

• U C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Influência do papel de aditivos no comportamento tribológico de pastilhas de travão baseadas em sucata metálica não ferrosa**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

## **Influence of additives on tribological behavior brake pad based on nonferrous metal scrap**

Autor

**Pedro Manuel Moreira Vicente**

Orientador

**Professora Doutora Maria Teresa Freire Vieira**

Coorientador

**Hélder Xavier Borges da Silva**

Júri

Presidente

**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais

**Professor Doutor Pedro Alexandre de Almeida do Vale Antunes**  
Investigador da Universidade de Coimbra

Orientador

**Professora Doutora Maria Teresa Freire Vieira**  
Professora Catedrática da Universidade de Coimbra

**Coimbra, Julho, 2016**

*“Uma pessoa para compreender tem de se transformar.”*

Saint-Exupéry

## Agradecimentos

O presente trabalho representa a conclusão de um percurso académico ao qual só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Em primeiro lugar expresso o mais sincero agradecimento à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Teresa Vieira, pela orientação e disponibilidade constante ao longo deste trabalho.

Ao Xavier Silva um especial agradecimento por todo o tempo dispensado, paciência e acompanhamento ao longo deste projeto, estando recetivo a toda e qualquer questão e problema.

A todas as pessoas que contribuíram com os seus conhecimentos e experiência para o trabalho desenvolvido, estando sempre dispostos a ajudar no que fosse necessário.

Aproveito para agradecer à minha companheira Vanessa Cardoso por existir na minha vida e por todo o apoio e incentivo demonstrado nestes 6 anos, sem a qual não me imagino.

Aos meus amigos que durante o meu percurso académico tive a sorte de conhecer aos quais lembrarei sempre: Michael Gil, Daniela Alves, Anita Leite, João Bento, João Vicente e Rita Dias.

Por fim, à minha família, que nem sei como agradecer tudo o que me proporcionaram. À minha mãe, avós e irmão que foram um suporte na minha vida, aos quais me transmitiram valores que nunca esquecerei.

## Resumo

Ao longo dos anos tem-se verificado um incremento na produção de resíduos, responsável por inúmeros impactes ambientais, surgindo a necessidade de minimizar a sua produção, assegurando uma gestão sustentável. Portanto, surge a necessidade de implementação de técnicas de reciclagem e reutilização de resíduos, de maneira a constituir um benefício tanto a nível ambiental como energético, sendo um exemplo disso a criação da Hierarquia de Gestão de Resíduos. No âmbito do presente estudo serão desenvolvidas, testadas e avaliadas diversas pastilhas de travagem, constituídas fundamentalmente por dois resíduos resultantes da fragmentação de veículos em fim de vida e de eléctrodos de grafite em fim de vida. Estes resíduos, que tinham como destino final o aterro, foram reciclados e reutilizados com a finalidade de servir respetivamente de matéria-prima base e de aditivo, para a constituição de um novo produto - pastilhas de travagem de veículos. Dois testes essenciais permitiram avaliar o coeficiente de atrito, a força de atrito e a taxa de desgaste: Pino-Disco e FAST. O primeiro teve como principal objetivo o estudo do coeficiente de atrito e da taxa de desgaste entre duas superfícies, já o FAST verificou e testou as características de desgaste e de atrito de materiais de fricção. A adição de grafite aos resíduos metálicos não induziu grandes variações no desempenho da pastilha de travagem em relação ao seu coeficiente de atrito. Esta, por sua vez, permitiu alterar substancialmente a temperatura de atrito entre a pastilha de travagem e o disco e o desgaste decresceu significativamente com o aumento da presença do lubrificante sólido. A resina desempenhou um papel importante na ação de ligação aos vários constituintes porém, esta, quando sujeita a altas temperaturas, perde as suas propriedades levando assim, a desagregação dos restantes materiais.

**Palavras-chave:** Grafite, Veículos em Fim de Vida, Resíduos, Pastilhas de Travagem, Taxa de desgaste, Coeficiente de atrito.

## Abstract

Over the years there has been an increase in the waste production, responsible for numerous environmental impacts, resulting in the need to minimize their production, ensuring sustainable management. Therefore, the need arises for implementation of techniques for recycling and reuse of waste, in order to be of benefit both environmentally and energetically, being an example the creation of Waste Management Hierarchy. In the present study will be developed, tested and evaluated different brake pads, mainly consisting of two residues resulting from the fragmentation of vehicles at the end of life and graphite electrodes at the end of life. This waste, which had ultimately for the landfill, were recycled and reused in order to serve respectively raw material base and additive for the formation of a new product – brake pads. Two key tests allowed to assess the friction coefficient, the frictional force and the wear rate: Pin-on-Disk and FAST. The addition of graphite to the metallic waste does not induce large performance changes in brake pad relative to the friction coefficient. This, in turn, permitted to amend the temperature of friction between the brake pad and the disc. However, wear significantly decreased with the increase of the solid lubricant present. The resin played an important role in the binding action of the various constituents however, that, when subjected to high temperatures, loses its leading thus disaggregating the remaining materials.

**Keywords** Graphite, End of Life Vehicles, Residues, Brake pads, Wear rate, Friction coefficient.

## Índice

Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas .....	viii
Simbologia e Siglas .....	ix
Simbologia.....	ix
Siglas .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	4
2.1. Revisão da Literatura .....	4
2.2. Conceitos e Princípios da Gestão de Resíduos .....	6
3. CASO DE ESTUDO .....	10
3.1. Origem dos Fragmentos da Sucata .....	10
3.1.1. Gestão dos Veículos em Fim de Vida (VfV).....	10
3.1.2. Fragmentação dos Veículos em Fim de Vida.....	11
3.2. Origem da Grafite (Indústria Metalomecânica).....	11
3.2.1. Eléctrodos de Grafite.....	11
3.3. Pastilhas de Travagem de Automóveis .....	14
4. MATERIAIS E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS.....	17
4.1. Caracterização da Mistura .....	17
4.1.1. Moagem.....	17
4.1.2. Difração de Raios X (DRX) .....	18
4.1.3. Termogravimetria (TG) .....	19
4.2. Processamento das Pastilhas de Travagem.....	20
4.3. Sistema de Verificação das Pastilhas de Travagem.....	21
4.3.1. Pino-disco .....	21
4.3.2. FAST ( <i>Friction Assessment Screening Test</i> ).....	23
5. RESULTADOS .....	26
5.1. Caracterização da Mistura.....	26
5.1.1. Composição dos Resíduos de Sucata .....	26
5.1.2. Efeito da temperatura nas diversas misturas .....	27
5.2. Processamento das Pastilhas .....	29
5.3. Variação do teor de resina.....	31
5.3.1. Coeficiente de atrito e desgaste .....	32
5.4. Variação da grafite.....	35
5.4.1. Coeficiente de Atrito e desgaste .....	36
6. CONCLUSÕES .....	41
6.1. Sugestões para trabalhos futuros.....	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia da Gestão de Resíduos (Góis, 2015).....	8
Figura 2 - Eléctodos de Grafite.....	12
Figura 3 - Esquema do processo de eletroerosão (José <i>et al.</i> , 2016).....	12
Figura 4 - Comparação da utilização de cobre e de grafite no processo EDM (Kratochvil, 2004).....	13
Figura 5 – Esquema representativo do caso de estudo.....	14
Figura 6 – Equipamento <i>Fritsch Pulverisette 5</i> .....	18
Figura 7 - Equipamento usado para Difração de Raios X.....	19
Figura 8 - Equipamento <i>Metkon Digipress</i> .....	20
Figura 9 – Imagem de duas pastilhas de travagem produzidas durante o processo.....	21
Figura 10 - Esquema ilustrativo do equipamento Pino-disco (Reis <i>et al.</i> , 2015).....	22
Figura 11 – Equipamento Pino-disco.....	23
Figura 12 - Diagrama esquemático do equipamento de ensaios tribológicos FAST (Neis, 2008).....	24
Figura 13 - Equipamento FAST para ensaios com materiais de fricção.....	25
Figura 14 – Difrátograma representativo das diferentes fases cristalinas.....	27
Figura 15 - Análise de Termogravimetria.....	28
Figura 16 – Gráfico representativo do coeficiente de atrito em função o tempo.....	30
Figura 17 – Gráfico representativo da variação de massa (gramas) em função de cada pastilha processada.....	31
Figura 18 - Coeficiente de atrito função da temperatura (Pino-disco) a diferentes temperaturas 50°C (a), 100°C (b), 150°C (c) e 200°C (d).....	32
Figura 19 – Coeficiente de atrito das pastilhas em função da temperatura.....	34
Figura 20 – Desgaste das pastilhas.....	34
Figura 21 – Variação do coeficiente de atrito com a temperatura (teste Pino-Disco).....	36
Figura 22 - Valor do coeficiente de atrito em função da temperatura.....	37
Figura 23 – Variação do Coeficiente de atrito com a temperatura (FAST).....	38
Figura 24 - Desgaste das pastilhas com adição de grafite.....	39
Figura 25 - Temperatura final no disco após ensaio.....	40

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição de alguns princípios relativos à gestão de resíduos. ....	9
Tabela 2 – Identificação e descrição dos componentes básicos das pastilhas de travagem. 15	
Tabela 3 - Caraterização dos principais componentes constituintes do equipamento Pino-disco.....	23
Tabela 4 – Caraterização dos principais componentes constituintes do equipamento FAST. ....	25
Tabela 5 - Valores relativos à pressão e temperatura para as várias pastilhas. ....	29
Tabela 6 – Parâmetros externos de ensaio (FAST). ....	29
Tabela 7 – Composição das pastilhas de travagem. ....	32
Tabela 8 – Valores de temperatura e humidade relativa para as pastilhas. ....	33
Tabela 9 - Composição das diferentes pastilhas processadas.....	35



## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$\lambda$  – comprimento de onda da radiação incidente

$d_{hkl}$  – distância entre planos hkl

°C – graus centígrados

mA – miliampere

nm – nanómetro

### Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CEE – Comunidade Económica Europeia

DL – Decreto-Lei

DRX – Difração de Raios X

EDM – *Electrical Discharge Machining*

NAO – *Non-Asbestos Organic*

PERH - Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares

PERSU – Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos

PESGRI – Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais

TG – Termogravimetria

VFV – Veículos em Fim de Vida

## 1. INTRODUÇÃO

São cada vez maiores os problemas ambientais que afetam o mundo, sendo a maior parte destes provocados por ações humanas. Um dos grandes problemas da atualidade é o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, decorrente de vários fatores como o desenvolvimento tecnológico, o processo de urbanização, o aumento populacional, etc. Estes fatores são responsáveis pelo aumento da utilização de recursos que leva conseqüentemente ao aumento da produção de resíduos. Quando não são devidamente tratados, estes detêm efeitos negativos no ambiente e na saúde humana, tornando-se fundamental colocar no centro das preocupações a identificação de estratégias básicas para a valorização e gestão de resíduos. A hierarquia dos resíduos possui uma ordem de importância que tem início na prevenção/redução de resíduos, seguida da reutilização, reciclagem e por fim a deposição em aterro, sendo esta última, a opção menos favorável a nível ambiental.

