



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# Otimização dos processos da linha de fosfato numa empresa do setor automóvel

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e  
Gestão Industrial

**Autor**

**Carlos Miguel Bernardes Dinis**

**Orientador**

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

**Júri**

**Presidente** Professora Doutora José Manuel Baranda Ribeiro  
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Cristóvão Silva  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra  
Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Colaboração Institucional**

---



**MAHLE – Componentes de Motores, S.A.**

**Coimbra, julho, 2014**

“Os nossos desafios podem ser novos. Mas os valores de que depende o nosso sucesso, esses são antigos, esses são verdadeiros.”

Barack Obama  
20 de janeiro de 2009

Aos meus pais.  
Ao meu avô Joaquim.

## Agradecimentos

Com o este trabalho, mais um ciclo da minha vida académica fica completo. No entanto, esta caminhada não teria sido possível sem a ajuda, seja ela de forma direta ou indireta, de algumas pessoas, às quais não posso deixar de agradecer e prestar o meu reconhecimento.

Aos colegas do ISEC e da FCTUC, por todos os momentos de alegria e festa, mas também de trabalho e estudo que juntos partilhámos.

A todos professores que ao longo da minha vida me foram transmitindo conhecimento e que contribuíram para a minha formação, tanto académica como pessoal.

Aos meus amigos de sempre e para sempre (eles sabem quem são), por estarem sempre presentes quando mais preciso, seja na alegria ou nos momentos menos positivos, e que no fundo me tornaram uma pessoa melhor ao longo da vida.

A toda a família MAHLE – Componentes de Motores, S.A., por me terem dado a oportunidade de efetuar o estágio na empresa, pela ajuda e disponibilidade que me proporcionaram, em especial ao Engenheiro Luís Sobral, diretor do Departamento de Engenharia e aos operadores da linha de fosfato Bruno Monteiro, David Pessoa, Diogo Mendes, Lino Arribança e Pedro Fonseca.

Ao Engenheiro Ricardo Reis, meu orientador na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., o meu especial apreço e o meu muito obrigado por todo o seu esforço, dedicação, disponibilidade e conhecimentos que me transmitiu. Sem ele este trabalho não teria sido de todo possível.

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva, meu orientador na FCTUC, pela disponibilidade, ajuda e conselhos que me foi transmitindo.

A toda a minha família, que sempre me apoiou e incentivou, em especial aos meus avós, pelo exemplo de vida e de trabalho que me deram. Quero aqui deixar o meu especial reconhecimento e homenagem ao meu avô Joaquim, que infelizmente não viveu tempo suficiente para assistir ao desfecho deste trabalho, mas onde quer que ele esteja, sei que está orgulhoso e com aquela alegria que sempre nos brindou. Obrigado por tudo avô e um até sempre.

À minha namorada Vânia Santos, a mulher da minha vida que amo do fundo do meu coração, por todo o carinho e amor que me dá, por estar presente sempre que preciso, por me dizer as palavras certas nos momentos certos, pelos conselhos e incentivo. Obrigado por me deixares fazer parte da tua vida e que continuemos a partilhar momentos de felicidade por muitos e longos anos.

Por último, mas sobretudo, aos meus pais. Todas as palavras que eu possa aqui escrever ou dizer não conseguem fazer jus ao quanto lhes estou grato. Por todos os sacrifícios que fizeram, colocando sempre a sua felicidade e bem-estar de parte para me verem feliz e para nunca me faltar nada, por todo o amor, pelos conselhos, educação e lições de vida. Só espero um dia poder-lhes retribuir tudo o que fizeram por mim. Este trabalho é, por tudo isto, dedicado a eles. Obrigado pai! Obrigado mãe!

## Resumo

No atual contexto económico, a melhoria de processos produtivos por parte das empresas surge como uma necessidade, não só para reduzir tempos de produção e custos associados aos mesmos, mas também no sentido de tornar os seus produtos mais competitivos, de forma a dar uma resposta mais rápida às necessidades dos clientes.

O objetivo fundamental deste trabalho é a otimização dos processos da linha de fosfato numa empresa do setor automóvel, tendo como metas o aumento da produtividade e a melhoria do fluxo da referida linha.

No decorrer do trabalho foi feita uma avaliação da situação atual da linha de fosfato, a definição e acompanhamento de testes, o levantamento dos respetivos resultados, a definição de novos tempos de processo e a apresentação de novos ciclos/programas para os processos definidos, bem como uma estimativa do aumento de produtividade associada às alterações propostas.

Depois de realizados os testes, e com os novos tempos de processo propostos, é possível prever uma melhoria de fluxo da linha de fosfato em cerca de 16%, comparando com a produção de maio de 2014.

**Palavras-chave:** Otimização, linha de fosfato, tempos de processo, aumento de produtividade.

## **Abstract**

In the current economic climate, an improvement of productive processes by companies emerges as need, not only to reduce production times and associated costs, but also to make their products competitive, in order to provide a faster response to customer needs.

The main goal of this project is the optimization of the phosphate line processes in an automotive company, by increasing the productivity and improving of the flow of the referred line.

During this project it was made an assessment of the phosphate line's current situation, the definition and monitoring of tests and data collection, the definition of new process times and the presentation of new cycles/programs to the defined process, as well as an estimate of the increase in productivity relative to the proposed changes.

After performing the tests, and with the proposed new process times, it is possible to predict an improvement in flow of the phosphate line of approximately 16%, when compared to the production of May 2014.

**Keywords** Optimization, phosphate line, process times, increase in productivity.

## Índice

Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	vii
Simbologia e Siglas .....	viii
Simbologia.....	viii
Siglas .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MAHLE – COMPONENTES DE MOTORES, S.A.....	3
2.1. O Grupo MAHLE .....	4
2.2. Anéis de Pistão.....	4
2.2.1. Funções e tipos de anéis de pistão .....	6
3. A LINHA DE FOSFATO.....	8
3.1. Programas de decapagem.....	10
3.1.1. Programa 13.....	11
3.1.2. Programa 15.....	12
3.2. Programas de oxidação negra .....	12
3.2.1. Programa 23.....	13
3.2.2. Programa 25.....	13
3.3. Programas de fosfatização .....	14
3.3.1. Programa 32.....	15
3.3.2. Programa 35.....	16
3.3.3. Programa 36.....	16
3.4. Programas de lavagem .....	17
3.4.1. Programa 42.....	17
3.4.2. Programa 50.....	17
4. METODOLOGIA APLICADA .....	18
4.1. Formação inicial da linha/processos .....	18
4.2. Avaliação da situação atual.....	18
4.3. Definição e acompanhamento de testes .....	19
4.4. Levantamento de resultados.....	21
4.5. Apresentação de soluções .....	21
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	22
5.1. Ganhos obtidos por programa.....	22
5.2. Ganho de produtividade.....	24
6. CONCLUSÕES .....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
ANEXO A – Folhas de cálculo para acompanhamento dos testes.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. [Fonte: Intranet MAHLE] .....	3
Figura 2. Exemplo de um anel de pistão. [Fonte: Kolbenschmidt Pierburg, 2012] .....	5
Figura 3. Funções dos anéis de pistão: (a) Estanquicidade; (b) Controlo de óleo; (c) Dissipação de calor. [Fonte: Kolbenschmidt Pierburg, 2012] .....	6
Figura 4. Tipos de anéis de pistão. ....	7
Figura 5. Programas disponíveis atualmente na linha de fosfato. ....	10
Figura 6. Exemplos de anéis decapados na linha de fosfato. ....	11
Figura 7. Segmentos de aço nitretados com revestimento por oxidação negra. ....	13
Figura 8. Espaçador com revestimento por oxidação negra. ....	14
Figura 9. Anéis de ferro fundido depois de fosfatados. ....	16
Figura 10. Anéis de óleo de aço carbono fosfatados. ....	16



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resultados obtidos nos programas de decapagem.....	22
Tabela 2. Resultados obtidos nos programas de oxidação negra. ....	23
Tabela 3. Resultados obtidos nos programas de fosfatização. ....	23
Tabela 4. Resultados obtidos nos programas de lavagem. ....	24
Tabela 5. Resumo dos valores obtidos para o cálculo do ganho de produtividade. ....	25

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$H^+$  – Ião hidrogénio

*min* – Minutos

$Fe_2O_3$  – Óxido de ferro (III)

$Fe_3O_4$  – Óxido de ferro (II,III)

*s* – Segundos

### Siglas

ACAP – Associação Automóvel de Portugal

AL – Acidez Livre

AT – Acidez Total

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

INE – Instituto Nacional de Estatística, I.P.

