equipamentos da máquina

A definição da metodologia a seguir para a Verificação de Tolerâncias de Equipamentos da máquina OTR#03 ocorreu como resultado de uma pesquisa exaustiva à documentação interna existente relativa à aplicação desta prática nos equipamentos já presentes na fábrica conjugada com o conhecimento dos técnicos de manutenção preventiva e corretiva do DE7 nesta área de atuação. Desta definição resultou um conjunto de 55 procedimentos de manutenção, desenvolvidos e testados na máquina OTR#03 com a colaboração dos técnicos de manutenção preventiva do DE7.

Uma listagem de todos os procedimentos definidos pode ser observada na Tabela G.1 do Anexo G. Estes procedimentos têm, então, o objetivo de verificar a condição de funcionamento da máquina, não tendo, por isso, um caráter corretivo. As ações corretivas na máquina que se destinem ao estabelecimento ou restauro das condições pretendidas, apesar de também constituírem funções atribuídas à equipa da manutenção preventiva, não se encontram compreendidas nos referidos procedimentos, constituindo um processo posterior.

Definidos os procedimentos, estes foram reunidos num manual concebido para o efeito, sendo detalhados e documentados sempre que possível, de acordo com requisitos das normas em vigor relativas à documentação da qualidade.

¹Em rigor, a condição correspondente à coincidência no espaço de dois eixos é denominada "coaxialidade". A denominação "concentricidade" refere-se à sobreposição de dois centros no plano. Como a verificação desta condição na máquina ocorreu em dois planos e não ao longo de todo o comprimento das peças, foi utilizada esta designação ao longo da dissertação.

A metodologia envolvida nestes procedimentos requer, em todos os casos, a execução de medições com recurso a vários instrumentos de medição. Para a documentação dos resultados das medições obtidos foi também desenvolvida uma ferramenta que permite o registo e monitorização da condição da máquina no momento em que é alvo desta ação de manutenção preventiva.

4.3.1 Manual de procedimentos de verificação de tolerâncias da máquina

A criação de um manual surge da necessidade de documentar a informação relativa aos procedimentos concebidos neste projeto, imposta pela norma NP EN ISO 9001:2015 que enuncia que toda a informação relevante relativa a um sistema de gestão da qualidade deve encontrar-se devidamente documentada. Os procedimentos descritos poderão ser considerados como pertencentes ao sistema de gestão da qualidade da organização por se tratarem de procedimentos de manutenção (Cabral, 2004) e por estarem relacionados com a qualidade do produto final.

O manual desenvolvido foi elaborado de forma a que a sua leitura e interpretação fosse fácil e intuitiva para o seu público-alvo: os técnicos da manutenção preventiva do DE7. Nele, a descrição de todos os procedimentos de manutenção definidos bem como de toda a informação auxiliar considerada pertinente culminou num documento de 147 páginas, estruturado em 4 capítulos principais, enumerados e descritos como se segue:

A Informação geral

No capítulo inicial, é apresentada uma breve introdução ao manual apresentado, sendo explicado o objetivo do mesmo e a estrutura seguida para cada um dos procedimentos descritos. Aqui, é também referida a periodicidade definida para a execução dos procedimentos e o público-alvo do manual. São também apresentadas as considerações e pressupostos utilizados na conceção dos procedimentos, bem como notas importantes para o seu utilizador. Por fim, é apresentado ainda o *layout* da máquina OTR#03 e uma lista completa dos procedimentos e correspondente numeração seguida ao longo do manual;

B Material necessário

O segundo capítulo apresenta uma listagem de todo o material necessário à execução da metodologia proposta, tanto ao nível dos instrumentos de medição como dos acessórios essenciais. Neste ponto, o leitor é ainda alertado para a importância da conformidade do equipamento de medição relativamente aos requisitos da sua utilização;

C Descrição dos Procedimentos

É o capítulo que contém o verdadeiro conteúdo do manual. Aqui, são apresentados em detalhe todos os 55 procedimentos de manutenção definidos no presente projeto, sendo exibida a informação relativa ao material necessário, às instruções de execução da tarefa, aos resultados das medições a registar e ainda às tolerâncias admitidas para cada um dos procedimentos. São ainda apresentadas imagens descritivas com o objetivo de auxiliar a interpretação dos procedimentos, bem como indicado, para cada um deles, a sua duração estimada,

o número de técnicos necessários à sua realização e a periodicidade com que devem ser realizados;

D Movimentos/posições pré-programados para MTC

O último capítulo apresenta, por fim, todas as posições e movimentos pré-definidos das várias partes da máquina que devem estar programadas no *software* da mesma para a execução das medições referidas nos procedimentos. Encontram-se divididas por procedimento, por forma a que seja mais fácil a sua consulta por parte do técnico de manutenção.

A estrutura descrita pode ser observada através da análise do índice do manual elaborado presente no Anexo H. Este índice apresenta, ainda, a enumeração de todos os procedimentos desenvolvidos no presente projeto de modo a facilitar a pesquisa rápida, de entre eles, através do seu nome.

Descrição dos Procedimentos

Atentemos ao capítulo C - Descrição dos Procedimentos. Aqui, foi utilizado um modelo *standard* para a apresentação de cada um dos procedimentos. No cabeçalho deste modelo é feita a apresentação do procedimento, sendo detalhado o seu número de identificação, título (nome através do qual é referido), breve descrição, duração estimada, número de técnicos necessários à sua execução e periodicidade de realização. Esta última foi estabelecida como constante para todos os procedimentos referidos (6 meses). A Figura 4.1 apresenta o modelo de cabeçalho aplicado ao procedimento nº15.1.

Nº	15.1	Título	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU			
Descrição		Verificação da concentricidade do tambor da carcaça com a CTU				
Duração estimada	25 minutos	Nº técnicos necessários	2	Periodicidade de inspeção	6 meses	

Figura 4.1: Modelo de cabeçalho aplicado ao procedimento nº15.1

Após o cabeçalho, são listados os equipamentos necessários à realização do procedimento, onde estão incluídos os instrumentos de medição e outros acessórios. A esta listagem seguem-se as instruções do procedimento propriamente ditas, que se encontram numeradas por ordem cronológica de execução. Fazendo referência aos instrumentos, descrevem pormenorizadamente e por passos o método de realização da tarefa, auxiliada com as imagens descritivas e esquemas apresentados no campo seguinte. Por fim, são referidos os resultados das medições a registar e as tolerâncias definidas para esses resultados. O Anexo I ilustra a estrutura utilizada na descrição dos procedimentos ao longo do manual através da apresentação de um excerto do manual correspondente à descrição do procedimento nº15.1 (Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU).