As técnicas de reciclagem e reutilização dos resíduos, que consistem no aproveitamento das características dos materiais para novos usos e desenvolvimento de novas tecnologias, podem ser dirigidas para o setor automóvel, mais especificamente para o fabrico de peças que integram um veículo automóvel. Entre a grande variedade de órgãos que constitui um automóvel, será dada particular importância ao sistema de travagem, onde se inserem os materiais de atrito, nomeadamente as pastilhas de travagem. As pastilhas de travagem são uma componente dos travões que têm como objetivo converter a energia cinética produzida pelo carro em energia térmica através da fricção. Atendendo às necessidades de uma pastilha de travagem e conhecendo a sua natureza constituinte é possível o seu fabrico através de materiais reciclados, para aplicações convencionais.

A reciclagem e tratamento de Veículos em Fim de Vida (VFV) tem tido uma evolução crescente ao longo dos anos devido às suas inúmeras vantagens. A diminuição dos impactos no ambiente e na saúde pública associados à deposição em aterro destes materiais, assim como o reaproveitamento e a valorização destes são apenas alguns benefícios desta medida. Os veículos automóveis possuem na sua estrutura um elevado teor em metais e polímeros, sendo que aproximadamente 75% dos materiais constituintes são altamente recicláveis (Ciuccio, 2004). Em Portugal, várias entidades têm a responsabilidade de

promover ações conducentes à resolução do problema da deposição e manuseamento ilegal dos VFV, sendo a Valorcar uma delas. Esta entidade tem como principal missão responder aos desafios da legislação comunitária e nacional sobre gestão de VFV (Valorcar, 2016).

Após a recolha dos VFV, estes são descontaminados e parcialmente desmantelados para fins de reciclagem e reutilização de componentes, sendo a fração restante sujeita a fragmentação (Fernandes, 2009). Da fragmentação são separados e originados diversos tipos de resíduos, sendo estes encaminhados para fundições e siderurgias (fração metálica) e aterro (resíduos leves de fragmentação).

A motivação deste trabalho é transformar resíduos provenientes da indústria metalomecânica e da sucata em matérias-primas para o fabrico de novos produtos (materiais de fricção), constituindo um benefício tanto a nível ambiental como a nível energético. A utilização eficiente de recursos através da reciclagem de materiais eliminados e da sua reutilização no mercado diminui os impactes associados ao ambiente. Além de evitar a poluição provocada pela deposição em aterro dos materiais, diminui os impactes associados à extração e produção dos mesmos.

O objetivo específico deste trabalho é estudar a influência relativa de aditivos no comportamento tribológico das pastilhas de travagem baseadas em resíduos de sucata. Como aditivo será utilizado a grafite proveniente dos resíduos de elétrodos usados nos processos de eletroerosão da indústria metalomecânica.

Os travões são um dos elementos mais importantes para garantir a segurança, e como tal exige materiais de fabrico que lhes confirmem boas propriedades. É o caso da grafite, que funciona como um lubrificante sólido, possibilitando um menor desgaste no disco e na pastilha de travagem. A grafite pode ser adquirida a partir de resíduos provenientes da indústria metalomecânica, evitando assim a sua deposição em aterro, valorizando-a.

O presente estudo representa uma continuação do trabalho realizado por Xavier (2016), onde serão utilizados além de resíduos provenientes da fragmentação de veículos em fim de vida, um material adicional para incorporar as pastilhas de travagem: a grafite. Devido às suas excelentes propriedades e características, este material poderá conferir importantes propriedades às pastilhas, como será descrito durante o presente estudo.

Assim sendo, o trabalho encontra-se estruturado em 6 capítulos. O capítulo 1 e 2 fazem uma breve introdução ao tema, assim como um resumo da literatura sobre o mesmo, o capítulo 3 tem como finalidade a descrição do caso de estudo, assim como a descrição da

proveniência dos resíduos. No capítulo 4 são enumeradas e descritas as técnicas experimentais utilizadas no trabalho e no capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Já no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e os projetos para trabalhos futuros.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Revisão da Literatura

Neste capítulo serão apresentadas algumas das publicações correntes relativas às pastilhas de travagem, citadas por diferentes autores, destacando-se conceitos, procedimentos, resultados, discussões e conclusões relevantes.

**Ramousse *et al.* (2001)** realizaram um estudo sobre processos físico-químicos que ocorrem nas pastilhas de travagem quando sucede um aumento de temperatura. Amostras de material semi-metálico foram mantidas num forno a 1000°C durante 1 hora, sendo posteriormente arrefecidas a uma taxa de 10°C/min até alcançarem os 25°C. Os autores determinaram as temperaturas às quais o carvão, a grafite e o ferro oxidam e os elementos ligantes se decompõem. **Limpert (1999)** também realizou esta experiência e concluiu que existia um problema comum que ocorria quando as pastilhas de travagem alcançavam elevadas temperaturas, aquando a travagem do veículo. Quando as pastilhas se encontravam a mais de 300°C, ocorria o *fade*, fenómeno caracterizado pela redução do coeficiente de atrito com o aumento da temperatura no processo de travagem, havendo uma decomposição do material e posterior perda da capacidade de travagem. Ambos os autores concluíram que, pelos resultados observados nos seus ensaios, decorrem problemas causados pelo excesso de temperatura no par de fricção (pastilha/disco).

Ainda **Doyle *et al.* (2005)** investigaram o uso de antimónio (Sb) nas pastilhas de travagem como possível constituinte cancerígeno. O trissulfureto de antimónio ( $Sb_2S_3$ ) é um componente utilizado como lubrificante no material de atrito. Testes à base de difração de Raios X revelaram a presença de antimónio nas pastilhas de travagem, sendo que o risco para a saúde da emissão destas partículas é dependente do seu tamanho. Outros testes foram realizados, mostrando os resultados que grande parte das partículas de Sb emitidas no processo de travagem são inaláveis, havendo também uma oxidação de  $Sb_2S_3$  durante o processo, que dará origem ao composto trióxido de antimónio ( $Sb_2O_3$ ), sendo este um

composto cancerígeno humano. Assim, os autores concluíram que o uso de Sb nas pastilhas de travagem é suspeito de representar um risco cancerígeno e portanto deverá ser demovido.

**Liew e Nirmal (2013)** decidiram estudar e avaliar as diferentes propriedades tribológicas de possíveis materiais, com e sem amianto, para o fabrico de pastilhas de travagem não comerciais, sendo que estes foram testados a diferentes velocidades e pressões. Foram fabricados dois materiais com amianto e dois materiais sem amianto para a produção das pastilhas de travagem não comerciais. Estes foram testados e comparados com um material comercial previamente selecionado para a produção de pastilhas, através do método Pino-disco. Os resultados mostraram que os coeficientes de atrito de todos os materiais se mantiveram indiferentes ao aumento de pressão e de temperatura. Os dois materiais não comerciais mantiveram estável o coeficiente de atrito a temperaturas elevadas, porém aquele que não possuía amianto apresentou uma maior resistência ao desgaste, relativamente aos outros dois materiais. Os resultados mostraram que o material não comercial sem amianto apresentava boas características para o fabrico de pastilhas de travagem de automóveis.

Já **Nagesh et al. (2014)** produziram diversas pastilhas de travagem fazendo variar as percentagens dos constituintes em peso, sendo que novas formulações também foram feitas com outros materiais de fricção. Estas pastilhas foram processadas utilizando a técnica de metalurgia em pó, que consiste no fabrico de peças metálicas através da compactação de pó-metálico seguida da sinterização, sendo que de seguida foram testadas quanto ao coeficiente de atrito, desgaste, resistência ao corte, dureza e quanto à análise microestrutural.

**Idris et al. (2015)** investigaram a formulação de uma nova pastilha de travagem, denominada “Amiga do Ambiente” que excluía o amianto devido ao seu conteúdo cancerígeno. Esta pastilha caracteriza-se pela sua constituição à base de resíduos de cascas de banana, que vem substituir o amianto e a resina fenólica como aglutinante. A pastilha foi testada quanto à sua morfologia, propriedades físicas, mecânicas e quanto às suas propriedades tribológicas. O aumento em peso da nova resina, constituída por resíduos de cascas de banana, tinha em vista o aumento da resistência à compressão, da dureza e da gravidade específica na pastilha, assim como a sua diminuição ao desgaste. Os resultados desta pesquisa indicaram que os resíduos de cascas de banana podem ser efetivamente utilizados como um substituto do amianto no fabrico de pastilhas de travagem.

**Lagel et al. (2016)** utilizaram matérias-primas de fontes biológicas, tais como taninos condensados e álcool furfurílico para produzir uma resina que foi estudada e testada para uma nova aplicação: fabrico de pastilhas de travagem de automóveis. O processo de fabrico desenvolvido foi particularmente fácil e verificaram que o fabrico das pastilhas com base nesta “resina verde” exibiu excelentes propriedades de travagem e de resistência ao desgaste, quando aplicadas num carro real. Concluíram também que a sua resistência mecânica era semelhante à das pastilhas de travagem constituídas por resinas fenólicas, utilizadas em carros comerciais e que quando submetidos a uma forte travagem, os carros apresentavam uma distância de travagem igual ou inferior às dos carros com pastilhas constituídas por resinas fenólicas.