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

PRG – Programa

PVD – Physical Vapor Deposition

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da dissertação em Engenharia e Gestão Industrial, que faz parte do plano curricular do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, tendo como base o estágio efetuado na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., empresa inserida no setor automóvel.

Segundo refere a ACAP, o setor automóvel é um dos mais dinâmicos e inovadores da economia portuguesa, representando 2,7% do total de emprego em Portugal e atingindo um volume de negócios de cerca de 15 mil milhões de euros anuais. Ainda segundo dados do INE relativos à produção industrial em 2012, este setor representa 7,4% do total da Indústria Transformadora.

Atendendo à atual conjuntura económica instalada em Portugal, aliada à importância do setor automóvel, é pois de extrema importância que as empresas deste setor estejam em constante melhoria, de forma a dar uma resposta mais rápida às exigências dos seus clientes. A revisão e otimização dos processos produtivos para uma melhoria de performance surge então como uma resposta natural para a redução de tempos e custos de produção, com vista ao aumento da produtividade.

A medição da performance, como referem Lisboa e Gomes (2006), tem naturalmente evoluído e acompanhado as transformações que se têm verificado nas organizações, assistindo-se a uma mudança de uma abordagem restrita e focalizada apenas no controlo de custos e na utilização quase exclusiva de indicadores financeiros, para uma abordagem mais abrangente focada de forma equilibrada nas várias dimensões da organização e ainda na sua envolvente externa, utilizando indicadores para medir a eficiência das suas atividades operacionais, habitualmente designados por indicadores de produtividade.

Stevenson (2007) define produtividade como o quociente entre um *output* (de um determinado bem ou serviço) e um *input* (carga de trabalho, materiais, energia ou outros recursos), equação (1), sendo esse quociente referente a uma única operação, departamento, organização ou mesmo a um país:

$$Produtividade = \frac{Output}{Input} \quad (1)$$

É pois neste sentido que surgiu o estágio proposto pela MAHLE – Componentes de Motores, S.A., com o objetivo principal a otimização dos processos de uma das suas linhas, neste caso a linha de fosfato, que sendo de um local por onde passa a grande maioria das peças que são produzidas, está sujeita a uma enorme carga de trabalho resultando num estrangulamento do sistema produtivo. O objetivo traçado pela empresa para este trabalho consistiu num aumento de produtividade na linha de fosfato em pelo menos 10%.

No que toca à estrutura deste relatório, este é iniciado com uma breve descrição da empresa e das suas atividades e produtos, seguida da apresentação da linha de fosfato, dos programas e processos envolvidos e da metodologia aplicada no decorrer do estágio. Finalmente são apresentados os resultados obtidos, possíveis melhorias e respetivas conclusões.

## 2. MAHLE – COMPONENTES DE MOTORES, S.A.

A MAHLE – Componentes de Motores, S.A., empresa englobada no setor automóvel, exerce a sua atividade nas instalações localizadas na Zona Industrial de Murtede, situada no concelho de Cantanhede, distrito de Coimbra (Figura 1). Atualmente a sua produção baseia-se em anéis de pistão para motores a gasóleo e gasolina, tanto para veículos ligeiros como para pesados.



**Figura 1.** Vista aérea da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. [Fonte: Intranet MAHLE]

A história da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. tem início no ano de 1989, quando o então grupo brasileiro Cofap apresenta uma proposta de investimento ao Governo Português. Em 1990 é constituída a empresa que inicia a sua atividade com a designação de Cofapeuropa, S.A., no entanto a produção é apenas iniciada em 1993 depois da equipa recrutada passar por um período de formação no Brasil. Já no ano de 1997, a empresa é então adquirida pelo Grupo MAHLE, iniciando-se assim um novo ciclo de investimento em novos processos de fabrico e alargamento a novos mercados. (Intranet MAHLE)

## **2.1. O Grupo MAHLE**

O Grupo MAHLE encontra-se entre os três maiores fabricantes mundiais de sistemas aplicados em motores de combustão interna, incluindo os seus componentes e periféricos.

A sua história remonta a 1920, na cidade de Estugarda, Alemanha. Os motores de combustão interna dessa época eram munidos de pistões de ferro fundido cinzento, feitos de uma liga espessa. Foi então que dois irmãos, Hermann e Ernst Mahle, decidiram inovar e na sua recém-fundada empresa começaram a utilizar uma liga leve no fabrico dos pistões, desenvolvendo em paralelo filtros de ar e de óleo de forma a manter o motor livre de poeiras e sujidade. Os irmãos Mahle acabaram, eventualmente por serem recompensados pela sua perseverança, pois os seus pistões de liga leve começaram rapidamente a dominar o mercado. (MAHLE Group a)

O espírito visionário e inovador dos irmãos Mahle foi apenas o ponto de partida para um legado que nos dias de hoje se traduz em 140 unidades fabris espalhadas por todo o mundo (América do Norte e América do Sul, Europa, África e Ásia), contando com cerca de 64000 colaboradores, e englobando dez centros tecnológicos localizados em locais considerados estratégicos, tendo em conta o mercado automóvel (dois em Estugarda, Detroit e Tóquio, Northampton, São Paulo, Pune e Xangai). (MAHLE Group c)

Em Portugal, o Grupo MAHLE está representado pela MAHLE – Componentes de Motores, S.A.

## **2.2. Anéis de Pistão**

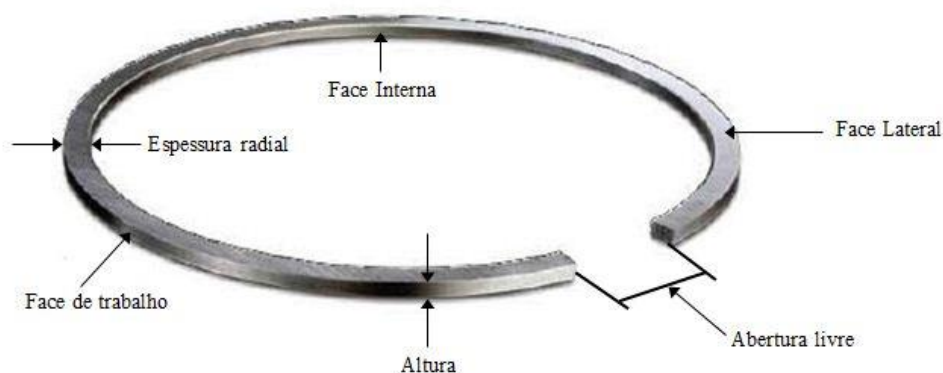
Toda a produção da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. diz respeito ao fabrico de anéis de pistão para motores de combustão interna.

Apesar da sua importância para o bom funcionamento dos motores de combustão interna, a ignorância ou pouco conhecimento sobre este componente é bastante frequente nos dias que correm. Nenhum outro componente é tão importante quando estão em jogo perdas de potência ou consumos de óleo no motor (Kolbenschmidt Pierburg, 2010).

No entanto, nos antigos motores a vapor os anéis de pistão não eram utilizados. As temperaturas e as pressões do vapor não eram tão elevados como os parâmetros correspondentes nos atuais motores de combustão interna. Um aumento da potência implicou temperaturas mais elevadas, causando uma maior dilatação térmica nos pistões.

Devido a este facto foi necessário recorrer a um vedante para diminuir a folga entre o pistão e a camisa do cilindro (Andersson et al., 2002). Foi pois neste sentido que os anéis de pistão começaram a fazer parte dos constituintes dos motores de combustão interna, que como qualquer outro componente foi sofrendo várias alterações ao longo do tempo, não só nas tecnologias, matérias-primas ou coberturas usadas no seu fabrico, como também nos diferentes tipos de anéis que foram surgindo, de forma a responder às exigências do mercado automóvel em termos de durabilidade, potência e à legislação cada vez mais apertada relativa às emissões de poluentes.

Na Figura 2 é possível observar um exemplo de um anel de pistão, bem como alguns termos relativos à sua configuração geométrica.



**Figura 2.** Exemplo de um anel de pistão. [Fonte: Kolbenschmidt Pierburg, 2012]

Relativamente às matérias-primas dos anéis de pistão, estas podem variar entre o ferro fundido e o aço. Os anéis fabricados em ferro fundido possuem propriedades mecânicas melhoradas devido aos elementos de liga acrescentados na sua composição, o que lhes confere elevada resistência ao desgaste e à fadiga, assim como excelentes condições de trabalho, mesmo em situações severas como temperaturas elevadas e pouca lubrificação. Os anéis de aço têm como principal característica o seu elevado módulo de elasticidade, permitindo projetar anéis com alturas reduzidas, sem risco de quebrarem (MAHLE Aftermarket).