4.3.2 Ferramentas para o registo e monitorização das medições definidas nos procedimentos

Por norma, nas intervenções de verificação de tolerâncias de equipamentos levadas a cabo pela equipa da manutenção preventiva do DE7, os dados relativos às medições efetuadas pelos técnicos de manutenção são registados, em primeiro lugar, em papel, em tabelas impressas próprias para o efeito. Nessas tabelas encontram-se apresentadas as tolerâncias admitidas para todos os parâmetros medidos, permitindo ao técnico saber se uma determinada parte se encontra ou não na posição correta através da realização de cálculos aritméticos simples, também nela especificados. Consoante o resultado obtido, efetuam, ou não, as operações de ajustamento necessárias. No final da intervenção, as folhas que contêm esses registos são entregues ao engenheiro responsável pela manutenção preventiva do DE7, que insere os dados recolhidos num suporte informático concebido para a monitorização dos mesmos.

Assim, foram desenvolvidas duas ferramentas distintas destinadas a estes dois tipos de utilizador. Em primeiro lugar, foi construído um Excel para a introdução de todos os dados relativos às medições descritas nos procedimentos propostos. Este Excel foi concebido de tal forma que permitisse uma visualização rápida do estado da máquina relativamente a cada um das condições avaliadas. A Figura 4.2 ilustra um excerto desta ferramenta desenvolvida, correspondente a cinco dos procedimentos da zona *Carcass*.

PARTE MÁQUINA	Nº procedimento	Check?	Nome	Descrição			Valor medido (mm)	Tolerância admitida		Valor corrigido (mm)	Observações
	1	NÃO	Perímetro tambor da carcaça	esquerda	X1	1.1					
				centro	X2	1.2					
				direita	X3	1.3					
								MAX-MIN	2		
	2	NÃO	Expansão tambor da carcaça	esquerda	X1	2.1					
				centro	X2	2.2					
				direita	X3	2.3					
								MAX-MIN	2		
	3	NÃO	Nivelamento tambor da carcaça			3		0,5	(mm/m)		
	4	NÃO	Radial run-out do veio do tambor da carcaça			4		2	mm		
	5	NÃO	Centragem Tambor da Carcaça – guias Carcass Machine			5		2	mm		

Figura 4.2: Excerto da ferramenta de introdução e monitorização de medições desenvolvida, sem medições inseridas

Esta ferramenta foi desenvolvida com vista a uma utilização simples e intuitiva. Os valores das medições devem ser introduzidos exclusivamente nas células azuis. Uma vez inseridos, estas estão programadas para mudarem a sua cor de forma automática, consoante o valor introduzido. Caso o valor introduzido esteja dentro dos limites de tolerância admissíveis, a célula torna-se verde, ao passo que em caso contrário esta converte-se em vermelha. Sempre que é necessário efetuar cálculos para aferir sobre a condição de uma determinada parte da máquina, existem células dedicadas a eles que seguem o mesmo esquema de formatação.

A Figura 4.3 apresenta um excerto desta ferramenta com resultados de medições inseridos², correspondentes ao procedimento nº 15.1 mencionado anteriormente, por forma a ilustrar o aspeto obtido após o seu preenchimento.

PARTE MÁQUINA	Nº procedimento	Check?	Nome	Descrição	Valor medido (mm)	Tolerância admitida	Valor corrigido (mm)	Observações
	15.1	SIM	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU	Y1	15.1.1	0	0	
				Y2	15.1.2	3,34	-1,15	
				Y3	15.1.3	5,89	1,49	
				Y4	15.1.4	3,55	1,43	
						-5,89	(Y1-Y3) 4	-1,49
						-0,21	(Y2-Y4) 4	-2,58

Figura 4.3: Excerto da ferramenta de introdução e monitorização de medições desenvolvida com medições inseridas

A interface apresentada permite não só a introdução das medições correspondentes ao estado inicial da máquina (registadas na coluna "Valor medido") como também o registo das medições obtidas após o ajuste efetuado (inseridas na coluna "Valor corrigido"). Por fim, a coluna "Check?" indica se a condição correspondente ao procedimento é ou não verificada, através da apresentação do texto "SIM" ou "NÃO". Dentro de cada procedimento, é atribuída um número de referência a cada uma das medições efetuadas, por forma a manter a coerência relativamente às tabelas preenchidas manualmente pelos técnicos, que apresentam também a mesma numeração.

Em segundo lugar, foram preparadas as tabelas para impressão destinadas ao preenchimento por parte dos técnicos durante a intervenção. Estas apresentam a identificação dos procedimentos, o número de referência correspondente a cada um dos registos efetuados (bem como a sua respetiva legenda) e as tolerâncias admitidas para cada um deles. Tal como no Excel, os valores das medições devem ser preenchidos nas colunas correspondentes, existindo ainda um campo para o registo de eventuais observações ou notas que se considerem pertinentes. No Anexo J encontra-se apresentada a tabela correspondente às medições da zona *Carcass*. O número de medições, para todas as zonas da máquina, previstas na metodologia proposta totaliza 223 medições.

4.4 Indicadores propostos para a avaliação do desempenho da metodologia definida

Uma vez definidos e catalogados os procedimentos correspondentes à metodologia de manutenção proposta, urge a necessidade de avaliar criticamente qual a sua eficácia no equipamento onde é aplicado: a máquina OTR#03. Neste contexto, e tendo em conta a pesquisa desenvolvida no Capítulo 2, foi considerado pertinente aplicar à máquina o cálculo do indicador de manutenção *Eficiência Global do Equipamento* (OEE). A sugestão de aplicação deste indicador deve-se ao facto de ele quantificar a condição do equipamento de uma forma sustentada, traduzindo o efeito das várias perdas referidas no Capítulo 2. Todas estas perdas podem, de alguma maneira,

²Os resultados de medição apresentados na Figura 4.3 são meramente exemplificativos, não representando qualquer medição levada a cabo na máquina em questão.

ser associadas com as condições de operação do equipamento, verificadas através do processo de verificação de tolerâncias definido.

Tendo em conta que a periodicidade de execução da metodologia apresentada será de 6 meses, a proposta apresentada é que este seja calculado para um período correspondente a um mês. Desta forma, este indicador pode ser utilizado não só para acompanhar a evolução mensal da eficiência associada à máquina, como também para a avaliação do impacto da metodologia utilizada imediatamente antes e depois da sua aplicação na máquina.