Recentemente, **Xavier (2016)** procurou reaproveitar resíduos originados pela fragmentação de veículos em fim de vida, com a finalidade de os utilizar como matéria-prima para o fabrico materiais de fricção, mais concretamente pastilhas de travagem de automóveis. Com isto, comparou as pastilhas a testar com duas pastilhas comerciais existentes no mercado. Todas as pastilhas fabricadas foram testadas relativamente a vários parâmetros: dureza, densidade, coeficiente de atrito e desgaste. Deste estudo concluiu que os resíduos provenientes de veículos em fim de vida não podem ser usados unicamente como material de fabrico para pastilhas de travagem, mas a incorporação destes na composição de pastilhas é viável.

## 2.2. Conceitos e Princípios da Gestão de Resíduos

Os resíduos classificam-se como tudo aquilo que já não tem utilidade proveniente de indústrias, comércio, residências e outras atividades humanas. Atualmente, a maior parte destes pode ser reaproveitada para outros fins, seja de forma direta ou indireta, sendo que, quando tal não é possível, estes precisam de ser eliminados de forma a cumprir todos os requisitos estipulados.

Os problemas ambientais causados pelos resíduos têm vindo a intensificar-se com as atividades económicas, sendo que as suas consequências contribuem cada vez mais para a decadência dos recursos naturais. Estes problemas, que se têm verificado ao longo das décadas, têm despertado o aumento das preocupações ambientais e vindo a criar cada vez

mais uma necessidade de implementação de medidas e ações, de forma a reduzir o impacto ambiental produzido pela má gestão dos resíduos.

Em Portugal, até à década de 90, os resíduos sólidos urbanos produzidos eram encaminhados para lixeiras a céu aberto, depositados sobre solo não protegido onde seriam posteriormente queimados para redução do seu volume sem qualquer controle ambiental e de saúde pública deste tipo de solução. O único material a ser recolhido seletivamente a nível camarário correspondia às embalagens de vidro, mas nem todo o território se encontrava abrangido por estes dispositivos de deposição, recolha, transporte e encaminhamento final (Proença, 2015). Durante esta época, a crescente perceção pública dos impactes ambientais associados à produção e gestão de resíduos conduziu a um sentimento adverso em relação às soluções utilizadas para a eliminação de resíduos, contribuindo para a adoção de novas políticas destinadas a reduzir e desviar os resíduos encaminhados para aterros e lixeiras, para soluções de prevenção, reutilização, reciclagem e outras formas de valorização (Ferrão, 2014).

Mais tarde, no decorrer de 1997, surgiu o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) que veio implementar um conjunto de ações que se revelaram fundamentais na concretização da política de resíduos urbanos. Assim como este, outras orientações estratégicas para a gestão de resíduos foram implementadas como o Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares (PERH) e o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI). Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 239/97 publicado no Diário da República a 9 de setembro de 1997, veio ditar uma gestão adequada de resíduos, reafirmando o princípio da responsabilidade do produtor pelos resíduos produzidos.

Para uma melhor e mais eficiente gestão dos resíduos, foi criada uma ordem, conhecida como Hierarquia de Gestão de Resíduos (Figura 1) que consiste na identificação de estratégias básicas e valorização em termos de importância para a gestão dos mesmos. Tem como objetivo principal minimizar o impacto negativo da produção e gestão de resíduos na saúde humana e no ambiente, tentando sempre evitar a deposição dos resíduos em aterros sanitários. Assume como ordem de importância:



➤ **Prevenção ou Redução de Resíduos**

- Compreende a adoção de medidas antes de uma substância, material ou produto assumir a natureza de resíduo. Pode assumir duas formas distintas: prevenção quantitativa (redução da quantidade) e redução qualitativa (redução da perigosidade);

➤ **Reutilização**

- Utilizações diversas do mesmo produto/material, para diversos fins, evitando-se desperdícios;

➤ **Reciclagem**

- Transformação do resíduo, antes inútil, em matérias-primas para a fabricação de novos produtos, constituindo um benefício tanto ambiental como energético;

➤ **Valorização Energética**

- Recuperação e valorização da energia produzida a partir dos resíduos, permitindo a sua eliminação de uma forma ambiental e economicamente sustentável;

➤ **Eliminação (Aterro)**

- Envio dos resíduos para aterros sanitários; deve ser considerado como última opção justificando-se apenas quando seja técnica ou financeiramente inviável a prevenção, a reutilização, a reciclagem ou outras formas de valorização.

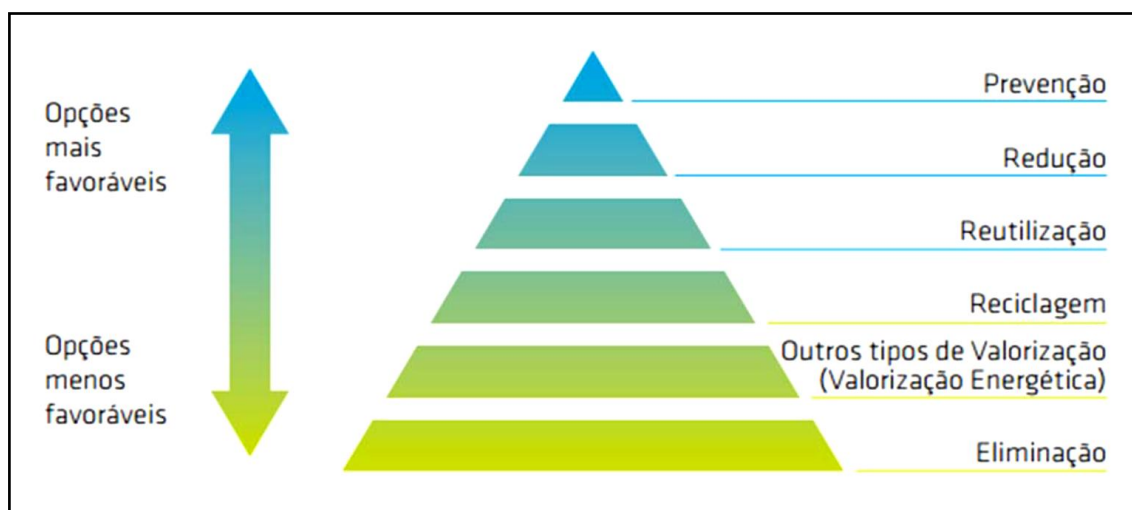


Figura 1 - Hierarquia da Gestão de Resíduos (Góis, 2015).

Para além desta regulamentação para uma boa gestão dos resíduos, outras normas e princípios foram criados e estabelecidos, podendo destacar-se o Princípio da Responsabilidade pela Gestão, Princípio da Equivalência e o Princípio da Autossuficiência, descritos na Tabela 1, entre outros (APA, 2007; APA, 2011).

**Tabela 1** – Descrição de alguns princípios relativos à gestão de resíduos.

Princípio da Responsabilidade pela Gestão	Princípio da Equivalência	Princípio da Autossuficiência
Atribuição ao produtor a responsabilidade pela gestão dos resíduos (exceção para resíduos urbanos cuja produção diária não exceda 1100 litros por produtor)	Regime económico e financeiro das atividades de gestão de resíduos que visam a compensação tendencial dos custos sociais e ambientais que o produtor gera à comunidade ou dos benefícios que a comunidade lhe faculta.	As operações de gestão de resíduos devem decorrer preferencialmente em território nacional, reduzindo ao mínimo possível os movimentos transfronteiriços de resíduos.

Além das obrigações descritas acima, existem outras que visam diferentes objetivos, tal como o Princípio da Prevenção e Redução, o Princípio da Regulação da Gestão de Resíduos, Princípio da Responsabilidade do Cidadão, etc. Estes ditam conceitos e obrigações distintas, acabando por terem todo o mesmo propósito. Estes princípios são enumerados pela Lei-Quadro dos Resíduos, inserido no Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, que aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Diretiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro.

A produção de resíduos é uma inevitabilidade derivada das necessidades do mundo moderno, sendo por isso importante a aplicação e integração destas medidas, ajustadas para uma boa gestão de resíduos, com vista a proteger a saúde pública e a salvaguarda dos recursos naturais.

No presente trabalho será dada uma especial importância à etapa da reciclagem e reutilização de metais não ferrosos de VFV e de grafite que servirão de matéria-prima para outro tipo de materiais (pastilhas de travagem).

### **3. CASO DE ESTUDO**

O presente caso de estudo visou a otimização de materiais de atrito (pastilhas de travagem), produzidos a partir de resíduos não ferrosos resultantes da fragmentação de veículos em fim de vida. Dos aditivos possíveis, a grafite, resultante da moagem de elétrodos de grafite provenientes da indústria metalomecânica, podia desempenhar um papel relevante no controlo do atrito e desgaste do sistema de travagem. Neste capítulo serão abordadas e caracterizadas as diferentes indústrias envolvidas neste estudo.

#### **3.1. Origem dos Fragmentos da Sucata**

##### **3.1.1. Gestão dos Veículos em Fim de Vida (VFV)**

A enorme quantidade de resíduos industriais gerados, tem impulsionado a criação de políticas de gestão de resíduos, adotando o conceito de desenvolvimento sustentável. A legislação específica que estabelece o regime das operações de gestão de veículos em fim de vida (VFV) é o Decreto-Lei nº196/2003, de 23 de Agosto, que vem estabelecer um conjunto de normas no que respeita à receção de VFV, o seu correto transporte, armazenamento e tratamento. Isto passa por promover a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização, desencorajando sempre que possível, o recurso a formas de eliminação tais como a deposição em aterro (APA, 2016). A Valorcar – Sociedade de Gestão de Veículos em Fim de Vida, Lda. é a entidade responsável por gerir o sistema integrado de gestão dos VFV em Portugal, a sua principal missão é contribuir para que as metas nacionais de gestão destes veículos sejam alcançadas.

A reciclagem e o tratamento de VFV passam pela sua receção e despoluição (onde são removidos os resíduos perigosos), desmantelamento, fragmentação e valorização, respeitando os requisitos legais, económicos e ambientais.