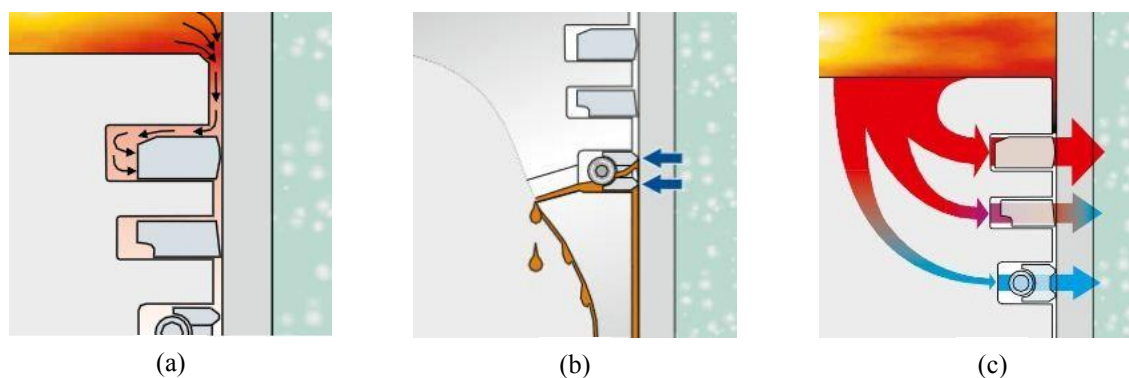
Ainda assim, e porque os anéis de pistão estão sujeitos às condições mais adversas possíveis, algumas tecnologias são aplicadas durante o seu fabrico. Neste caso são usadas as coberturas ou revestimentos, que não é mais que a aplicação na face de trabalho de materiais mais duros e resistentes que o material base dos anéis, com o objetivo de aumentar a resistência ao desgaste, prolongando assim a sua vida útil. Exemplos destas

técnicas são a aplicação de revestimentos de cromo, de ligas aplicadas por PVD ou por processos de tratamento por nitretação. Se o problema for a corrosão provocada pela exposição a ambientes húmidos então a solução passa por usar tratamentos superficiais, como é o caso da fosfatização ou a oxidação negra.

### 2.2.1. Funções e tipos de anéis de pistão

Como qualquer outro componente integrante de um motor de combustão interna, os anéis de pistão têm a sua função própria, ou neste caso, três funções principais:

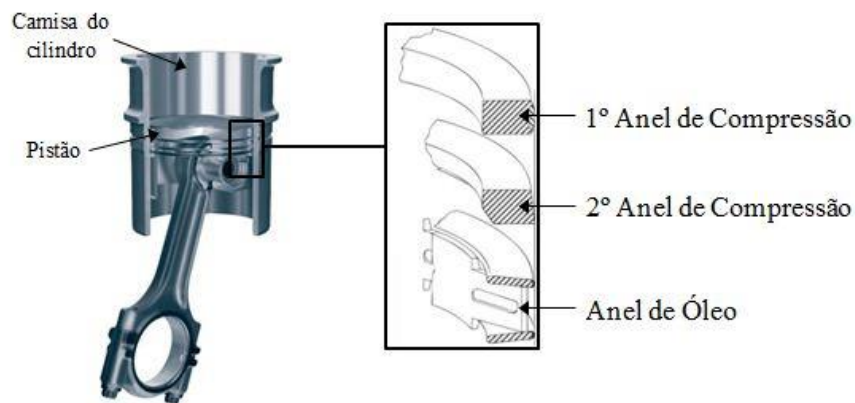
- **Estanquicidade**, para evitar a passagem dos gases resultantes da combustão, do interior do cilindro para o cárter do motor (Figura 3 – a);
- **Controlo de óleo**, de forma a garantir que o filme de óleo lubrificante se distribua uniformemente pelas paredes do cilindro, removendo assim o excesso de óleo para o cárter (Figura 3 – b);
- **Dissipação do calor** através das paredes do cilindro. Efetuam a troca de calor absorvido pelo pistão durante a combustão e transmitem-no para a parede do cilindro (MAHLE Aftermarket) (Figura 3 – c).



**Figura 3.** Funções dos anéis de pistão: (a) Estanquicidade; (b) Controlo de óleo; (c) Dissipação de calor.  
[Fonte: Kolbenschmidt Pierburg, 2012]

Para um melhor desempenho das funções descritas, os anéis de pistão podem assumir diferentes configurações físicas e geométricas, no entanto, e tendo em conta que os pistões dos motores atuais são maioritariamente compostos por um conjunto de três anéis, estes podem-se dividir em anéis de compressão e anéis de óleo, como demonstra a Figura 4.





**Figura 4.** Tipos de anéis de pistão.

O 1º anel de compressão tem como principais tarefas a vedação da câmara de combustão e a dissipação de calor. Já o 2º anel de compressão (anel raspador ou Napier) é responsável por raspar o excesso de óleo na parede do cilindro e também auxiliar na troca de calor (MAHLE Aftermarket). Por último, ao anel de óleo cabe a tarefa de controlar o excesso de óleo lubrificante, sendo que pode assumir a configuração de uma peça (apenas o anel), duas peças (conjunto anel e mola) ou três peças (conjunto de dois segmentos e um espaçador).

### 3. A LINHA DE FOSFATO

O estágio realizado na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., como foi referido anteriormente, teve como objetivo a otimização da linha de fosfato.

A linha de fosfato é o local onde são efetuados os tratamentos superficiais aos anéis de pistão produzidos na fábrica. A maioria das peças, em determinada altura do seu processo de fabrico, passam pela referida linha, existindo neste local uma carga de trabalho bastante significativa, resultando assim num estrangulamento para o sistema produtivo da empresa.

Os tratamentos superficiais que são efetuados têm como objetivo principal aplicar um revestimento nos anéis de pistão para que estes ganhem uma proteção extra contra a oxidação causada por exposição a ambientes húmidos. A oxidação é um tipo de corrosão, sendo que esta é definida por Shreir (1976a) como uma deterioração não desejada de metais ou outras ligas, ou seja, uma interação entre o metal e o meio-ambiente que vai afetar de forma adversa as suas propriedades. Além disso, segundo Gentil (2007), a corrosão é, em geral, um processo espontâneo que transforma constantemente os materiais metálicos, de tal forma que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que se destinam. Apesar de Fontana (1987) referir que o método mais comum para a prevenção do aparecimento de corrosão estar na escolha adequado do tipo de metal ou liga para o fim pretendido, o controlo da mesma deve ser um fator a ter em conta quando se lida com metais, caso contrário poderá resultar em danos económicos, ambientais ou mesmo humanos para as empresas, dos quais Valente e Lobo (2000) destacam os seguintes:

- Prejuízos nos processos de instalação, reparação e substituição de peças ou equipamentos;
- Risco de danos pessoais devido a derrames ou fraturas mecânicas;
- Perda de produto e /ou de eficiência na linha de produção;
- Publicidade negativa junto do cliente;
- Necessidade de sobredimensionamento;
- Contaminação ambiental.

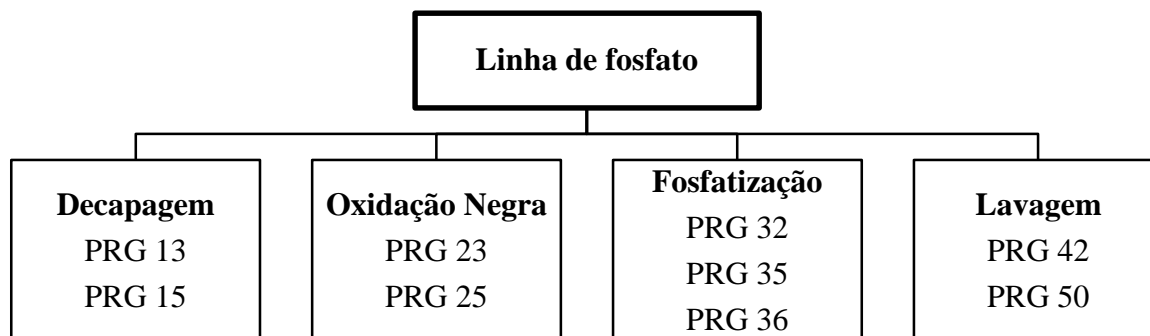
De uma forma geral, a linha de fosfato é composta por um conjunto de tanques, que contêm banhos com determinadas propriedades físicas e químicas, onde os anéis são

mergulhados durante um período de tempo definido. Nos tanques, consoante o programa que for solicitado, poderão ocorrer operações de desengraxe (ou desengorduramento) e decapagem (onde são removidos óleos, sujidades e oxidações resultantes de atividades anteriores), tratamentos superficiais de fosfatização ou de oxidação negra e operações de passivação e secagem (onde é efetuado o tratamento final às peças), existindo também tanques de lavagem de anéis entre as operações descritas. No entanto, os únicos tratamentos comuns a todos os programas da linha de fosfato são o desengraxe e a secagem.