Indicador Disponibilidade

A busca da causa relativa ao incorreto posicionamento de uma determinada parte ou componente leva, muitas vezes, à deteção de pequenas avarias existentes nos equipamentos durante a execução das tarefas de verificação de tolerâncias. Estas avarias (indetectáveis de outra forma), que originam estados de falha parciais com pouca expressão para o funcionamento do equipamento, podem evoluir para estados de falha totais podendo até levar, em casos extremos, a consequências catastróficas para o equipamento. Deste modo, a metodologia definida pode evitar perdas causadas por tempos de paragem não planeados (perda 1), que afetam diretamente o indicador Disponibilidade. Para o cálculo do estimador deste indicador é necessária a reunião da seguinte informação:

- Tempo planeado de produção (mensal)
- *Downtime* total (mensal)

O indicador *Disponibilidade* surgirá, portanto, da fórmula de cálculo indicada no Capítulo 2:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo planeado de Produção} - \text{downtime}}{\text{Tempo planeado de Produção}} \times 100$$

Indicador Desempenho

Por outro lado, sempre que um operador deteta um desalinhamento ou posicionamento incorreto de alguma das partes da máquina, quer seja através da posição dos lasers relativamente ao material a aplicar, quer por qualquer outro motivo, a produção na máquina é obrigada a parar e a equipa de manutenção corretiva chamada a intervir. Estes tempos de inatividade da máquina (perda 3) resultam em perdas para a empresa, que se refletem através do indicador Desempenho. Também a velocidade reduzida de produção (perda 4) pode ser associada à condição da máquina, verificada através da presente metodologia. Tal como referido no Capítulo 3, a máquina OTR#03 foi concebida de tal modo que o processo de construção que nela ocorre fosse semi-automático. O incorreto posicionamento de algumas partes da máquina utilizadas para a aplicação de material por forma a construir o pneu pode levar a que seja necessário o reajuste da posição de aplicação do material por parte do operador. Este retrabalho, essencial para evitar um pneu futuramente defeituoso, torna o tempo de ciclo mais lento, afetando negativamente o indicador Desempenho.

Por forma a obter um estimador para este indicador, é necessário obter informação sobre:

- N° total de unidades produzidas (mensal)
- N° possível de unidades (mensal)

Considerando, segundo Ben-Daya and Duffuaa (1995):

$$\text{N° possível de unidades} = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico}}{\text{Tempo útil de Produção}}$$

Tal que:

$$\text{Tempo útil de Produção} = \text{Tempo planeado de Produção} - \text{Downtime}$$

Reunidos estes dados, o indicador *Desempenho* será calculado através da fórmula:

$$\text{Desempenho (\%)} = \frac{\text{N° de unidades produzidas}}{\text{N° possível de unidades}} \times 100$$

Indicador Qualidade

Por fim, também o indicador Qualidade pode ser diretamente afetada, positiva e negativamente, pela metodologia apresentada. Como referido no Capítulo 3, defeitos (perda 5) identificados em pneus produzidos na OTR#03 podem ser associados a causas relacionadas com não-verificação das condições definidas para a máquina na presente dissertação. Também as perdas na produção (perda 6) durante os estados iniciais de produção podem ser associados a uma má condição de funcionamento da máquina, que pode ser detetada (e, posteriormente, corrigida) através de um processo de verificação de tolerâncias de equipamentos como o proposto.

Para a determinação deste indicador será necessário, então, a recolha de alguns dados referentes às variáveis mencionadas de seguida:

- N° total de unidades produzidas (mensal)
- N° total de unidades produzidas com defeito (mensal)

Nota: Para a contabilização da variável "N° de unidades produzidas com defeito" devem ser considerados apenas os defeitos relacionados diretamente com o processo de produção ocorridos na máquina OTR#03 que possam ser atribuídos à sua condição de funcionamento.

O indicador Qualidade será, então, obtido através da fórmula de cálculo:

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{N° de unidades produzidas} - \text{N° de unidades produzidas defeituosas}}{\text{N° de unidades produzidas}} \times 100$$

Indicador OEE

O resultado do indicador Eficiência Global do Equipamento (OEE) surgirá da multiplicação dos três indicadores anteriormente mencionado, tal como apresentado no Capítulo 2:

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}$$

A interpretação do valor obtido para este indicador constituirá uma boa referência para a avaliação ao longo do tempo da condição da máquina e, conseqüentemente, da metodologia de manutenção definida nesta dissertação.

Capítulo 5

Conclusão e Projetos Futuros

5.1 Conclusão

A manutenção desempenha um papel fundamental no sucesso de qualquer organização. No caso da Continental Mabor, esta importância é redobrada uma vez que é através da manutenção que se garante a eficiência e sustentabilidade de todo o processo produtivo.

O presente projeto propôs-se a definir e documentar uma metodologia para “Verificação de Tolerâncias de Equipamentos” da nova unidade em instalação na fábrica: a máquina OTR#03. Dada a importância desta atividade para a garantia da eficiência do processo produtivo e para a qualidade do produto final obtido, era essencial que esta fosse definida e documentada, de forma a poder ser executada de forma periódica pela equipa de manutenção preventiva do DE7.

A definição desta metodologia revelou-se um grande desafio, devido a vários fatores. Apesar de ser a terceira unidade destinada à construção de pneus OTR radiais a ser instalada na fábrica, a sua estrutura e operação, ainda que seguindo os mesmos princípios das restantes, é bastante distinta das anteriores, apresentando características muito próprias. Isto implicou que a maior parte dos procedimentos utilizados para a verificação de tolerâncias de equipamentos nas unidades existentes não pudessem ser replicados na nova unidade, exigindo uma profunda readaptação ao nível das técnicas previamente utilizadas pelos técnicos de manutenção.

O resultado da definição desta metodologia foi a elaboração de um manual de procedimentos de manutenção que, combinado com o suporte desenvolvido para o registo dos resultados das medições obtidos, permite a avaliação da condição da máquina em questão num determinado instante temporal. Por outro lado, a recomendação da utilização do indicador de manutenção OEE para avaliar a condição da máquina alvo da metodologia desenvolvida reforça a pertinência da aplicação das ideologias da área da Gestão da Qualidade Total à manutenção, permitindo quantificar o desempenho das técnicas implementadas e, em simultâneo, a eficiência do equipamento.

Contudo, é importante salientar que a metodologia desenvolvida no presente projeto não representa uma definição rígida daquilo em que deve consistir um processo de verificação de tolerâncias, mas sim servir como guia para os técnicos de manutenção que venham a desempenhar

esta tarefa nesta unidade. A aprendizagem mais aprofundada sobre as características e especificidades da máquina OTR#03 por parte destes vai permitir, ao longo do tempo, o aprimoramento das técnicas propostas, através da introdução de reajustes e melhorias nos processos envolvidos. Os procedimentos definidos servem, então, de ponto de partida para aquilo que será um processo de aprendizagem contínua por parte dos agentes de manutenção envolvidos.

O desenvolvimento do presente projeto sensibilizou para a importância da manutenção preventiva no contexto de uma indústria, ao mesmo tempo que permitiu constatar o impacto da condição de uma máquina na qualidade do produto final. Ficou, ainda, bem assente a importância da documentação para a organização de um sistema de gestão da qualidade numa empresa da dimensão da Continental Mabor, realçando o facto de que reunir e reter a informação de uma forma simples e organizada é a chave para o desenvolvimento de uma cultura centrada na qualidade e nos seus valores subsequentes.