### **3.1.2. Fragmentação dos Veículos em Fim de Vida**

Na etapa de fragmentação, realizada em centros de fragmentação, são recebidos os VFV desmantelados, denominados carcaças, triturados em pedaços mais pequenos (Valorcar, 2016). Os VFV desmantelados são triturados em pequenos pedaços por um moinho de martelos dando origem a três frações: metais ferrosos (aço); metais não ferrosos (cobre, alumínio, magnésio, etc) e resíduos de fragmentação (plásticos, borrachas, resíduos metálicos de pequena dimensão, etc.) (Martins, 2011).

Os resíduos de metais ferrosos e não ferrosos, em geral, têm como destino a reciclagem em siderurgias e fundições, ao contrário dos resíduos de fragmentação, que são encaminhados para aterro ou para valorização energética em fornos de cimento (co-incineração) (Valorcar, 2016). No entanto, um estudo detalhado destes resíduos de sucata poderia indicar novos caminhos, tais como matéria-prima para o fabrico de novos componentes quiçá com propriedades diferentes das conseguidas por matérias-primas convencionais.

## **3.2. Origem da Grafite (Indústria Metalomecânica)**

A Indústria Metalomecânica é responsável pela transformação de metais em produtos desejados, sendo os elétrodos de grafite um dos resíduos industriais mais produzidos.

### **3.2.1. Elétrodos de Grafite**

A grafite é uma das formas de carbono mais conhecidas, tem múltiplas e importantes aplicações industriais. É um material opaco, de baixa dureza, bom condutor elétrico, apresentando um ligeiro brilho metálico e é largamente utilizado em materiais de fricção. A grafite é um dos principais materiais não-metálicos utilizados no fabrico de elétrodos (Figura 2).

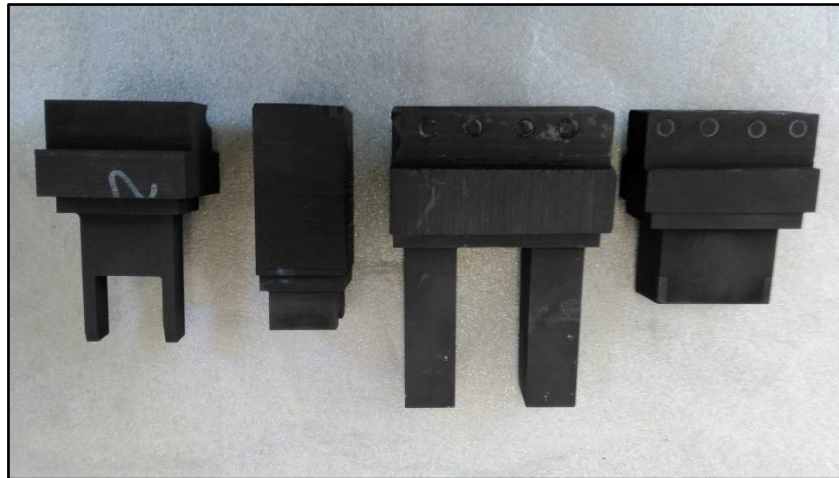


Figura 2 - Eléttodos de Grafite.

A eletroerosão EDM (*Electrical Discharge Machinig*), processo químico que se baseia na remoção de partículas metálicas através de descargas elétricas, necessita de um eléctrodo, responsável pela processo de erosão no material a ser trabalhado (Figura 3). Este processo tem vindo a ser cada vez mais utilizado devido aos métodos convencionais não serem tão eficazes quanto ao manuseamento e fabrico de peças mais duras e mais complexas, como materiais cerâmicos ou superligas.

O eléctrodo, que deve possuir a mesma forma da peça a fabricar, é mergulhado juntamente com a peça num recipiente contendo um líquido isolante que não permite a passagem de eletricidade (líquido dielétrico). Posteriormente, a peça e o eléctrodo são ligados a uma corrente contínua, formando-se uma tensão eléctrica entre eles, provocando um corte progressivo da peça.

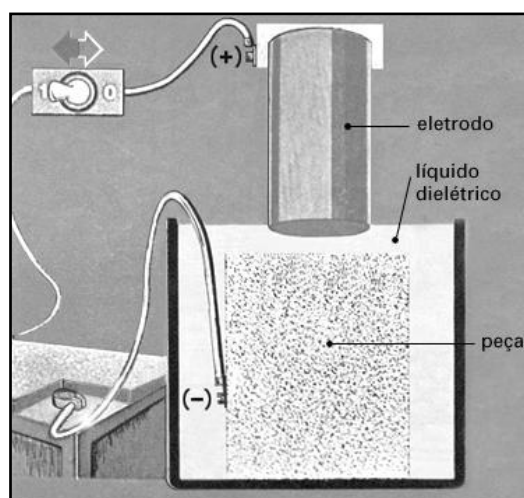


Figura 3 - Esquema do processo de eletroerosão (José *et al.*, 2016).

A escolha do material do eléctrodo para a realização de descargas elétricas deve ser feita de maneira bastante criteriosa, pois a sua confeção representa uma parcela significativa dos custos do processo. O eléctrodo, responsável pelo desgaste da peça, pode ser constituído por diferentes materiais, sendo preferíveis os bons condutores elétricos que possuem elevado ponto de fusão e baixa taxa de desgaste. A grafite e o cobre são cumpridores destes requisitos. Porém, a utilização de eléctrodos de grafite ao invés de eléctrodos de cobre permite o fabrico da peça final num intervalo de tempo mais reduzido, Figura 4. A grafite é o melhor material empregue em eléctrodos, em processos EDM (Kratochvil, 2004).

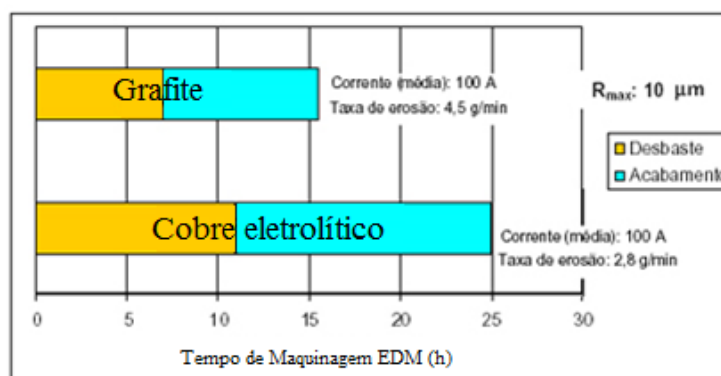


Figura 4 - Comparação da utilização de cobre e de grafite no processo EDM (Kratochvil, 2004).

Os eléctrodos de grafite têm uma elevada condutividade elétrica, são leves e têm a capacidade de suportar níveis extremamente elevados de calor, sendo também insensíveis aos choques térmicos. Porém, são abrasivos e não podem ser moldados. A geração de pó da grafite e a impregnação deste nos pontos mais imprevisíveis do equipamento é um dos problemas advindos do seu uso.

Os processos de erosão, durante o processo EDM, ocorrem simultaneamente na peça e no eléctrodo. Com ajustes convenientes da máquina, é possível controlar a erosão de modo a que se obtenha 99,5% da erosão na peça e 0,5% no eléctrodo (Schmidt & Sabo, 2008). Quando estes já estão numa fase de desgaste avançada, já não podem ser utilizados no processo de eletroerosão, tendo como destino final o de um resíduo com a sua composição. Por isso é crucial procurar formas de reutilizar e reciclar este tipo de resíduo.

No presente trabalho são utilizados resíduos de eléctodos de grafite provenientes de uma empresa de moldes, onde sofrem o processo de moagem para posteriormente serem utilizados no fabrico de pastilhas de travagem (Figura 5). O objetivo é tentar melhorar o comportamento tribológico das mesmas e ao mesmo tempo diminuir os impactes ambientais.

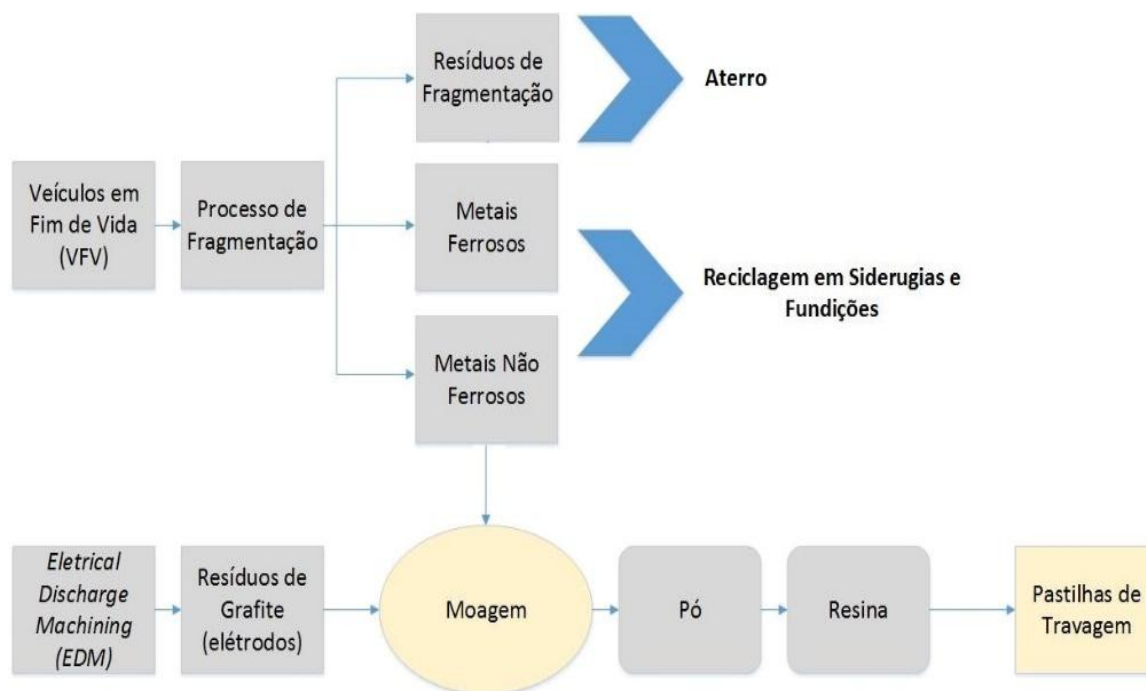


Figura 5 – Esquema representativo do caso de estudo.