Os operadores da linha efetuam as operações de carga e descarga dos carros de transporte de anéis e introduzem no *software* disponível o programa que irá ser executado. Uma vez que poderão existir várias cargas, em diferentes programas, a processar em simultâneo, e que cada tanque comporta apenas uma carga de cada vez, é o referido *software* que define o momento em que as peças entram na linha de forma a não existirem conflitos, ou seja, cargas com instantes de tempo coincidentes num determinado tanque. Este facto é bastante importante, pois não são aconselháveis tempos de espera entre diferentes tratamentos ou anéis a permanecerem nos tanques para além do tempo definido, podendo haver o risco das peças apresentarem indícios de oxidação ou sofrerem ataque químico.

Antes de efetuarem qualquer carga é importante os operadores verificarem o magnetismo dos anéis com um medidor próprio para o efeito e procederem à sua desmagnetização se tal for necessário, caso contrário as anéis ficam encostados, formando-se bolhas de óleo onde o tratamento a que se vão sujeitar não irá atuar.

Atualmente existem nove programas disponíveis na linha de fosfato, podendo estes serem divididos em quatro grupos distintos, consoante o tipo de tratamento a que os anéis de pistão irão ser sujeitos, a saber: programas de decapagem, programas de oxidação negra, programas de fosfatização e programas de lavagem. Na Figura 5 é possível observar de forma esquematizada todos os programas da linha e a forma como se encontram divididos.



**Figura 5.** Programas disponíveis atualmente na linha de fosfato.

Os programas têm diferentes tempos de ciclo, assim como diferentes conjuntos de tanques onde a carga de anéis é mergulhada. Estas informações estão registadas no *software* da linha de fosfato, sendo todos os processos controlados de forma automática pelo mesmo. Qualquer alteração que se deseje efetuar, como por exemplo alteração de programas existentes, informações relativas aos banhos ou introdução de novos programas, terá de ser solicitada à empresa fornecedora do *software*.

### 3.1. Programas de decapagem

Nos programas de decapagem da linha de fosfato da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. é onde se efetua um tratamento final aos anéis de pistão, com o objetivo de remover qualquer sujidade ou oxidação que possa existir nas peças.

Apesar de poder ser feita por ação mecânica, a decapagem usada na linha de fosfato é realizada por ação química, mais propriamente usando uma decapagem ácida. Esta, segundo Gentil (2007) consiste em imergir as peças ou componentes a serem tratados em soluções ácidas, que contêm inibidores de corrosão, sendo fundamental após a decapagem uma lavagem, de preferência com água corrente, para eliminar totalmente o ácido.

Na Figura 6 é possível observar exemplos de anéis de pistão decapados na linha de fosfato.



**Figura 6.** Exemplos de anéis decaçados na linha de fosfato.

No decorrer dos programas de decapagem podem ainda surgir vários problemas que, por diferentes motivos, vão interferir com a qualidade que seria de esperar nos anéis de pistão sujeitos a um tratamento de decapagem. Destacam-se então os seguintes problemas:

- **Sujidade** (peças com resíduos de óleo resultantes de processos anteriores e que não são removidos no desengraxe);
- **Resíduos do produto passivante** (usado durante os programas de decapagem);
- **Oxidação** (podendo ter origem na concentração deficiente do banho passivante ou em contaminação de águas dos tanques de lavagem);
- **Humidade** (se no final do programa as peças não ficam bem secas);
- **Decapagem deficiente** (se a concentração do tanque de decapagem não estiver dentro do que é pretendido, o tratamento não é efetuado corretamente, podendo mesmo existir ataque químico às peças).

Atualmente estão disponíveis dois programas de decapagem na linha de fosfato (programa 13 e programa 15), sendo usados, de uma maneira geral, conforme a matéria-prima das peças.

### **3.1.1. Programa 13**

O programa 13 é usado para decapar os anéis de ferro fundido, sendo também o programa mais utilizado na linha fosfato, representando cerca de 60% de taxa de ocupação da mesma. Por esta razão, as melhorias em termos de tempos de processos que

eventualmente se consiga obter neste programa serão as que mais impacto irão ter em termos de aumento de produtividade da linha.

### **3.1.2. Programa 15**

Os anéis de aço são decapados no programa 15. Este é em tudo semelhante ao programa 13, diferindo apenas no tempo mais reduzido em que as peças estão mergulhadas no tanque de decapagem. Atualmente é apenas usado em testes ou pequenas amostras de anéis, sendo por isso poucas as vezes que se recorre a este programa na linha de fosfato.

## **3.2. Programas de oxidação negra**

Os revestimentos de óxidos em aço podem ser preparados por oxidação ao ar a altas temperaturas, ou por imersão em banhos constituídos por soluções alcalinas, a quente. Estas capas podem ser de diferentes cores (azuis, castanhas ou pretas), e consistem basicamente em  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Valente e Lobo, 2000).

Na linha de fosfato da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. é usada a oxidação negra, ou preteamento, através da imersão dos anéis num banho, formando-se uma capa de cor preta, como sugere o nome do tratamento. Essa capa, além de ser usada como componente estética, oferece uma maior proteção às peças contra a corrosão. O controlo da temperatura assume assim uma grande importância, pois só entre  $135^\circ\text{C}$  e  $140^\circ\text{C}$  é que se forma o  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , também designado por magnetita, um óxido de ferro protetivo de cor negra. Abaixo ou acima deste valor, forma-se o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ou hematita, um óxido de ferro corrosivo.

Relevante é ainda o facto de, antes do tratamento da oxidação negra, as peças passarem pelos tanques de desengraxe e de decapagem, para limpar e preparar a superfície dos anéis. O objetivo deste pré-tratamento é, segundo Gentil (2007), remover a superfície de impurezas ou sujidades que possam provocar falhas no revestimento que irá ser aplicado, promovendo assim a sua aderência ao substrato.

O principal problema a que poderão estar sujeitas as peças revestidas por meio de oxidação negra, é precisamente a oxidação que se forma quando o respetivo banho não se encontra na gama de temperaturas entre os  $135^\circ\text{C}$  e os  $140^\circ\text{C}$ , sendo que também é importante que as peças se encontrem isentas de humidade no final do tratamento.

Os programas de oxidação negra da linha de fosfato são usados exclusivamente no revestimento de segmentos e espaçadores, constituintes dos anéis de óleo de três peças.

### **3.2.1. Programa 23**

Este programa é usado no tratamento superficial dos segmentos fabricados na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., tanto nos de aço nitretados como nos de aço cromados. Exemplos de segmentos com revestimento por oxidação negra podem ser visualizados na Figura 7.

De um modo geral o programa consiste num tratamento inicial através de um desengraxe e de uma decapagem, seguido da oxidação negra e concluindo com um tratamento final de passivação e de secagem.



**Figura 7.** Segmentos de aço nitretados com revestimento por oxidação negra.

### **3.2.2. Programa 25**

Os espaçadores dos anéis de óleo de três peças recebem o revestimento por oxidação negra através do programa 25 da linha de fosfato. Este difere apenas do programa 23 no tempo de secagem. Os espaçadores são carregados em bobines na linha e devido à sua configuração geométrica, necessitam de um tempo mais elevado no secador.

Na Figura 8 é possível observar um espaçador com tratamento superficial por oxidação negra.



**Figura 8.** Espaçador com revestimento por oxidação negra.

### 3.3. Programas de fosfatização

A fosfatização, ou fosfatação de metais, é um tratamento que tem sido utilizado com bastante sucesso. O revestimento que se forma consiste numa fina camada de cristais de fosfato, que se ligam à superfície do metal. Este, não sendo por si só um meio de resistência contra a corrosão, acaba por ser uma excelente base para óleos, ceras ou tintas, ajudando assim a prevenir o aparecimento de ferrugem nas peças (Roberge, 2008). Além disso, os cristais que se vão soltando da superfície dos anéis fosfatados auxiliam a tarefa do óleo lubrificante aquando do movimento ascendente e descendente dos pistões do motor.

O método mais usual para aplicação de revestimentos de fosfato é por imersão, usando uma sequência de tanques que incluem as etapas de desengorduramento e fosfatização, com as suas respetivas lavagens (Shreir, 1976b). Quando se mergulha um metal num banho de fosfato, verifica-se um ataque ácido ao metal-base, devido à presença de iões  $H^+$  (acidez livre) (Gentil, 2007). Um pré-tratamento imediatamente antes do banho fosfatante tem de ser efetuado, de forma a ativar a superfície ferrosa, criando pontos de iniciação em quantidade suficiente para criar os grãos de fosfato. A parte final do tratamento engloba um banho passivante seguido da secagem (tal como acontece no caso de estudo) ou oleamento das peças. É de realçar o uso frequente de aceleradores nos banhos de fosfato para aumentar a velocidade da reação. Visualmente, os anéis deverão assumir uma tonalidade cinzenta, característica dos revestimentos por fosfatização, com uma camada uniforme e isenta de falhas.