5.2 Projetos Futuros

O evolução atual do setor da indústria no sentido da implementação das ideologias derivadas do conceito da Indústria 4.0 leva à idealização de algumas melhorias no que toca à digitalização dos processos de verificação da condição dos equipamentos. No caso particular da verificação das tolerâncias de equipamentos, pode considerar-se que existe uma grande margem para progressão. A instalação de sensores que monitorizem a posição ocupada pelas diferentes partes da máquina, umas relativamente às outras, pode constituir uma medida positiva no sentido da preservação do correto funcionamento da máquina, uma vez que permite a monitorização, em tempo real, das suas condições de operação. A implementação deste sistema permitiria a diminuição dos custos associados às ações preventivas, uma vez que apenas se atuaria no equipamento quando fosse detetada alguma anomalia nos parâmetros definidos para as respetivas leituras dos sensores. Por conseguinte, ao tipo de manutenção praticada enquadrar-se-ia no domínio da manutenção preventiva condicional, em detrimento da manutenção preventiva sistemática em prática até então. Esta abordagem poderia constituir um projeto futuro no sentido de estudar a funcionalidade, viabilidade e benefício da utilização destes sensores de posição na verificação da condição do equipamento em questão.

Referências

- (2015). Learn the differences between radial and crossply tires. <https://www.bigtyres.co.uk/blog/whats-the-difference-between-a-radial-or-crossply-tyre.html>.
- (2019). Off-the-road tires. Technical data book, Continental Reifen Deutschland GmbH, Hannover.
- (2021). Pneumáticos OTR. <https://www.continental-pneus.pt/industriais/movimentacao-materiais/pneumaticos-otr>.
- Advisors, B. S. (2020). The world's 100 biggest automotive suppliers in 2019. Berylls study on the global automotive supplier industry, Berylls Strategy Advisors.
- Ben-Daya, M. and Duffuaa, S. (1995). Maintenance and quality: the missing link. *Journal of quality in maintenance engineering*.
- Borris, S. (2005). *Total Productive Maintenance*. McGraw-Hill Professional.
- Cabral, J. P. S. (2004). *Organização e Gestão da Manutenção - Dos Conceitos à Prática*. Lidel - edições técnicas, lda.
- Duffuaa, S. and Raouf, A. (2015). *Planning and control of maintenance systems: Modelling and analysis*. Springer.
- Higgins, L. R., Mobley, K., and Smith, R. (2002). *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill standard handbooks. McGraw-hill.
- Juran, J., Gryna, F., Godfrey, A., Schilling, E., Hoogstoel, R., and Joseph, J. (1999). *Juran's Quality Handbook*. Juran's Quality Handbook. McGraw Hill.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press.
- NP EN ISO 13306:2007 (2007). Terminologia da manutenção. Norma, Instituto Português da Qualidade, PT.
- NP EN ISO 13460:2009 (2009). Documentação para a manutenção. Norma, Instituto Português da Qualidade, PT.
- NP EN ISO 9000:2015 (2015). Sistemas de gestão da qualidade - fundamentos e vocabulário. Norma, Instituto Português da Qualidade, PT.
- NP EN ISO 9001:2015 (2015). Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Norma, Instituto Português da Qualidade, PT.

- NP EN ISO 9002:2018 (2018). Sistemas de gestão da qualidade - linhas de orientação para a aplicação da iso 9001:2015. Norma, Instituto Português da Qualidade, PT.
- Pinto, A. and Soares, I. (2009). *Sistemas de Gestão da Qualidade - Guia para a sua aplicação*. Edições Sílabo, Lda., Lisboa, 1ª edition.
- Proença, S. and Didelet, F. (2021). Método de implementação de um Sistema de Gestão de Manutenção e metodologia para manutenção eficiente em máquinas pesadas. *Revista Manutenção* (nº148).