### 3.3. Pastilhas de Travagem de Automóveis

O sistema de travagem é um dos elementos mais importantes do veículo, pois é responsável pela redução da velocidade, conferindo a devida segurança aos passageiros. É constituído por vários componentes, nas quais se inserem as pastilhas de travagem, que representam um dos elementos chave no dimensionamento do sistema de travagem.

As pastilhas de travagem são constituídas por diversos materiais. Na Tabela 2 estão patentes tipos de materiais de base utilizados nas pastilhas de travagem, assim como as funções desempenhadas por cada um (Xavier, 2016; Ferreira, 2015; Neis, 2008). É nas diferentes percentagens destes constituintes que residem as diferenças no desempenho das diversas pastilhas de travagem.

**Tabela 2** – Identificação e descrição dos componentes básicos das pastilhas de travagem.

<b>MATERIAL</b>	<b>FUNÇÃO</b>
<b>Materiais Estruturais (Fibras)</b>	Responsável por conferir resistência mecânica à pastilha. Utilização de fibras de carbono, vidro e metálicas, etc. Antes da sua proibição na década de 80, o amianto (asbesto) foi largamente utilizado como fibra.
<b>Modificadores de Atrito (Lubrificantes e Abrasivos)</b>	Os lubrificantes são responsáveis pela estabilização do coeficiente de fricção e controlo da taxa de desgaste da pastilha, principalmente para as elevadas temperaturas decorrentes de travagem. Também atuam para reduzir o ruído e a vibração provocada na interface da fricção (pastilha/disco). Já os abrasivos, tipicamente alumina ou mica, incrementam o coeficiente de atrito e ajudam a remover camadas de óxidos de ferro, que já existem ou se formam durante a travagem.
<b>Carga (Enchimento)</b>	Responsável por melhorar a resistência e a dissipação térmica da pastilha, aumentando a sua vida útil. Estes são incorporados de modo a reduzir os custos de produção e melhorar a capacidade de fabrico. Os materiais mais usados para o enchimento podem ser materiais metálicos, cerâmicos ou materiais orgânicos. Frequentemente são adicionados componentes à base de borracha, para melhorar as propriedades de amortecimento e diminuir as vibrações durante as travagens.
<b>Ligantes</b>	Responsável por manter a integridade estrutural da pastilha, quando esta está sujeita a tensões mecânicas e térmicas. No caso das pastilhas o ligante utilizado é a resina.



Em relação à classificação das pastilhas de travagem, que é feita consoante os materiais que as compõe, esta difere consoante os autores:

**Birch, 1999** classifica as pastilhas em apenas duas categorias: *Non-Asbestos Organic (NAO)* e semi-metálicas. A primeira classificação refere-se àquelas que são constituídas por materiais orgânicos, inorgânicos, fibras metálicas, grafite, mica e resinas (aramida). Já as semi-metálicas incluem as pastilhas que contêm na sua composição uma maior quantidade de compostos metálicos (< 50%). Já **Serbino, 2005** classifica as pastilhas em três categorias, baseando-se na percentagem em peso de metal que integra cada uma. Assim, as três categorias são: não-metálicas (menos de 10%), intermediárias (10-40%) e semi-metálicas (40% ou mais).

**Thorpe et al. 2008** também classificaram as pastilhas, de acordo com a sua composição. Assim, definem que as pastilhas podem ser:

- metálicas, se constituídas por elementos predominantemente metálicos, aço, fibras de aço e fibras de cobre;
- semi-metálicas, quando os principais componentes são uma mistura de elementos metálicos com materiais orgânicos;
- orgânicas sem asbestos, quando esta é constituída maioritariamente por elementos orgânicos possuindo também grafite e fibras minerais.

Mais recentemente (2015), a Copercol, empresa distribuidora de pastilhas de travagem em Portugal, classificou as pastilhas em 4 categorias: orgânicas, sintéticas, metálicas e semi-metálicas (Silva, 2016). No presente trabalho serão utilizadas pastilhas de travagem orgânicas.

As pastilhas de travagem estão sujeitas a um fenómeno de desgaste, pois cada vez que o travão de serviço é acionado, existe um contacto entre as superfícies do par cinemático pastilha/disco. Este desgaste provocado pelo atrito entre a pastilha e o disco, é função da temperatura gerada, que depende da força que é aplicada e do seu tempo de atuação (Duarte, 2010). Por outro, o desgaste também depende do contra-corpo e da composição da pastilha.

## 4. MATERIAIS E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

No presente capítulo estão mencionados e descritos todos os materiais e procedimentos experimentais utilizados para a realização do estudo. Assim, neste capítulo são descritas as técnicas utilizadas para a caracterização da mistura base da grafite e o seu processamento. Em seguida, será descrita a caracterização tribológica realizada nas pastilhas processadas (coeficiente de atrito, força de atrito e taxa de desgaste).

### 4.1. Caracterização da Mistura

A mistura base necessária para o processamento das pastilhas de travagem teve origem numa fração de resíduos. Para tal, foi necessário após moagem dos resíduos recolhidos, caracterizá-los pela técnica de Difração de Raios X (DRX) e por termogravimetria (TG) de modo a conhecer a evolução da mistura com a variação da temperatura.

#### 4.1.1. Moagem

Nesta primeira fase foi realizada, após a recolha dos materiais, uma moagem usando um moinho de bolas *Fritsch Pulverisette 5* (Figura 6).

Dois tipos de materiais foram recolhidos e moídos: resíduos de fragmentação de VFV e resíduos de grafite. Em relação aos resíduos de VFV, estes foram moídos durante 45 minutos (15 minutos de moagem, 10 minutos de intervalo e mais 15 minutos de moagem no sentido inverso da rotação) a uma velocidade de 250 rotações por minuto. De seguida foram peneirados num crivo de 100 mesh (unidade de medida pra tamanho da malha da peneira), para remoção das aparas maiores. Relativamente aos resíduos de grafite, realizaram-se 10 ciclos de moagem de 15 minutos, a 250 rotações por minuto, com 10 minutos de paragem entre cada ciclo passando no fim também por uma peneira.



Figura 6 – Equipamento *Fritsch Pulverisette 5*.

#### 4.1.2. Difração de Raios X (DRX)

Esta é uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, utilizada em diversos campos de conhecimento, permitindo obter informações sobre a estrutura atômica e molecular. Tem como principais aplicações a identificação das principais fases cristalinas dos materiais.

Os raios X com comprimento de onda conhecido, quando atingem o material sofrem várias interações, sendo apenas uma parte da radiação incidente difundida pelos átomos do material, ocorrendo assim um fenómeno descrito pela Equação 1 (Ferreira, 2015):

$$n \lambda = 2 d_{(hkl)} \sin \theta \quad (1)$$

A equação representada refere-se à Lei de Bragg, sendo  $n$  qualquer número inteiro,  $\lambda$  o comprimento de onda da radiação incidente,  $d_{(hkl)}$  a distância entre os planos  $(hkl)$ ,  $\theta$  é o ângulo de difração do feixe de Raios X.

O equipamento utilizado nas análises dos materiais foi um difratómetro X'Pert da PHILIPS, Figura 7, com goniómetro PW 3020/00 sob uma tensão de 40 kV e uma corrente com uma intensidade de 35 mA. O respetivo equipamento é munido de um anticátodo de cobalto com comprimento de onda  $\lambda(k\alpha_1) = 0,178896$  nm e  $\lambda(k\alpha_2) = 0,179285$  nm. As condições de aquisição do difratómetro foram a um passo de 0,025 graus por segundo ( $^{\circ}/s$ ) e tempo de aquisição de 1 s. O parâmetro  $2\theta$  variou entre  $20^{\circ}$  e  $100^{\circ}$ . A montagem era de Bragg-Brentano.



Figura 7 - Equipamento usado para Difração de Raios X.

#### 4.1.3. Termogravimetria (TG)

Esta é uma técnica térmica na qual se monitoriza a variação da massa de uma amostra em função da temperatura. É realizada num ambiente de atmosfera controlada, constituindo uma informação relevante e útil pois influencia o comportamento mecânico da

pastilha durante a sua utilização. Para analisar este parâmetro foi utilizado o equipamento *Seteram Evolution*, da marca *Setsys*.

Os ensaios decorreram a uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto até uma temperatura final de 600°C, considerando o ponto de fusão do alumínio que poderia influenciar os resultados. Este procedimento foi utilizado para caracterizar/comparar a variação de massa da pastilha processada e da pastilha padrão. Foi também utilizado para descrever o comportamento com a temperatura da grafite e da resina de forma a tentar compreender a influência relativa dos mesmos no comportamento global das pastilhas de travagem.

## 4.2. Processamento das Pastilhas de Travagem

Após caracterização da mistura base foram processadas as pastilhas. Para o efeito, utilizou-se o equipamento *Metkon Digipress*, Figura 8, onde foi possível variar a pressão e a temperatura de conformação.



**Figura 8** - Equipamento *Metkon Digipress*.

Inicialmente foi feita a mistura entre a resina e os pós produzidos na fase da moagem que vão integrar a pastilha. Esta mistura foi homogeneizada no moinho de esferas da *Fritsh* (modelo *Pulverisette 6*), durante 5 minutos a 250 rpm. Depois de feita a mistura, várias pastilhas foram produzidas, com diferentes condições de pressão e temperatura e de percentagens

de resina. Todas elas foram produzidas no mesmo molde com uma secção de  $196 \text{ mm}^2$  ( $14 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ ) e uma altura aproximada de 5 mm. Na Figura 9 é possível observar duas das pastilhas processadas.



**Figura 9** – Imagem de duas pastilhas de travagem produzidas durante o processo.

### **4.3. Sistema de Verificação das Pastilhas de Travagem**

O desgaste é um dos problemas industriais mais frequentes que conduz a uma substituição dos componentes e manutenção de equipamentos. A força de atrito e o coeficiente de atrito foram testados e medidos com a aplicação de dois métodos diferentes, descritos nos parágrafos seguintes. Estas duas técnicas foram utilizados para analisar e comparar as diferentes pastilhas processadas com uma pastilha padrão (existente no mercado) e com os resultados da mistura base utilizada no estudo de Xavier (2016).