A desmagnetização e a limpeza das peças antes do tratamento assumem uma importância crucial para o sucesso do mesmo, pois segundo Gentil (2007), gorduras, óleos, óxidos, etc. atuam de maneira adversa na aderência, continuidade e durabilidade do revestimento. Da mesma forma, as propriedades químicas do banho de fosfato têm de ser controladas e, caso necessário, ajustadas com alguma frequência, nomeadamente a acidez livre (quantidade de produto capaz de produzir a reação química na superfície do anel), a acidez total, a relação acidez total/acidez livre e o teor em ferro. Há que destacar também a formação de lamas à superfície do banho de fosfato após cada carga mergulhada no mesmo, sendo necessário garantir que estas sedimentem antes de efetuar nova carga.

Em relação aos problemas que poderão surgir durante a fosfatização e que se irão refletir na qualidade final das peças, podem-se destacar os seguintes:

- **Grão demasiado grosso** (devido à concentração deficiente do banho ativador);
- **Falhas de fosfato** (quando as peças não são bem limpas e desmagnetizadas antes de serem carregadas na linha);
- **Sujidade** (quando não é feito um correto desengorduramento das peças);
- **Oxidação** (devido ao baixo teor em ferro no banho de fosfato);
- **Ataque químico** (quando a relação AT/AL não está dentro do especificado);
- **Humidade** (se no final do programa os anéis não se encontrarem totalmente secos).

Os programas que atualmente se encontram disponíveis na linha de fosfato da MAHLE – Componentes de Motores, S.A. são os programas 32, 35 e 36.

### **3.3.1. Programa 32**

A fosfatização dos anéis de pistão de ferro fundido que recebem este tipo de tratamento (Figura 9) é efetuada no programa 32 da linha de fosfato. Este programa consiste num desengraxe antes do banho de fosfato, terminando com uma passivação e respetiva secagem.



**Figura 9.** Anéis de ferro fundido depois de fosfatados.

### **3.3.2. Programa 35**

Este programa é apenas usado para a fosfatização de um tipo específico de anéis de óleo, neste caso de aço carbono. Difere do programa 32 pelo menor tempo em que as peças são mergulhadas no banho de fosfato, sendo que por esta razão os anéis apresentam uma tonalidade mais clara no final do tratamento, como é possível observar na Figura 10.



**Figura 10.** Anéis de óleo de aço carbono fosfatados.

### **3.3.3. Programa 36**

Finalmente, dentro dos programas de fosfatização, está também disponível o programa 36. Este difere no banho de fosfato usado para efetuar o tratamento, nomeadamente no tipo de acelerador que é adicionado. Apesar de resultar numa fosfatização mais eficaz, verifica-se uma maior formação de lamas relativamente ao banho de fosfato dos outros programas, além de que é necessário um controlo mais frequente das características

químicas do banho. Por estas razões, o programa 36 não é muito utilizado na linha de fosfato, sendo que apenas se recorre ao mesmo quando se pretende fosfatar um tipo de anel específico de aço carbono, pois devido às suas características não é possível efetuar este tratamento superficial com os outros dois programas existentes.

### **3.4. Programas de lavagem**

Os programas de lavagem disponíveis na linha de fosfato são os programas 42 e 50. Atualmente estes dois programas, apenas são usados como recurso, caso não seja possível lavar as peças nas máquinas de lavar disponíveis na fábrica, quer por estas se encontrarem danificadas ou em manutenção de banhos, quer em alturas de picos de produção.

#### **3.4.1. Programa 42**

Este programa no fundo serve para aplicar uma película protetora sobre a superfície dos anéis de pistão, que não podem ou não devem ser decapados, através de uma passivação, após estes inicialmente serem sujeitos a um desengraxe para remover óleos e gorduras resultantes de processos anteriores. A camada que se forma ajuda a prevenir o aparecimento de oxidação nas peças. Uma vez que o tratamento é aplicado em anéis antes de serem embalados, é pois fundamental que estes se encontrem isentos de humidade ao saírem do secador no final do programa.

#### **3.4.2. Programa 50**

O programa 50 é, não só o mais simples, mas também o que menos tempo de ciclo tem. Por esta razão, aliado ao facto de ser poucas vezes utilizado, representa muito pouco na carga de trabalho a que está sujeita a linha de fosfato. Neste programa, basicamente, os anéis passam pelo processo de desengraxe e respetivos tanques de lavagem, sendo no final secos.

## **4. METODOLOGIA APLICADA**

Neste capítulo é descrito, de forma geral, a metodologia seguida ao longo do estágio efetuado, ou seja, a estratégia seguida para a obtenção dos objetivos inicialmente propostos.

Resumidamente, a metodologia passou por uma formação inicial da linha de fosfato e dos processos envolvidos, seguida de uma avaliação da situação atual. A partir deste ponto foram definidos os testes e procedeu-se ao seu acompanhamento. Finalmente, depois do levantamento e análise dos resultados obtidos foram apresentadas soluções.

### **4.1. Formação inicial da linha/processos**

Antes de efetuar qualquer estudo, no sentido de otimizar uma linha de produção é necessário um conhecimento prévio de todos os processos que estão envolvidos na mesma. Assim, esta fase inicial diz respeito à formação da linha do fosfato e respetivos programas que lhes estão associados, nomeadamente de todas as operações e processos abrangidos, tempos de ciclo, características dos banhos, possíveis problemas entre outras questões fundamentais. Esta formação efetuou-se tanto a nível teórico, como prático, através da observação da linha em funcionamento.

### **4.2. Avaliação da situação atual**

Depois da formação inicial da linha de fosfato, realizou-se uma avaliação da situação atual, ou seja, dentro dos programas disponíveis na referida linha, perceber onde se encontram os gargalos e determinar possíveis pontos de melhoria de forma a baixar os tempos de processo dos mesmos e assim aumentar o fluxo de produção da linha.

### 4.3. Definição e acompanhamento de testes

Nesta fase do projeto, avaliou-se a forma como se iria atuar relativamente às características da linha de fosfato avaliadas no ponto anterior. Assim, a definição dos testes a efetuar e acompanhamento dos mesmos, será talvez a etapa mais importante para a concretização dos objetivos traçados.

Desta forma, decidiu-se que os testes a realizar nos diferentes programas disponíveis seriam por tentativa e erro, no sentido de baixar os tempos nos vários tanques da linha de fosfato onde os anéis são mergulhados. Em cada programa avaliou-se em que tanques se iria atuar e quanto tempo se poderia retirar em cada um, através de critérios como: maior tempo de imersão, a sua importância para o tratamento em causa ou a forma como afetam a qualidade final das peças, até chegar a um valor considerado aceitável. Além disso determinaram-se que parâmetros se iriam avaliar em cada programa para avaliar o sucesso ou insucesso de determinado teste.

Assim, tendo em conta a situação atual da linha de fosfato e programas disponíveis, optou-se por tentar reduzir tempo nos seguintes tanques:

- **Programas 13 e 15 – tanques de desengraxe e de secagem** (por serem os pontos onde os anéis permanecem mais tempo);
- **Programa 23 – tanque de oxidação negra** (por ser o tanque onde as peças ficam mais tempo mergulhadas e porque no revestimento por oxidação negra depois de toda a superfície dos anéis receber a camada protetora, deixa de ser necessário estes continuarem imersos no banho);
- **Programa 25 – tanque de oxidação negra** (apesar do local onde as peças estão mais tempo ser o tanque de secagem, optou-se por apenas tentar reduzir tempo no tanque de oxidação negra, pelas mesmas razões do programa 23, isto porque com o tempo de secagem atual as bobines de espaçadores saem esporadicamente com indícios de humidade);
- **Programa 32 – tanques de fosfatização e passivação** (no tanque de fosfato, comparando com os outros programas de fosfatização, é onde se verifica maior tempo de imersão das peças no banho, já na passivação foi possível constatar que as peças fosfatadas permanecem demasiado tempo neste tanque em comparação com o anel branco – sem revestimento

superficial. Sendo a camada de fosfato por si só uma camada protetora, não faz muito sentido a diferença de tempo que se verifica).