Anexo A

***Masterplan* da Manutenção Planeada da unidade CST**

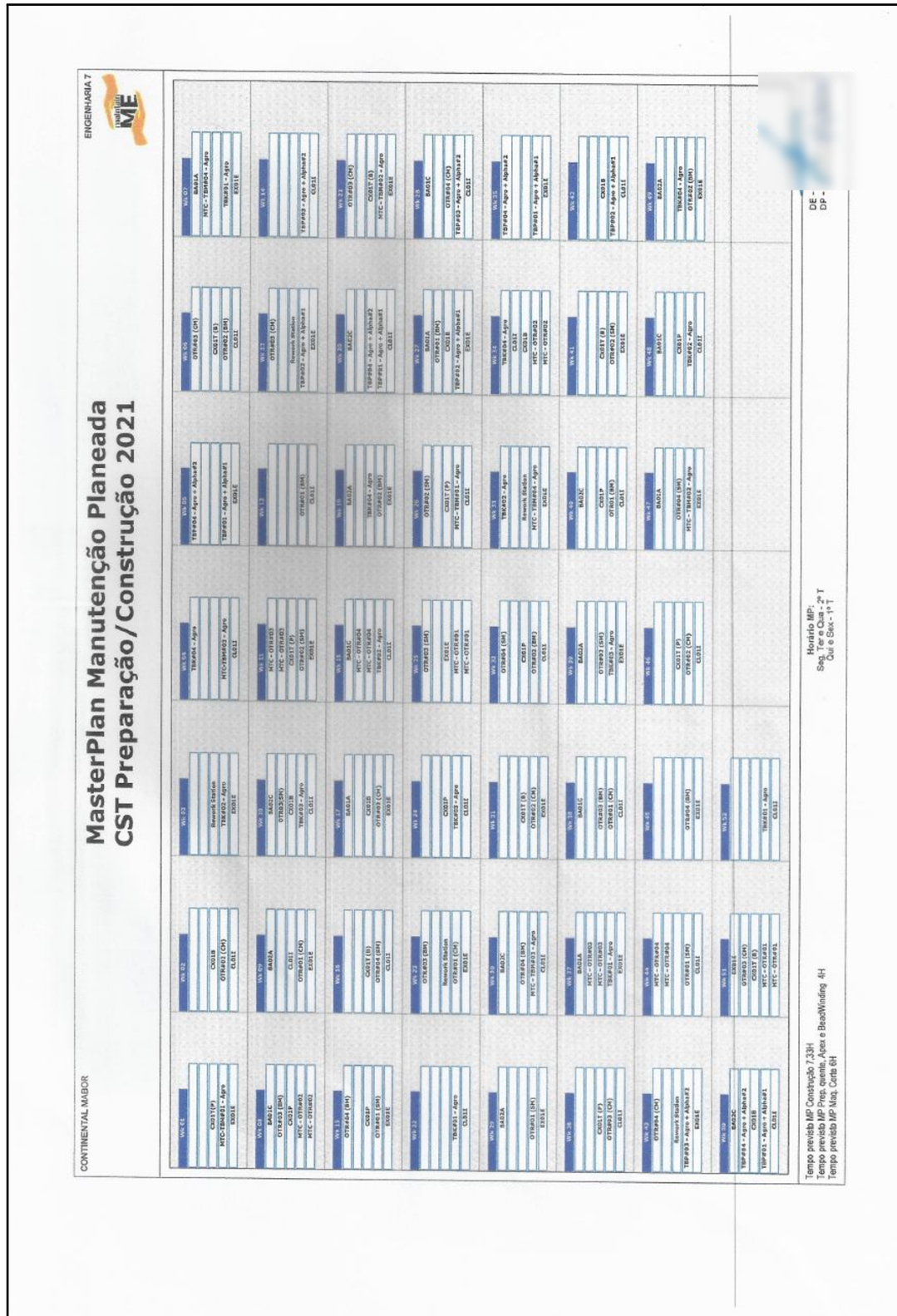


Figura A.1: Masterplan da unidade CST

Anexo B

Resultado de um Raio-X a um pneu OTR radial

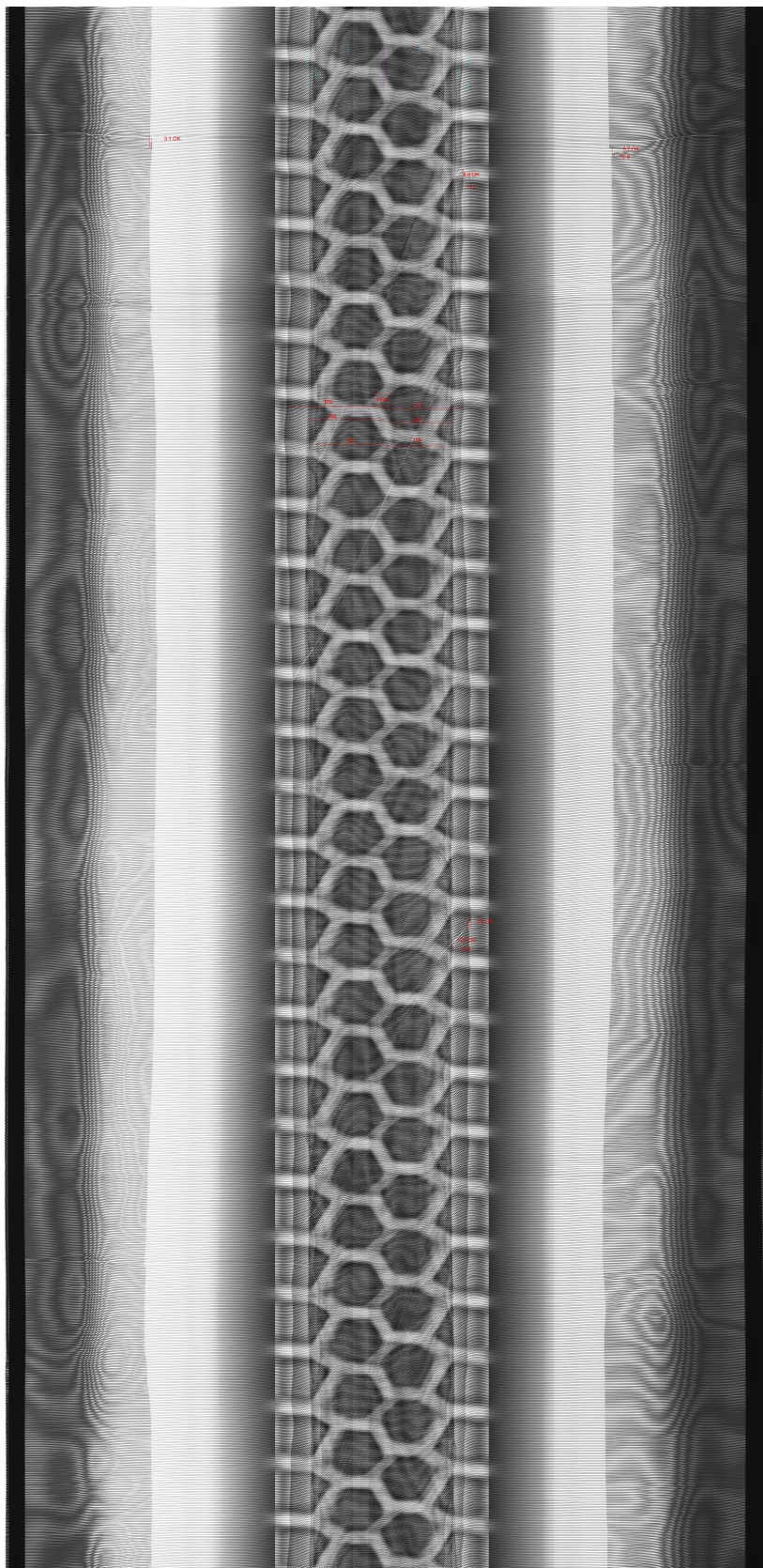


Figura B.1: Resultado de um Raio-X a um pneu OTR radial

Anexo C

Resultado de um teste de *shearografia* a um pneu OTR radial

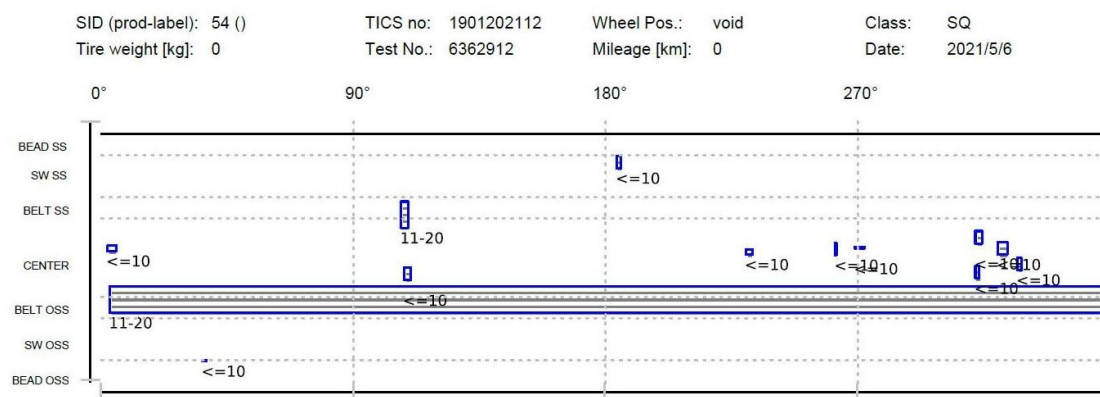


Figura C.1: Resultado de um teste de *shearografia* a um pneu OTR radial

Anexo D

Lista das partes principais da máquina OTR#03

Tabela D.1: Lista das partes principais da máquina OTR#03

Carcass	Plataforma Tambor da carcaça	Tambor da carcaça	
		Bead setter left	
		Carretilhas do tambor da carcaça	
		Lasers da plataforma do tambor da carcaça	
	Server Body Ply	Carretilha Body Ply	
		Cassete de tela metálica	
		Tapete transportador Body Ply	
		Sistema de corte	
	Server IL+SQ+CH	Sistema de centragem (câmeras)	
		Innerliner (IL)	Cassete innerliner
			Tapete transportador Innerliner
			Sistema de corte ultrasónico
			Carretilha innerliner+squeegee
		Squeegee (SQ)	Cassete Sqsueegee
			Tapete transportador Squeegee
			Sistema de corte ultrasónico
			Carretilha innerliner+squeegee
		Chafer (CH)	Cassete Chafer (x2)
			Tapete transportador Chafer (x2)
	Server Multilayer	Tapete transportador traseiro (x2)	
		Tapete transportador frontal (x2)	
		Sistema de centragem (câmeras)	
		Robot de carregamento de Perfis	
		Armazém automático de Perfis	
	Bead Loading	Bead Setter Right	
		Bead Holder Left	
		Bead Holder Right	
	CTU (Carcass Transfer Unit)		
Belt	Plataforma do tambor do Belt	Tambor do Belt	
		Carretilhas do tambor do Belt	
	Sistema Laser		
	Server Belt Left	Cassete de breakers	
		Tapete transportador	
	Server Belt Right	Cassete de breakers	
		Tapete transportador	
Transfer	Server Filler (x2)		
	[Belt and Green Tire] Transfer Ring		
	Extrator do Pneu em verde		
Shaping	Banco de Inspeção do Pneu em verde		
	Plataforma de rotação do Shaping		
	Shaping Turret 1		
	Shaping Turret 2		
Alpha	Carretilhas do Shaping		
	Stripwinding		
	Calandra (x3)		
	Extrusora (x3)		
	Tambores de arrefecimento (x2)		

Anexo E

Lista das partes principais da máquina críticas para o processo produtivo

Tabela E.1: Lista das partes principais da máquina críticas para o processo produtivo

Parte
Tambor da Carcaça
Bead Setter Left
Carretilhas do Tambor da Carcaça
Lasers da plataforma do Tambor da Carcaça
Tapete transportador Body Ply
Tapete transportador Innerliner
Tapete transportador Squeegee
Tapetes transportadores Chafer
Tapete transportador frontal Server Multilayer
Bead Setter Right
Bead Holder Left
Bead Holder Right
Tambor do Belt
Carretilhas do Tambor do Belt
Tapete transportador
Tapete transportador
[Belt and Green Tire] Transfer Ring
Shaping Turret 1
Shaping Turret 2
Carretilhas do Shaping
Stripwinding
Calandras
Extrusoras

Anexo F

Condições a garantir entre as partes da máquina

Tabela F.1: Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Belt

Zona	Parte #1	Parte #2	Condição a garantir
Belt	Tambor do Belt	-	perímetro
			expansão
			nivelamento
	Lasers do Belt	-	verticalidade
	Lasers do Belt	Tambor do Belt	centragem
	Carretilhas Belt	Tambor do Belt	centragem
	Tapetes transportadores do Belt	Tambor do Belt	folga
			centragem
	Tambor do Belt	Transfer ring	concentricidade
			paralelismo
			centragem

Tabela F.2: Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Shaping

Zona	Parte #1	Parte #2	Condição a garantir