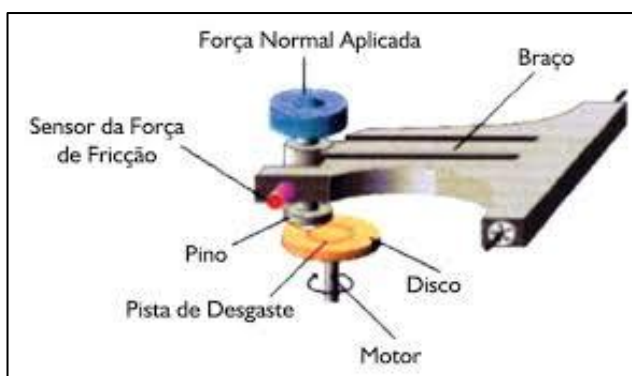
#### **4.3.1. Pino-disco**

Este teste é amplamente utilizado para analisar o comportamento tribológico dos materiais, como o coeficiente de atrito e a taxa de desgaste entre duas superfícies e é definido pela norma ASTM G99-04. É um equipamento onde se podem testar e variar diversos parâmetros como a velocidade, a carga aplicada e temperatura.

O princípio de funcionamento deste equipamento consiste em usar um pino que é carregado contra a superfície a testar com uma força pré-determinada, estando este sistema ligado a um braço rígido, concebido com um transdutor de força (Paião, 2012). O disco entra em movimento rotacional, e o contacto entre as duas peças gera atrito provocando o desgaste

dos materiais. A resistência à força sobre o pino é medida, assim como a força de compressão para que se possa estimar o coeficiente de atrito. Este é determinado através da razão entre a força de atrito e a força exercida no pino. Este método pode simular também diferentes parâmetros de teste como o vácuo ou a temperatura.

Durante os ensaios, e segundo a norma SAE J661, a pressão utilizada no pino para atuar na pastilha deve ser  $1 \text{ N/mm}^2$ , sendo que o disco onde está inserido a pastilha roda a uma velocidade de  $6 \text{ m/s}$  (Norma SAE J661). Apesar do equipamento apenas poder atingir uma velocidade aproximada de  $0,15 \text{ m/s}$  durante os ensaios, esta permitiu estabelecer uma comparação com o estudo realizado por Xavier (2016). Durante a realização dos ensaios, a área de desgaste do pino que está em contacto com o disco aumenta, sendo que é medida essa área antes e após o ensaio, através do microscópio. Com essa área é feita uma relação área/pressão para que seja respeitada a norma anteriormente mencionada. Esta foi calculada fazendo uma medição da área de desgaste do pino e aplicando uma carga em função desta, de forma a obter a pressão de  $1 \text{ N/mm}^2$ . As pastilhas foram testadas a diferentes temperaturas ( $50^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$ ,  $150^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ ) em ensaios com duração de aproximadamente 20 minutos com o objetivo de caracterizar o comportamento das pastilhas consoante as diferentes temperaturas. Na Figura 10 está representado um esquema ilustrativo do equipamento e na Figura 11 o equipamento utilizado para a realização dos ensaios tribológicos e a descrição dos seus principais componentes na Tabela 3.



**Figura 10** - Esquema ilustrativo do equipamento Pino-disco (Reis *et al.*, 2015).

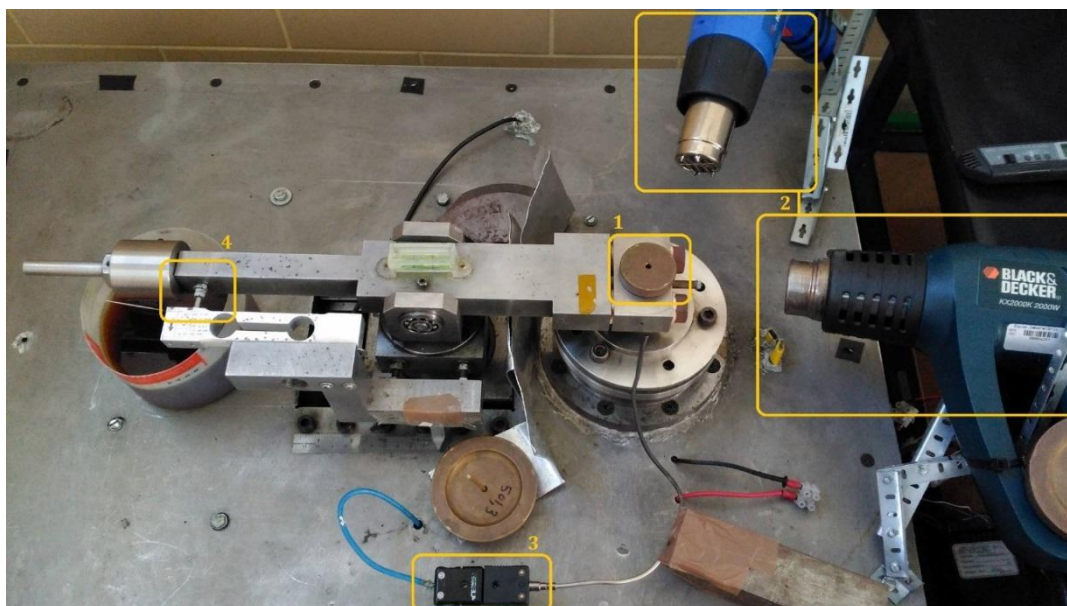


Figura 11 – Equipamento Pino-disco.

Tabela 3 - Caracterização dos principais componentes constituintes do equipamento Pino-disco.

Número	Legenda	Função
1	Célula de carga da força normal	Aplica a força normal na pastilha
2	Pistola de Aquecimento	Atribui calor ao sistema
3	Termopar	Mede e controla a temperatura do sistema
4	Sensor da força de fricção	Mede a força de atrito

#### 4.3.2. FAST (*Friction Assessment Screening Test*)

O *Friction Assessment Screening Test* (FAST), modelo *Greening 1120*, é um equipamento utilizado para verificar e testar as características de desgaste e atrito de materiais de fricção, sendo caracterizado pela norma NBR 7813:1998. Desenvolvido pela Ford Motor para o controle de qualidade de materiais de fricção, este equipamento permite trabalhar com ensaios a carga normal e velocidade de deslizamento constante. Os ensaios realizados por este equipamento aproximam-se bastante da situação real de travagem, sendo a força de



atrito mantida constante pois, segundo alguns autores, os condutores dos veículos no ato de travagem exercem uma desaceleração parcialmente constante.

O funcionamento do equipamento consiste na utilização de um pequeno corpo, o qual é friccionado contra um disco que gira a uma velocidade constante. No ensaio, os testes de qualidade são feitos durante 40 minutos, sendo as pastilhas ensaiadas no modo de carga aplicada constante (200 kPa) e sendo medido de 2 em 2 minutos a pressão de atrito através dos manómetros de pressão. O desgaste sofrido pela pastilha é medido pela diferença entre a massa inicial e a massa final desta ao longo do ensaio. Para obter o valor do coeficiente de atrito, medido em função do fator de geometria do equipamento, é utilizada a Equação 2, descrita no manual do equipamento:

$$\text{Coeficiente de atrito } (\mu) = 0,193 \times \frac{\text{Pressão de atrito}}{\text{Pressão de carga}} \quad (2)$$

Sendo a pressão de atrito e de carga expressos em psi, em que 0,193 representa o fator de geometria do equipamento.

A temperatura do disco é medida logo após o ensaio, através de um termopar. Este foi colocado junto à área friccionada. A Figura 12 ilustra o diagrama esquemático da máquina FAST e a Figura 13 o equipamento utilizado para os ensaios com materiais de fricção, estando enumerados e caracterizados os principais componentes deste na Tabela 4.

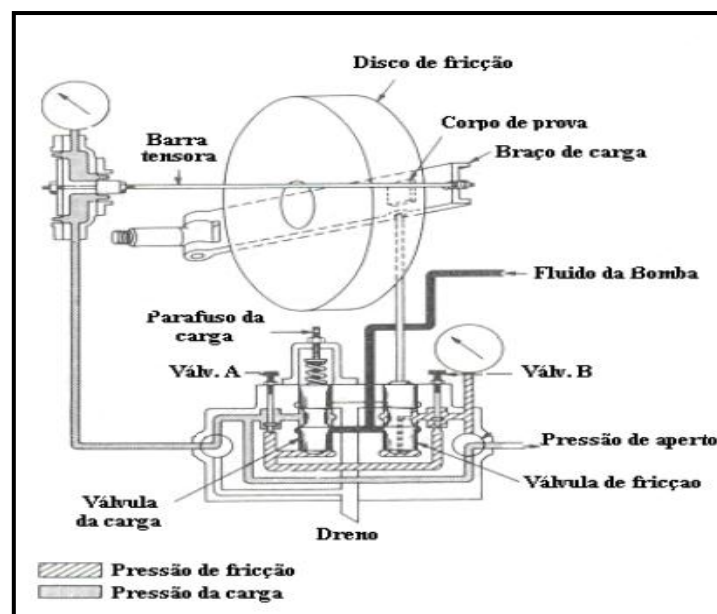


Figura 12 - Diagrama esquemático do equipamento de ensaios tribológicos FAST (Neis, 2008).