- **Programa 35 – tanques de desengraxe, de passivação e de secagem** (nos tanques de desengraxe e de secagem por serem os locais onde os anéis perdem mais tempo e por se considerar não serem etapas críticas no processo, em relação ao tanque de passivação pelas razões apontadas no programa 32).
- **Programa 36 – tanques de passivação e de secagem** (relativamente ao tanque de passivação pelas mesmas razões dos outros programas de fosfatização, quanto ao tanque de secagem por ser o tanque do programa 36 onde as peças permanecem mais tempo).
- **Programa 42 – tanques de desengraxe e de secagem** (pelas mesmas razões apontadas nos programas 13 e 15).
- **Programa 50 – tanque de secagem** (é o local onde os anéis permanecem mais tempo e, sendo um programa com um tempo de ciclo muito reduzido não deixa muita margem de manobra).

Decidiu-se também iniciar os testes nos programas de lavagem e decapagem, não só por serem mais simples, mas também por a avaliação dos parâmetros ser feita apenas a nível visual e logo após as peças acabarem o tratamento, ao contrário dos programas de oxidação negra e fosfatização que implicam alterações mais significativas nas características dos anéis, podendo ser necessário avaliar certos parâmetros a nível microscópico.

Depois de definidos os testes para cada programa, foi necessário acompanhar o desenrolar dos mesmos. Para este efeito foi criada uma folha de cálculo no *Excel*, apresentada no Anexo A. É possível observar no lado esquerdo a identificação do programa em estudo, testes programados e uma tabela a identificar o tipo de anel e parâmetros avaliados (sendo em cada um marcado OK como teste positivo ou NOK como teste negativo), a identificação interna do número de anel e de obra e data em que o teste foi efetuado. Por razões de confidencialidade, tanto os testes programados, como as próprias tabelas não se encontram preenchidas. Do lado direito da folha de cálculo foi construído um esquema da linha com as setas e os tanques coloridos, que representam a sequência de cada programa, estando marcados a vermelho os tanques onde foram definidos testes a efetuar. De novo, e por razões de confidencialidade, o referido esquema, tal como os nomes dos tanques, não se encontra de acordo com a realidade.

Uma vez que a linha trabalha de forma automática, não existindo a hipótese de efetuar a alteração de qualquer tempo diretamente no *software* (pelas razões apontadas no capítulo 3) todos os testes foram realizados em modo manual por parte dos operadores.

#### **4.4. Levantamento de resultados**

Depois de efetuados todos os testes definidos procedeu-se ao levantamento dos resultados, de forma a avaliar e validar os tempos alterados em cada processo. É uma etapa importante pois é nesta fase que são definidas as modificações a efetuar consoante os resultados obtidos e também onde é feita uma estimativa do ganho de produtividade de forma a avaliar a viabilidade da implementação de novos programas ou tempos de processo.

#### **4.5. Apresentação de soluções**

Finalmente, depois de analisados e validados todos os testes efetuados e, caso sejam definidas alterações a realizar nos programas da linha de fosfato, é necessário apresentar as soluções propostas e ganhos de tempo e de produtividade associados, de forma a estudar a maneira como serão implementadas na referida linha, alterar as respetivas normas internas referentes aos procedimentos envolvidos e atribuir responsabilidades às pessoas incluídas no projeto de otimização da linha de fosfato.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados finais obtidos nos testes efetuados ao longo do estágio realizado na MAHLE – Componentes de Motores, S.A. são apresentados neste capítulo. No fundo, estes resultados representam as propostas de melhoria para o aumento do fluxo na linha de fosfato. Para cada programa são apresentados os tanques onde realmente se conseguiu reduzir tempo, bem como o ganho que esse tempo representa em relação ao tempo final. No final é feita uma estimativa do aumento de produtividade, tendo em conta a carga de trabalho que a linha está sujeita.

### 5.1. Ganhos obtidos por programa

Com os testes efetuados nos dois programas de decapagem, foi possível obter um ganho de 280s (4 min e 40s) em ambos, representando 16,76% em relação ao tempo total do programa 13 e 18,05% em relação ao programa 15, atuando para isso nos tanques de desengraxe e de secagem das peças. Na Tabela 1 é possível estes dados.

**Tabela 1.** Resultados obtidos nos programas de decapagem.

	<b>PRG 13</b> (Ferro Fundido)	<b>PRG 15</b> (Aço)
<b>Tanques</b>	Desengraxe Secagem	Desengraxe Secagem
<b>Ganho (s)</b>	280	280
<b>Ganho (%)</b>	16,76	18,05

A Tabela 2 diz respeito aos ganhos obtidos nos programas de oxidação negra, sendo que em ambos o ganho foi de 210s. Apesar dos testes terem sido efetuados apenas no tanque de oxidação negra, este tempo representa 10,04% do tempo total do programa 23 e 7,16% do programa 25.



**Tabela 2.** Resultados obtidos nos programas de oxidação negra.

	<b>PRG 23</b> (Segmentos)	<b>PRG 25</b> (Espaçadores)
<b>Tanques</b>	Oxidação negra	Oxidação negra
<b>Ganho (s)</b>	210	210
<b>Ganho (%)</b>	10,04	7,16

Relativamente aos programas de fosfatização, no programa 32 com redução de tempo no tanque de passivação, foi possível obter um ganho de 180s, o que representa 11,25% do tempo total de ciclo. Já no programa 35, conseguiu-se um ganho de 207s com reduções de tempo nos tanques de desengraxe, passivação e secagem, representando assim 11,06% do seu tempo total. Quanto ao programa 36, apesar dos testes definidos para o mesmo, optou-se pela não validação dos resultados, logo não se obteve ganhos neste programa. Na Tabela 3 é possível observar, de forma resumida, os resultados obtidos para os programas de fosfatização disponíveis.

**Tabela 3.** Resultados obtidos nos programas de fosfatização.

	<b>PRG 32</b> (Ferro Fundido)	<b>PRG 35</b> (Óleo Aço Carbono)	<b>PRG 36</b> (Aço Carbono)
<b>Tanques</b>	Passivação	Desengraxe Passivação Secagem	-
<b>Ganho (s)</b>	180	207	-
<b>Ganho (%)</b>	11,25	11,06	-

Finalmente, através da Tabela 4, é possível constatar que no programa 42 ao reduzir 505s, nos tanques de desengraxe e secagem, obtém-se um ganho de 25,15% em

relação ao tempo total do ciclo. Já no programa 50 apenas se atuou no tanque de secagem, conseguindo-se um ganho de 60s, ou seja, 6,08% em relação ao tempo total deste programa.

**Tabela 4.** Resultados obtidos nos programas de lavagem.

	<b>PRG 42</b> (Passivação)	<b>PRG 50</b> (Lavagem)
<b>Tanques</b>	Desengraxe Secagem	Secagem
<b>Ganho (s)</b>	505	60
<b>Ganho (%)</b>	25,15	6,08

## 5.2. Ganho de produtividade

Com o ganho de tempo obtido em cada programa, é possível estimar o aumento da produtividade que essas alterações irão provocar na linha de fosfato. Tendo como base o mês de maio de 2014 (por nenhuma razão específica, apenas por se tratar do mês anterior ao fim do estágio na empresa), calculou-se a carga de trabalho que cada programa representa na linha relativamente ao número total de cargas efetuadas (712 cargas), ou seja, a ocupação por programa, equação (2).

$$Ocupação\ por\ PRG = n^o\ cargas\ por\ PRG \times n^o\ total\ cargas \quad (2)$$

Com estes valores, multiplicados pela percentagem de ganhos de tempo conseguidos nos respetivos programas (ganho ponderado por programa), efetuou-se o cálculo de uma média ponderada para assim estimar o ganho em termos de produtividade, equação (3).

$$Ganho\ ponderado = \frac{\sum(Ganhos\ por\ PRG \times Ocupação\ por\ PRG)}{\sum\ Ocupação\ por\ PRG} \quad (3)$$

Na Tabela 5 é possível observar os valores obtidos para o nº de cargas efetuadas, a ocupação, ganho e ganho ponderado por programa.

**Tabela 5.** Resumo dos valores obtidos para o cálculo do ganho de produtividade.

	<b>PRG 13</b>	<b>PRG 15</b>	<b>PRG 23</b>	<b>PRG 25</b>	<b>PRG 32</b>	<b>PRG 35</b>	<b>PRG 36</b>	<b>PRG 42</b>	<b>PRG 50</b>
<b>Nº cargas</b>	431	2	39	11	68	65	5	82	9
<b>Ocupação p/ PRG (%)</b>	60,53	0,28	5,48	1,54	9,55	9,13	0,70	11,52	1,26
<b>Ganho p/ PRG (%)</b>	16,76	18,05	10,04	7,16	11,25	11,06	0	25,15	6,08
<b>Ganho ponderado p/ PRG (%)</b>	10,15	0,05	0,55	0,11	1,07	1,01	0	2,90	0,08

Assim, depois de efetuados todos os cálculos, chegou-se a um ganho ponderado de 15,91%, sendo este valor a referência para o ganho de produtividade esperado depois de efetuadas as alterações propostas.