Shaping	Shaping Turret	-	nivelamento
			batimento circular radial
	Lasers do Shaping	-	verticalidade
	Lasers do Shaping	Shaping Turret	centragem
	Shaping Turret	CTU	concentricidade
			paralelismo
			centragem
	Shaping Turret	Transfer Ring	concentricidade
			paralelismo
			centragem

Tabela F.3: Condições a garantir entre as partes #1 e #2 da máquina, pertencentes à Zona Alpha

Zona	Parte #1	Parte #2	Condição a garantir
Alpha	Stripwinding	Shaping Turret	perpendicularidade
			centragem
	Sensor Stripwinding	Shaping Turret	posição
	Stripwinding	-	folga
	Calandras	-	folga
	Extrusoras	-	folga

Anexo G

Lista de Procedimientos definidos

Tabela G.1: Lista de Procedimentos definidos para a verificação de tolerâncias de equipamentos na máquina OTR#03

Nº	Título	Zona
1	Perímetro do tambor da carcaça	Carcass
2	Expansão tambor da carcaça	
3	Nivelamento tambor da carcaça	
4	Radial run-out do veio do tambor da carcaça	
5	Centragem Tambor da Carcaça – guias Carcass Machine	
6.1	Verticalidade Laser Carcass Machine	
6.2	Centragem Laser Carcass Machine - Tambor da Carcaça	
7.1	Centragem carretilhas Carcass Machine (posição traseira)	
7.2	Centragem carretilhas Carcass Machine (posição frontal)	
8.1	Folga transportador Body ply – Tambor da Carcaça	
8.2	Centragem Servicer Body Ply - Tambor da Carcaça	
9.1	Folga Front Nose innerliner/front Nose Squeegee – Tambor da Carcaça	
9.2	Centragem Front Nose IL/Front nose SQ - Tambor da Carcaça	
10.1	Folga transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça	
10.2	Centragem transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça	
11.1	Folga transportadores Servicer Multilayer – Tambor da Carcaça	
11.2	Centragem transportadores Servicer Multilayer – Tambor da Carcaça	
12	Folga Bead holder – Anel de referência	
13.1	Concentricidade Bead setter left – Tambor da Carcaça	
13.2	Paralelismo Bead setter left – Tambor da Carcaça	
14.1	Concentricidade Bead setter right – Tambor da Carcaça	
14.2	Paralelismo Bead setter right – Tambor da Carcaça	
15.1	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU	
15.2	Paralelismo Tambor da Carcaça – CTU	
15.3	Centragem Tambor da Carcaça – CTU	
16	Perímetro tambor do Belt	Belt
17	Expansão tambor do Belt	
18	Nivelamento tambor do Belt	
19	Posição Lasers do Belt - marcações de referência	
20.1	Centragem carretilhas Belt (posição traseira)	
20.2	Centragem carretilhas Belt (posição frontal)	
21.1	Folga transportadores Belt – Tambor do Belt	
21.2	Centragem transportadores Belt – Tambor do Belt	
21.3	Centragem Laser do belt - Tambor do Belt	
22.1	Concentricidade Tambor do Belt – Transfer ring	
22.2	Paralelismo Tambor do Belt – Transfer ring	
22.3	Centragem Tambor do Belt – Transfer ring	
23	Nivelamento Shaping Turret	Shaping
24	Radial run-out do veio do Shaping Turret	
25	Folga nas cabeça de expansão	
26	Posição Lasers do Shaping - marcações de referência	
27	Centragem Laser Shaping - Shaping Turret	
28	Centragem carretilhas Shaping (posição frontal)	
29.1	Concentricidade Shaping Turret – CTU	
29.2	Paralelismo Shaping Turret – CTU	
29.3	Centragem Shaping Turret – CTU	
30.1	Concentricidade Shaping Turret – Transfer Ring	
30.2	Paralelismo Shaping Turret – Transfer Ring	
30.3	Centragem Shaping Turret – Transfer Ring	
31	Perpendicularidade Roda Stripwinding – Shaping Turret	Alpha
32	Centragem Roda Stripwinding – Shaping Turret	
33	Posição sensor laser do Stripwinding	
34	Folga na roda do Stripwinding	
35	Folga nos rolos da calandra	
36	Folga no parafuso da extrusora	