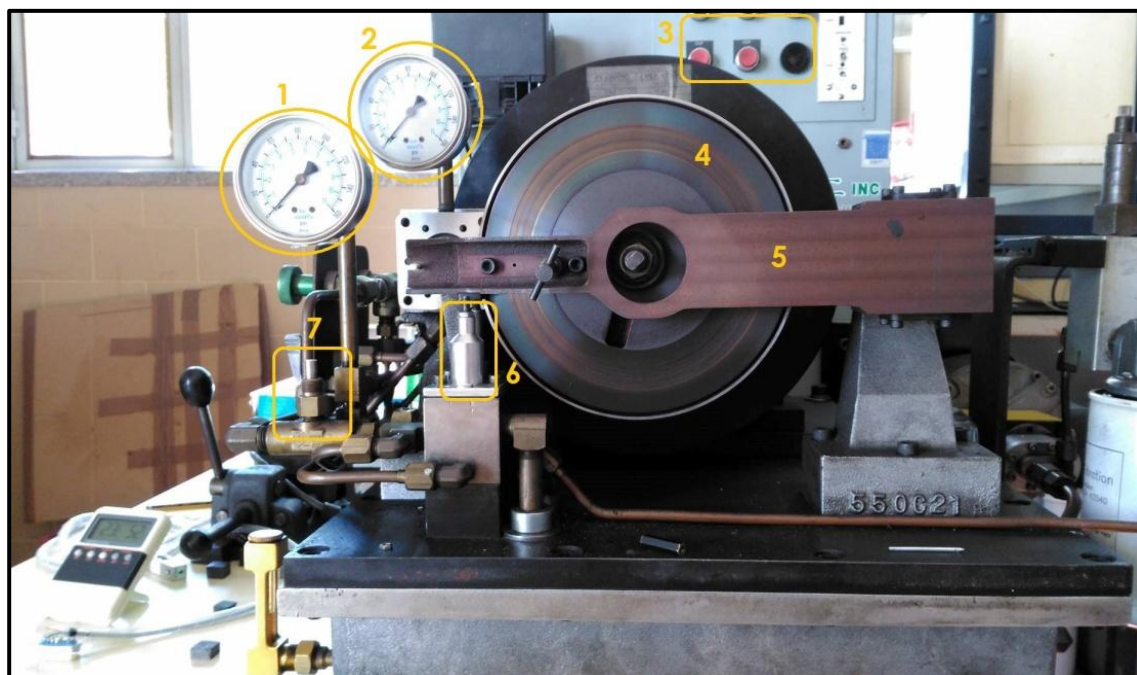


Figura 13 - Equipamento FAST para ensaios com materiais de fricção.

Tabela 4 – Caracterização dos principais componentes constituintes do equipamento FAST.

Número	Legenda	Função
1	Manómetro da pressão de atrito	Mede a pressão de atrito aplicada
2	Manómetro da pressão normal	Mede a pressão normal aplicada
3	Controlador da corrente elétrica	Controla e verifica a corrente elétrica do equipamento
4	Disco de fricção (ferro fundido cinzento)	Usado como contra-corpo metálico
5	Braço de carga	Suporte da pastilha de travagem
6	Válvula de controlo da pressão normal aplicada	Auxilia no controlo da pressão normal
7	Válvula de controlo da pressão aplicada	Auxilia no controlo da pressão de fricção

## **5. RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados relativamente ao processo de produção das pastilhas com base em resíduos de sucata e de grafite. Diferentes condições de pressão e temperatura na pastilha foram estudadas e testadas. Por outro lado, várias misturas foram testadas, onde não só se variou o teor em resíduo de grafite como também se aquilidou o papel de adições de quantidade variável de resina presente em alguns tipos de pastilhas de travagem.

### **5.1. Caracterização da Mistura**

As misturas estudadas para as pastilhas de travagem são essencialmente constituídas por resíduos de sucata, grafite e resina. De modo a evidenciar o papel da presença de resina na sucata metálica, usada no fabrico de pastilhas de travagem, foi realizado um estudo prévio sobre as propriedades tribológicas do sistema, variando apenas o teor deste aglomerante.

#### **5.1.1. Composição dos Resíduos de Sucata**

Através do equipamento difratómetro X'Pert foi possível identificar a composição dos resíduos de sucata, e compará-los com os resultados de Xavier (2016). Na Figura 14 estão identificadas as diferentes fases cristalinas presentes na sucata utilizada.

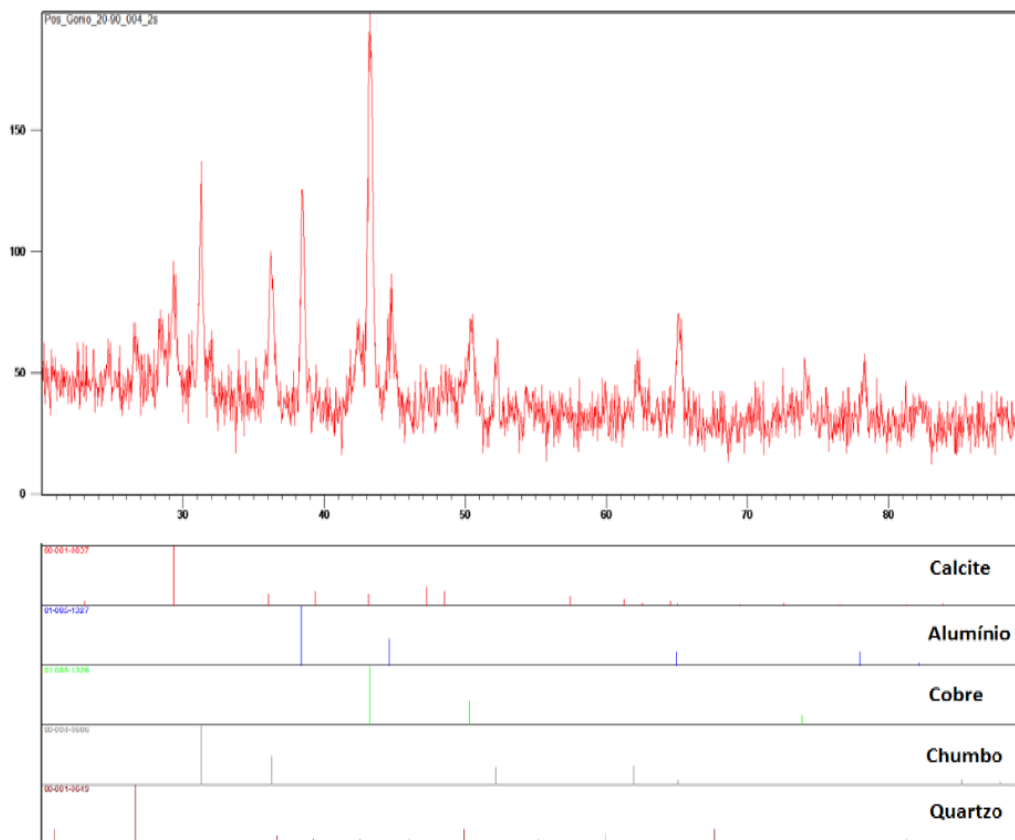
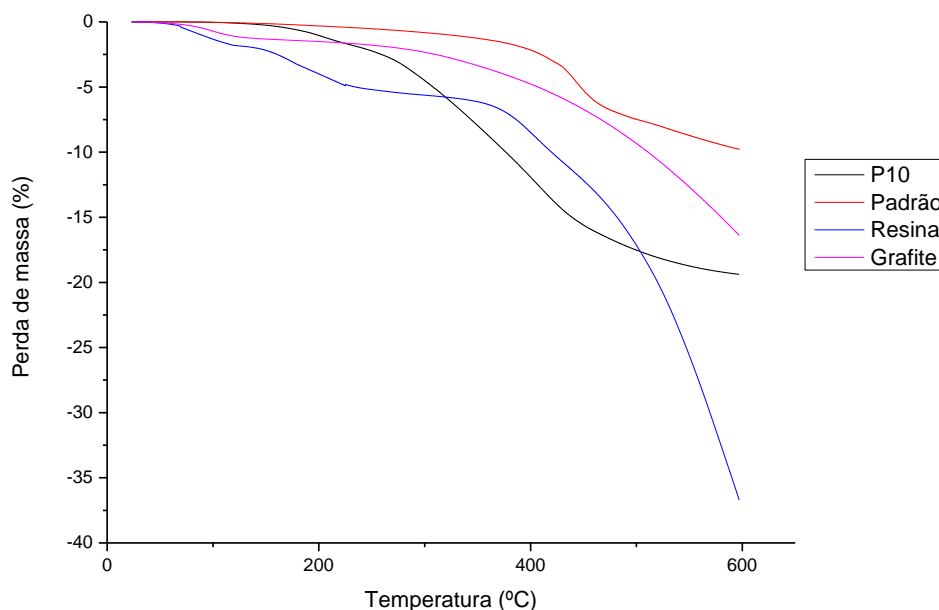


Figura 14 – Difractograma representativo das diferentes fases cristalinas.

A presença de alumínio, chumbo, quartzo e calcite comprovam qualitativamente a analogia com a sucata estudada por Xavier (2016).

### 5.1.2. Efeito da temperatura nas diversas misturas

Através da análise termogravimétrica foi comparado o efeito da temperatura numa pastilha processada (P10) já com a adição de grafite e resina com o de uma pastilha padrão, existente no mercado. Esta análise foi também efetuada à resina e à grafite, de modo a compreender a sua influência no comportamento em função da pastilha processada.



**Figura 15** - Análise de Termogravimetria.

Da análise da Figura 15 é possível observar que a pastilha P10 tem uma perda de massa de 2,5% até aos 200°C possivelmente devido à matéria orgânica e água contida na pastilha. A partir dos 300°C existe um decréscimo acentuado atingindo uma perda de massa de 20%. A pastilha padrão apresenta uma perda de massa de aproximadamente 10%, entre 400 e 600°C. Na resina observou-se numa primeira fase um decaimento de 2,5% de massa a 100°C. Dos 150°C até aos 250°C observou-se uma nova perda de massa de 2,5%. A partir dos 400°C houve um decréscimo abrupto chegando ao final do ensaio com uma perda de massa de quase 40%. Para a grafite observa-se uma perda de massa de 2,5% até aos 300°C, e a partir daí começa um decréscimo de perda de massa até um total de 15%. No que diz respeito à pastilha composta com resina e grafite (10%) a perda total medida foi de cerca de 17,5%. Donde o valor encontrado é muito superior ao que se esperava da degradação apenas da resina e da grafite, levando a crer que há libertação de outros materiais.

## 5.2. Processamento das Pastilhas

Para determinar as melhores condições de processamento relativamente à pressão e temperatura, foram produzidas diferentes pastilhas fazendo variar estes dois parâmetros (Tabela 5).