## 6. CONCLUSÕES

Com a apresentação dos resultados finais do trabalho realizado ao longo do estágio efetuado na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., é possível constatar que os objetivos inicialmente traçados foram, em grande parte, alcançados.

De uma forma geral, conclui-se que com as alterações propostas nos tempos de processo dos vários programas disponíveis é possível obter uma melhoria no fluxo da linha de fosfato, traduzindo-se num aumento estimado de produtividade em cerca de 16%. Tendo em conta que o objetivo inicial tinha os 10% como valor mínimo de referência, é pois um ganho significativo em termos de produtividade. No entanto, estas alterações só serão possíveis de avaliar com maior certeza e rigor depois de aplicadas na prática, ou seja, depois de toda a produção da linha de fosfato ser feita em modo automático com todos os programas e respetivos tempos atualizados.

Os maiores ganhos relativamente ao tempo total de cada programa foram conseguidos no programa 42 (cerca 25%) e nos programas 13 e 15 (cerca de 17% e 18%, respetivamente). Tendo em conta que estes programas representam mais de metade da percentagem (cerca de 72%) de ocupação total da linha de fosfato, constata-se que os ganhos obtidos nestes programas foram fundamentais para o sucesso dos resultados finais.

Analisando de uma forma mais particular, nomeadamente os testes que foram definidos para os diferentes programas, é possível concluir que nos dois programas de decapagem os ganhos obtidos vão de encontro ao que era inicialmente esperado. Relativamente aos programas de oxidação negra, apesar de se ter ganho tempo significativo, ficou em aberto a possibilidade de reduzir um pouco mais de tempo no tanque testado, neste caso o de oxidação negra. Já nos programas de fosfatização, foi onde se verificaram as maiores diferenças, tendo em conta o que estava inicialmente definido e o que foi alcançado. Se no programa 35 (anéis de óleo de aço carbono), o desenrolar dos testes e respetivos resultados ficaram dentro do que era esperado, no programa 32 (anéis de ferro fundido) tomou-se a decisão de não avançar para os testes no tanque de fosfatização, pois sendo considerada uma etapa crítica neste processo, necessitava de mais tempo de estudo de forma a obter resultados consistentes. O programa 36, por ser dos programas menos solicitados na linha e, por terem existido alguns problemas (situação recorrente devido à instabilidade

característica do banho de fosfato deste programa) no decorrer dos testes, acabou por não ter sido alvo de intervenção, no entanto tal facto não é considerado relevante para os resultados finais, pois a sua ocupação da linha é pouco expressiva comparada com outros programas.

As diferenças registadas em relação ao que foi inicialmente previsto na fase de definição de testes poderão ser justificadas pelo facto de ser necessário respeitar as ordens de produção definidas, ou seja, para realizar determinado teste, muitas das vezes era necessário esperar até que chegasse a vez de dar entrada na linha a carga de anéis pretendida para análise. Tendo em conta a grande variedade de anéis de pistão associados aos diferentes programas, foi necessário realizar bastantes testes de forma a chegar a resultados consistentes, pelo que o tempo de estágio foi escasso para se conseguir efetuar todo o trabalho inicialmente previsto. Assim, as próximas etapas que serão realizadas por parte da empresa são as seguintes:

- Requisitar junto do fornecedor de *software* a atualização dos programas com os novos tempos de processo;
- Acompanhar as primeiras cargas, para verificar a efetividade das alterações nos programas;
- Alterar as normas e procedimentos referentes aos processos alterados.

Apesar de tudo, convém destacar que é viável a continuação deste estudo. No futuro, caso a empresa ache necessário otimizar um pouco mais a linha, poderão ser efetuados os testes definidos e que não foram alvo de análise, nomeadamente nos programas 23 e 25 (nova redução de tempo no tanque de oxidação negra), no programa 32 (redução de tempo no tanque de fosfatização) e no programa 36 (redução de tempo nos tanques de passivação e secagem).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersson, P., Tamminen, J. e Sandström, C.E. (2002), “Piston ring tribology – A literature survey”, VTT Industrial Systems, Espoo, Finlândia. Acedido a 20 de Junho de 2014 em: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2178.pdf>
- Associação Automóvel de Portugal (2009), “Conheça a importância do Sector Automóvel em Portugal”. Acedido a 18 de Junho de 2014 em: <http://www.acap.pt/conheca-a-importancia-do-sector-automovel-em-portugal.html?MIT=36493>.
- Fontana, M.G. (1987), “Corrosion Engineering”, 3ª Ed., McGraw-Hill.
- Gentil, V. (2007), “Corrosão”, 5ª Ed., LTC Editora, Rio de Janeiro, Brasil.
- Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2013), “Estatísticas da Produção Industrial 2012”, Lisboa, Portugal. Acedido a 18 de Junho de 2014 em: [http://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=210367027&att\\_display=n&att\\_download=y](http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=210367027&att_display=n&att_download=y)
- Kolbenschmidt Pierburg (2010), “Piston Rings for Combustion Engines”, 2ª Ed., Motor Service Technical Market Support, Heilbronn, Alemanha. Acedido a 20 de Junho de 2014 em: [http://download.ms-motor-service.com/ximages/ks\\_50003958-02\\_web.pdf](http://download.ms-motor-service.com/ximages/ks_50003958-02_web.pdf)
- Lisboa, J.V. e Gomes, C.F. (2006), “Gestão de Operações”, Vida Económica, Porto, Portugal.
- MAHLE Aftermarket, “Manual Técnico – Curso Mahle Metal Leve Motores de Combustão Interna”. Acedido a 20 de Junho de 2014 em: [http://mahle-aftermarket.com/C1256F7900537A47/vwContentByKey/W282DNFX142STUL\\_EN/\\$FILE/Manual-Tecnico-Curso-de-Motores-Miolo-846B-2.pdf](http://mahle-aftermarket.com/C1256F7900537A47/vwContentByKey/W282DNFX142STUL_EN/$FILE/Manual-Tecnico-Curso-de-Motores-Miolo-846B-2.pdf)
- MAHLE Group (a), “Data & facts”. Acedido a 19 de Junho de 2014 em: [http://www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/data\\_&\\_facts/](http://www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/data_&_facts/)
- MAHLE Group (b), “Innovation – the engine of success”. Acedido a 19 de Junho de 2014 em: [http://www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/mahle\\_chronicle/](http://www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/mahle_chronicle/)
- MAHLE Group (c), “Tech centers worldwide”. Acedido a 19 de Junho de 2014 em: <http://www.mahle.com/mahle/en/about-mahle/research-&-development/tech-centers-worldwide/>
- Roberge, P.R. (2008), “Corrosion Engineering: principles and practice”, McGraw-Hill.
- Shreir, L.L. (1976) (a), “Corrosion – Volume 1: metal/environment reactions”, 2ª Ed., Newnes-Butterworths.
- Shreir, L.L. (1976) (b), “Corrosion – Volume 2: corrosion control”, 2ª Ed., Newnes-Butterworths.
- Stevenson, W.J. (2007), “Operations Management”, 9ª Ed., McGraw-Hill.

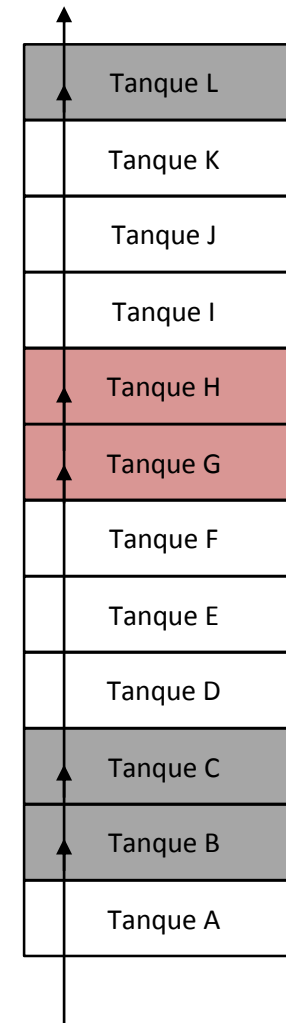
- Valente, A.J.M. e Lobo, V.M.M. (2000), “Corrosão: fundamentos, prevenção e efluentes”, ECEMEI, Rio Tinto, Portugal.
- Uhlig, H.H. (1971), “Corrosion and Corrosion Control: an introduction to corrosion science and engineering”, 2ª Ed., John Wiley & Sons Inc., E.U.A.