Anexo H

Índice do Manual de MTC elaborado

ÍNDICE	
	<u>Página #</u>
A. Informação geral	A-1
1.1 Introdução	A-1
1.2 Periodicidade de MTC	A-1
1.3 Público-alvo do manual	A-1
1.4 Considerações.....	A-1
1.5 Pressupostos.....	A-2
1.6 Notas.....	A-2
1.7 Layout da máquina OTR#03.....	A-2
1.8 Lista de Procedimentos	A-3
B. Material necessário.....	B-1
2.1 Calibração dos instrumentos de medição utilizados	B-1
2.2 Lista de instrumentos de medição necessários ao MTC	B-2
2.3 Outros acessórios necessários.....	B-2
C. Descrição dos Procedimentos.....	C-1
Perímetro do tambor da carcaça	C-1
Expansão do tambor da carcaça	C-3
Nivelamento tambor da carcaça	C-5
Radial run-out do veio do tambor da carcaça	C-7
Centragem Tambor da Carcaça – guias da plataforma do Tambor da Carcaça	C-9
Verticalidade do Laser da plataforma do tambor da carcaça	C-11
Centragem Laser da plataforma do Tambor da Carcaça – Tambor da carcaça.....	C-13
Centragem carretilhas do Tambor da Carcaça (posição traseira).....	C-16
Centragem carretilhas do Tambor da Carcaça (posição frontal).....	C-18
Folga transportador Body Ply – Tambor da Carcaça	C-20
Centragem Servicer Body Ply - Tambor da Carcaça	C-22
Folga transportador Innerliner/transportador Squeegee – Tambor da Carcaça	C-24
Centragem transportador Innerliner/transportador Squeegee - Tambor da Carcaça.....	C-26
Folga transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça.....	C-28
Centragem transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça	C-30
Manual MTC para OTR#03	ii

Figura H.1: Índice do Manual de MTC elaborado (Página 1 de 3)

Folga transportadores Servicer Multilayer – Tambor da Carcaça	C-32
Centragem transportadores Servicer Multilayer – Tambor da Carcaça.....	C-34
Folga Bead holder – Anel de referência.....	C-36
Concentricidade Bead setter left – Tambor da Carcaça.....	C-38
Paralelismo Bead setter left – Tambor da Carcaça.....	C-40
Concentricidade Bead setter right – Tambor da Carcaça.....	C-42
Paralelismo Bead setter right – Tambor da Carcaça.....	C-44
Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU	C-46
Paralelismo Tambor da Carcaça – CTU	C-49
Centragem Tambor da Carcaça – CTU	C-51
Perímetro tambor do Belt.....	C-54
Expansão do tambor do Belt	C-56
Nivelamento tambor do Belt	C-58
Posição Lasers do Belt – marcações de referência	C-60
Centragem carretilhas Belt (posição traseira).....	C-62
Centragem carretilhas Belt (posição frontal).....	C-64
Folga transportadores Belt – Tambor do Belt	C-66
Centragem transportadores Belt - Tambor do Belt	C-68
Centragem Laser Belt – Tambor do Belt.....	C-70
Concentricidade Tambor do Belt – Transfer ring	C-73
Paralelismo Tambor do Belt – Transfer ring	C-76
Centragem Tambor do Belt – Transfer ring	C-78
Nivelamento Shaping Turret.....	C-81
Radial run-out do veio do Shaping Turret	C-83
Folga nas cabeça de expansão	C-85
Posição Lasers do Shaping – marcações de referência	C-87
Centragem Laser Shaping – Shaping Turret.....	C-89
Centragem carretilhas Shaping (posição frontal)	C-91
Concentricidade Shaping Turret – CTU	C-94
Paralelismo Shaping Turret – CTU	C-97
Centragem Shaping Turret – CTU	C-99
Concentricidade Shaping Turret – Transfer Ring	C-102
Paralelismo Shaping Turret – Transfer Ring	C-105
Centragem Shaping Turret – Transfer Ring	C-107

Figura H.2: Índice do Manual de MTC elaborado (Página 2 de 3)

Perpendicularidade Roda Stripwinding – Shaping Turret.....	C-111
Centragem Roda Stripwinding – Shaping Turret.....	C-114
Posição sensor laser do Stripwinding	C-117
Folga na roda do Stripwinding	C-119
Folga nos rolos da calandra	C-121
Folga no parafuso da extrusora	C-123
D. Movimentos/posições pré-programados para MTC.....	D-1

Figura H.3: Índice do Manual de MTC elaborado (Página 3 de 3)

Anexo I

Descrição do Procedimento nº15.1: Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU

3.0 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS					
Nº	15.1	Título	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU		
Descrição	Verificação da concentricidade do tambor da carcaça com a CTU				
Duração estimada	25 minutos	Nº técnicos necessários	2	Periodicidade de inspeção	6 meses
Instrumentos necessários					
- Comparador (c/ extensão) e suporte - Aumentos de comparador (2x) - Cabo de elevação para comparador					
Instruções do procedimento					
1. Abrir a CTU para a posição de MTC 1 [ver capítulo 4]; 2. Colocar o tambor da carcaça na posição de transferência para a CTU; 3. Verificar a posição do carro relativamente às marcações do chão; 4. Ajustar a posição do carro relativamente às marcações através do ajuste dos parâmetros de máquina; 5. Montar o comparador na extremidade esquerda do tambor da carcaça, colocando a ponta do comparador numa das placas retificadas do anel nº1, como mostra a Figura 2; 6. Montar cabo de elevação no comparador; 7. Colocar comparador a zero;					

Manual MTC para OTR#03
C-46

Figura I.1: Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU (Página 1 de 3)

3.0 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

Nº	15.1	Título	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU
8. Premir o botão do cabo de ligação para recolher a ponta de contacto do comparador. Rodar o tambor da carcaça exatamente 90° e efetuar a leitura do valor no comparador. Registrar medição; 9. Repetir o procedimento anterior para 90°, 180° e 270° relativamente à posição inicial. Registrar os valores obtidos para cada uma das posições (Y1=0, Y2, Y3, Y4). Nota: Repetir procedimento análogo com o comparador na extremidade esquerda do tambor (em contacto com o anel nº7)			

Manual MTC para OTR#03
C-47

Figura I.2: Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carcaça - CTU (Página 2 de 3)