## ANEXO A – FOLHAS DE CÁLCULO PARA ACOMPANHAMENTO DOS TESTES

### Programa 13 – Decapagem

Teste 1 –  
Teste 2 –  
Teste 3 –  
Teste 4 –

Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					

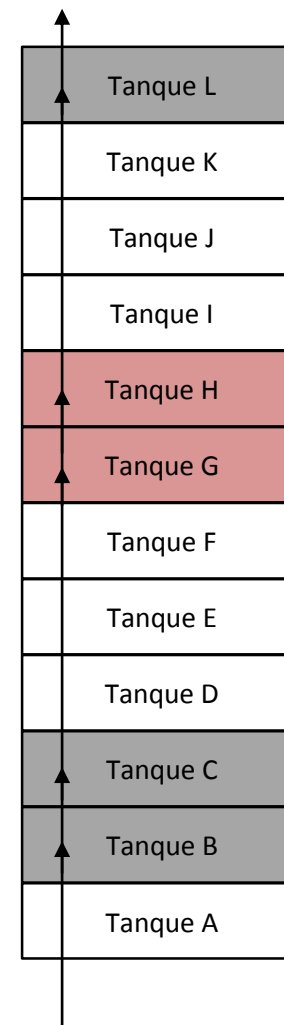




### Programa 15 – Decapagem

- Teste 1 –
- Teste 2 –
- Teste 3 –
- Teste 4 –

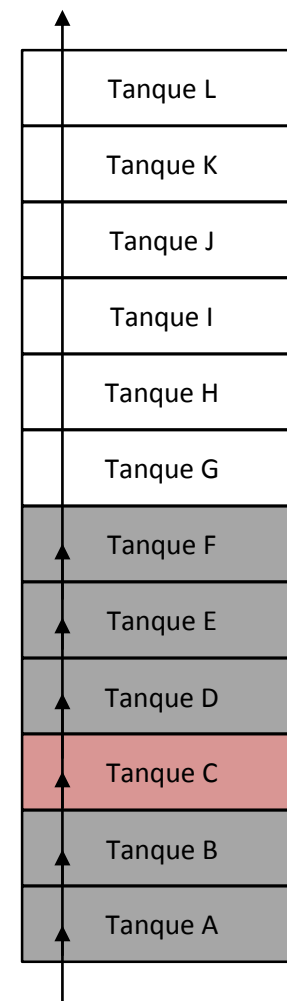
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					



### Programa 23 – Oxidação Negra

- Teste 1 –
- Teste 2 –
- Teste 3 –
- Teste 4 –
- Teste 5 –

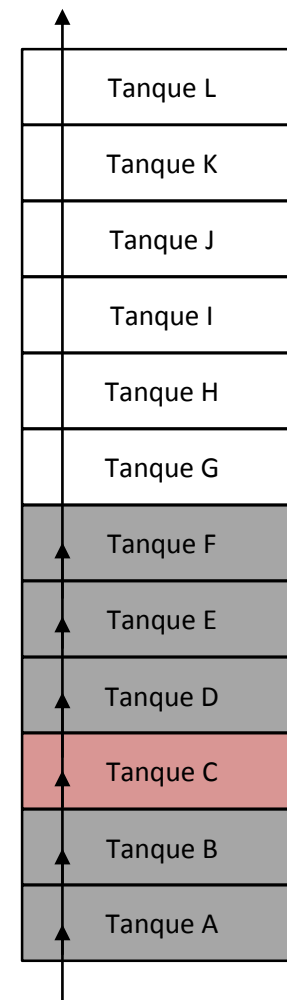
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					



### Programa 25 – Oxidação Negra

- Teste 1 –
- Teste 2 –
- Teste 3 –
- Teste 4 –
- Teste 5 –

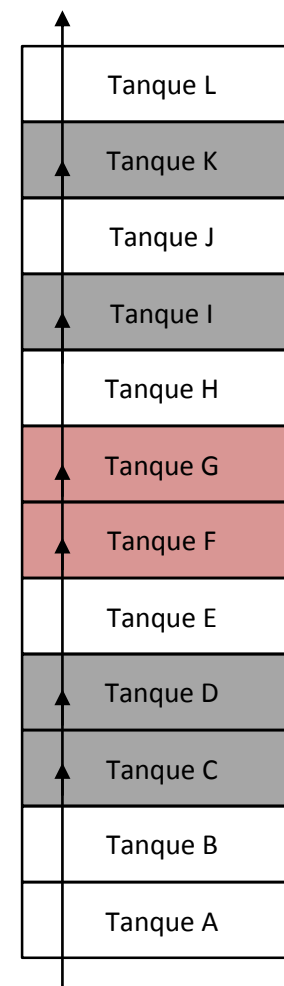
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					



### Programa 32 – Fosfatização

- Teste 1 –
- Teste 2 –
- Teste 3 –
- Teste 4 –
- Teste 5 –
- Teste 6 –

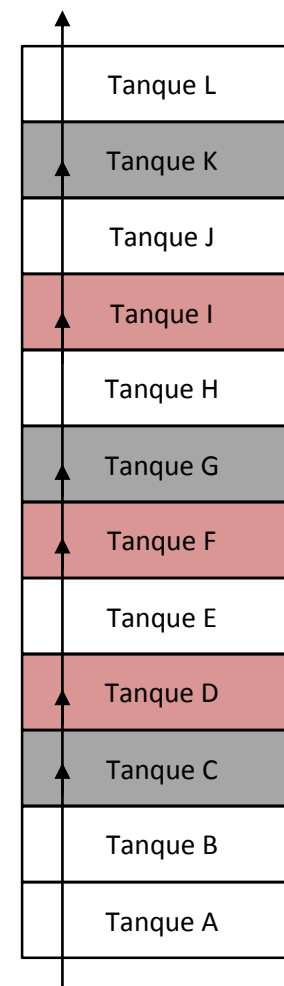
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					



### Programa 35 – Fosfatização

- Teste 1 –
- Teste 2 –
- Teste 3 –
- Teste 4 –
- Teste 5 –
- Teste 6 –

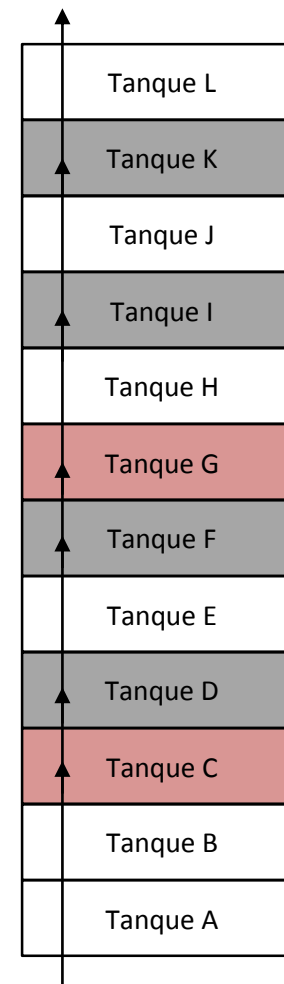
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					



### Programa 36 – Fosfatização

Teste 1 –  
 Teste 2 –  
 Teste 3 –  
 Teste 4 –

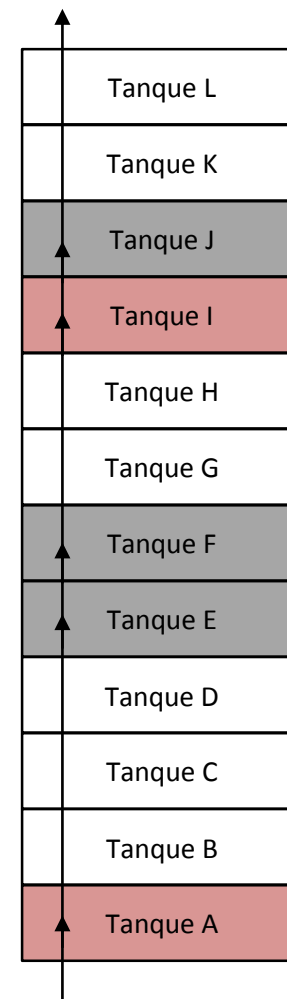
Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					



### Programa 42 – Lavagem (Passivação)

Teste 1 –  
 Teste 2 –  
 Teste 3 –  
 Teste 4 –

Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					



### Programa 50 – Lavagem

Teste 1 –  
 Teste 2 –  
 Teste 3 –  
 Teste 4 –

Tipo Anel	Teste	Parâmetro A	Parâmetro B	Nº anel	Obra	Data
	1					
	2					
	3					
	4					