3.0 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

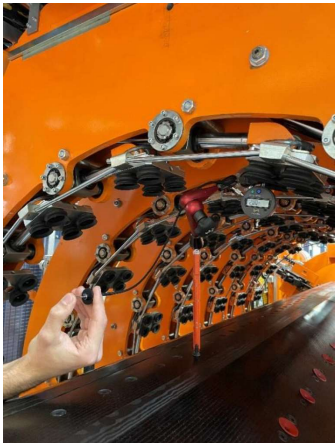
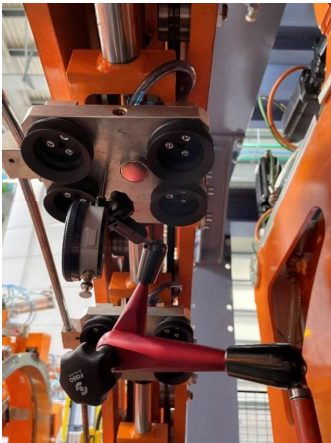
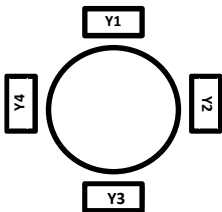
Nº	15.1	Título	Concentricidade Tambor da Carça – CTU
Imagens descritivas			
 Figura 1  Figura 2  Figura 3 – esquematização das posições de medição do tambor da carça. Nota: a placa escolhida para a posição Y1 pode ser qualquer uma das 16. Apenas é necessário que estejam a 90º umas das outras.			
Valores a registar			
Y1=0, Y2, Y3, Y4			
Tolerância admitida			
Y1-Y3 ≤ 4 mm		Y2-Y4 ≤ 4 mm	

Figura I.3: Descrição do Procedimento nº15.1 - Concentricidade Tambor da Carça - CTU (Página 3 de 3)

Anexo J

Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona *Carcass*

MTC - OTR#03						ZONA CARCASS			
Nº	Descrição	Nºregistro			Tolerância		Valor Medido	Valor Corrigido	Observações
					critério	tolerância			
1	Perímetro tambor da carcaça	1.1		esquerda	MAX-MIN	2 mm			
		1.2		centro					
		1.3		direita					
2	Expansão tambor da carcaça	2.1		esquerda	MAX-MIN	2 mm			
		2.2		centro					
		2.3		direita					
3	Nivelamento tambor da carcaça	3				0,5 mm/m			
4	Radial run-out do veio do tambor da carcaça	4				± 2 mm			
5	Centragem Tambor da Carcaça – guias Carcass Machine	5				± 2 mm			
6.1	Verticalidade do Laser da plataforma do tambor da carcaça	6.1				n.a.			
6.2	Centragem Laser Carcass Machine - Tambor da carcaça	6.2.1				1 mm			
		6.2.2.1		lado esquerdo	X1-X2	±2 mm			
		6.2.2.2		lado direito					
		6.2.3.1		esquerdo	200-X1	± 1 mm			
		6.2.3.2		direito	200-X2	± 1 mm			
7.1	Centragem carretilhas Carcass Machine (posição traseira)	7.1.1	X1	esquerda-frente	X1-X3 ≤ 2mm				
		7.1.2	X2	direita-frente	X2-X4 ≤ 2mm				
		7.1.3	X3	esquerda-trás	250-X1≤1mm				
		7.1.4	X4	direita-trás	250-X2≤1mm				
7.2	Centragem carretilhas Carcass Machine (posição frontal)	7.2.1	X1	esquerda-frente	X1-X3 ≤ 2mm				
		7.2.2	X2	direita-frente	X2-X4 ≤ 2mm				
		7.2.3	X3	esquerda-trás	250-X1≤1mm				
		7.2.4	X4	direita-trás	250-X2≤1mm				
8.1	Folga transportador Body ply – Tambor da Carcaça	8.1.1		esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		8.1.2		direita					
8.2	Centragem Servicer Body Ply - Tambor da Carcaça	8.2.1		esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		8.2.2		direita					
9.1	Folga Front Nose innerliner/Front Nose Squeegee – Tambor da Carcaça	9.1.1.1	Transportador Innerliner	esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		9.1.1.2		direita					
		9.1.2.1	Transportador Squeegee	esquerda					
		9.1.2.2		direita					
9.2	Centragem Front nose IL/Front nose SQ - Tambor da Carcaça	9.2.1.1	Transportador Innerliner	esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		9.2.1.2		direita					
		9.2.2.1	Transportador Squeegee	esquerda					
		9.2.2.2		direita					
10.1	Folga transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça	10.1.1	Transportador esquerdo	esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		10.1.2		direita					
		10.1.3	Transportador direito	esquerda					
		10.1.4		direita					
10.2	Centragem transportadores Steel Chafer – Tambor da Carcaça	10.2.1	Transportador esquerdo		X1-X2	± 2 mm			
		10.2.2	Transportador direito						

Figura J.1: Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona Carcass (Página 1 de 2)

11.1	Folga transportadores Servicer Multilayer – Tambor da Carcaça	11.1.1	Transportador esquerdo	esquerda	X1-X2	± 2 mm			
		11.1.2	Transportador direito	direita					
		11.1.3	Transportador esquerdo	esquerda					
		11.1.4	Transportador direito	direita					
11.2	Centragem transportadores Servicer Multilayer – Tambor da	11.2.1	Transportador esquerdo		X1-X2	± 2 mm			
		11.2.2	Transportador direito						
12	Folga Bead holder – Anel de referência	12.1	Left			1 mm			
		12.2	Right						
13.1	Concentricidade Bead setter left – Tambor da Carcaça	13.1.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 2 mm			
		13.1.2	Y2						
		13.1.3	Y3						
		13.1.4	Y4						
13.2	Paralelismo Bead setter left – Tambor da Carcaça	13.2.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 2 mm			
		13.2.2	Y2						
		13.2.3	Y3						
		13.2.4	Y4						
14.1	Concentricidade Bead setter right – Tambor da Carcaça	14.1.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 2 mm			
		14.1.2	Y2						
		14.1.3	Y3						
		14.1.4	Y4						
14.2	Paralelismo Bead setter right – Tambor da Carcaça	14.2.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 2 mm			
		14.2.2	Y2						
		14.2.3	Y3						
		14.2.4	Y4						
15.1	Concentricidade Tambor da Carcaça – CTU	15.1.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 4 mm			
		15.1.2	Y2						
		15.1.3	Y3						
		15.1.4	Y4						
15.2	Paralelismo Tambor da Carcaça – CTU	15.2.1	Y1		(Y1-Y3) (Y2-Y4)	± 4 mm			
		15.2.2	Y2						
		15.2.3	Y3						
		15.2.4	Y4						
15.3	Centragem Tambor da Carcaça – CTU	15.3.1	esquerda		X1-X2	± 2 mm			
		15.3.2	direita						

Figura J.2: Tabela para impressão para registo das medições relativas à zona *Carcass* (Página 2 de 2)