**Tabela 5** - Valores relativos à pressão e temperatura para as várias pastilhas.

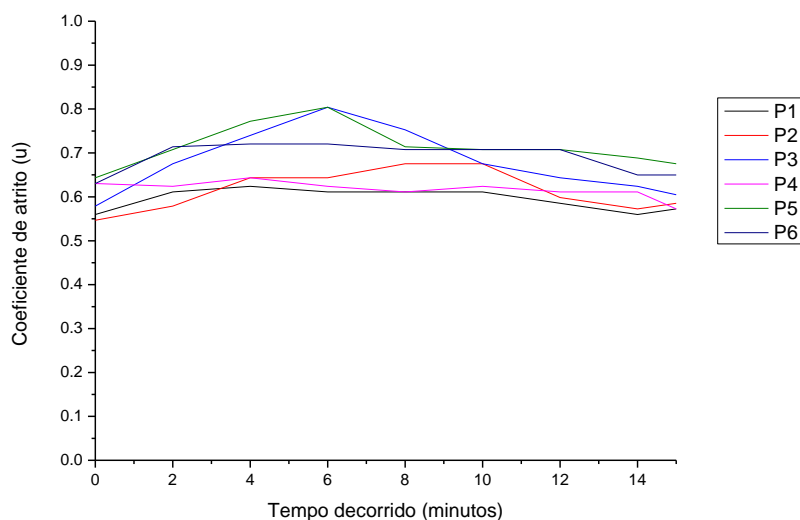
PASTILHA (5% RESINA)	PARÂMETROS DE CONFORMAÇÃO	
	Pressão (kPa)	Temperatura (°C)
<b>P1</b>	20 000	180
<b>P2</b>	20 000	210
<b>P3</b>	20 000	150
<b>P4</b>	15 000	180
<b>P5</b>	15 000	150
<b>P6</b>	15 000	210

Para definir as melhores condições pressão/temperatura as pastilhas foram apenas testadas no equipamento FAST, onde os parâmetros externos (temperatura ambiente e humidade relativa) estão compilados na Tabela 6. Uma vez que nos diferentes ensaios não existiram grandes variações da temperatura ambiente e da humidade relativa, as diferenças nos resultados foram dependentes apenas dos diferentes parâmetros de conformação.

**Tabela 6** – Parâmetros externos de ensaio (FAST).

PARÂMETROS EXTERNOS	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<b>Temperatura (°C)</b>	19	21	21	20	21	22
<b>Humidade relativa (%)</b>	50	50	58	44	40	39

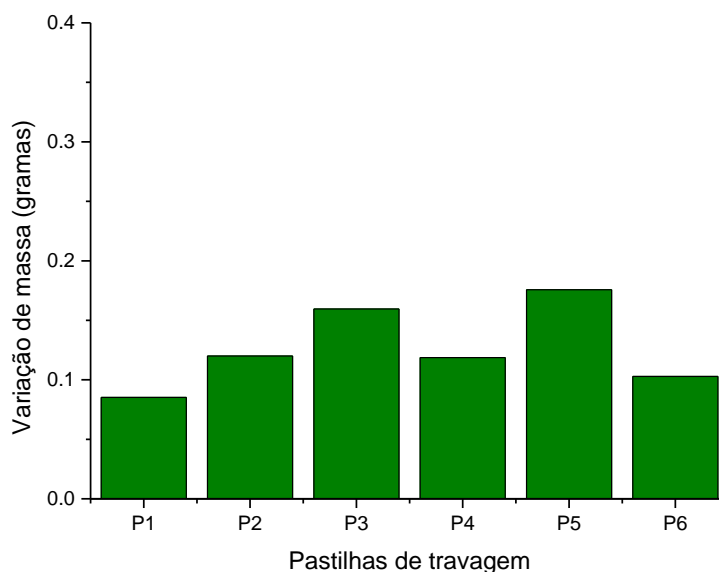
Os valores relativos ao coeficiente de atrito (Figura 16) apresentam um valor muito elevado para P3 e P5, atingindo nestes casos um coeficiente de atrito de 0,8. Contudo, com o decorrer do tempo e com aumento da temperatura o seu coeficiente de atrito diminuiu para 0,60 e 0,65, respetivamente. Tal como foi referido anteriormente este tipo de variações não permite grande estabilidade durante uma travagem, inviabilizando assim a sua utilização. Embora as restantes pastilhas não tenham atingido um coeficiente de atrito tão elevado, elas revelaram coeficientes de atritos adequados ao que se pretendia.



**Figura 16** – Gráfico representativo do coeficiente de atrito em função o tempo.

Em termos de comportamento ao desgaste, avaliado pela diferença entre a massa inicial e a final, observa-se na Figura 17 que as pastilhas P3 e P5 apresentam maior taxa de desgaste. Por outro lado, a pastilha P1 é a que apresenta menor taxa de desgaste.

Como a P1 foi uma das pastilhas que revelou maior estabilidade ao longo do tempo (relativamente ao coeficiente de atrito) e uma menor taxa de desgaste, então os seus parâmetros de conformação foram os selecionados para a continuação do estudo. Além disso, a temperatura necessária para a sua produção era menor do que para as outras pastilhas com comportamentos tribológicos semelhantes (P2 e P6).



**Figura 17** – Gráfico representativo da variação de massa (gramas) em função de cada pastilha processada.

Depois de otimizar os parâmetros de conformação das pastilhas (temperatura e pressão), o estudo prosseguiu com a análise do efeito da variação da quantidade de resina e de grafite.

### 5.3. Variação do teor de resina

Após selecionadas as melhores condições de pressão/ temperatura a utilizar, procedeu-se à otimização da percentagem de resina. Para tal foram processadas pastilhas de travagem com diferentes percentagens de resina (em peso), Tabela 7, selecionando-se posteriormente o melhor teor a adicionar, tendo em consideração os resultados dos ensaios em Pino-disco e FAST. Como comparação foram efetuados os mesmos ensaios para uma pastilha padrão e para uma pastilha processada por Xavier (2016).



Tabela 7 – Composição das pastilhas de travagem.

COMPOSIÇÃO DAS PASTILHAS		
Designação da Pastilha	% Sucata	% Resina
P7	97,5	2,5
P1	95,0	5,0
P8	82,5	7,5
P9	90,0	10,0

### 5.3.1. Coeficiente de atrito e desgaste

#### 5.3.1.1. Pino-disco

Inicialmente recorreu-se ao equipamento Pino-disco de forma a poder compreender o comportamento das pastilhas a diferentes gamas de temperatura.

A Figura 18 apresenta os vários resultados seccionados por diferentes gamas de temperatura; os gráficos (a), (b), (c) e (d) são correspondentes respetivamente aos ensaios a 50°C, 100°C, 150°C e 200°C.

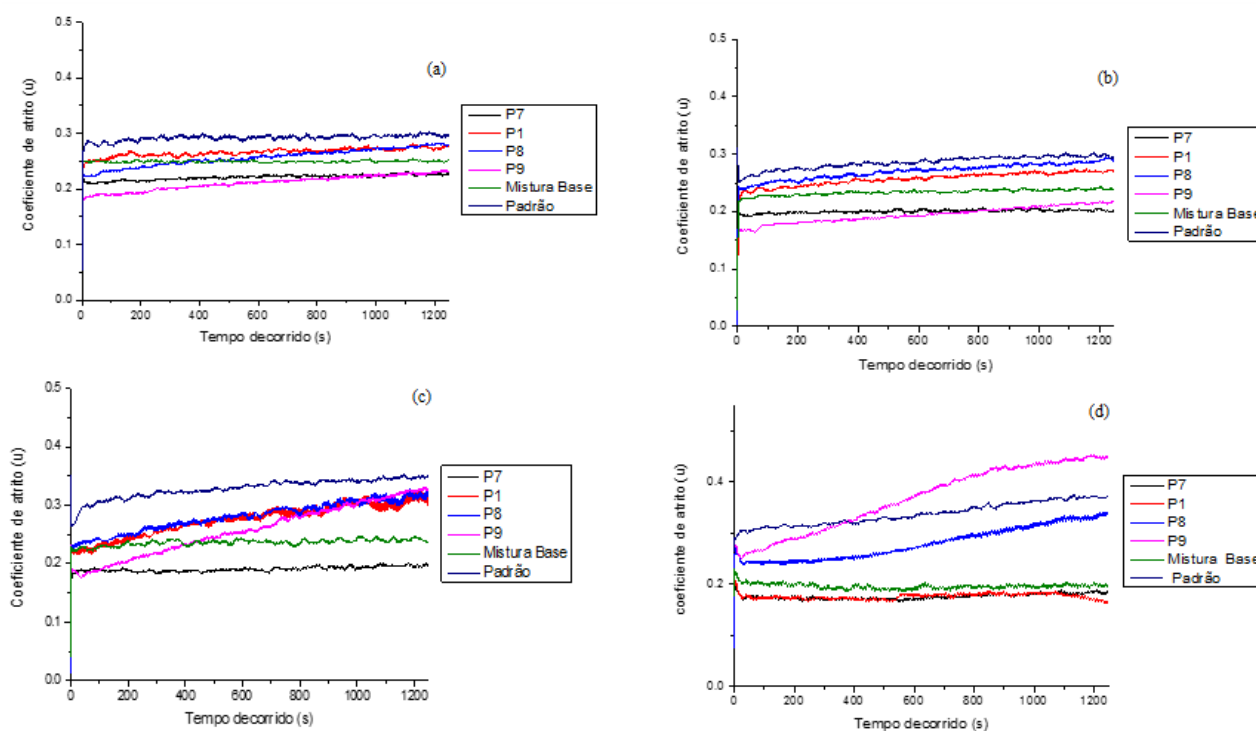


Figura 18 - Coeficiente de atrito função da temperatura (Pino-disco) a diferentes temperaturas 50°C (a), 100°C (b), 150°C (c) e 200°C (d).

Na figura anterior é possível observar-se que para as primeiras gamas de temperatura (50°C e 100°C) não existe grande diferença entre as pastilhas em teste, enquanto para gamas superiores as pastilhas revelam comportamentos bastante diferentes. Para temperaturas mais elevadas as pastilhas P7 e P1 têm um coeficiente de atrito bastante inferior ao da pastilha padrão. As pastilhas P8 e P9 aumenta-o de uma forma constante ao longo do tempo. Uma vez que estas pastilhas contêm maiores percentagens de resina, e tendo em consideração que há uma variação de peso desde os 150 °C (cf.5.1.2), este incremento contínuo do coeficiente de atrito pode dever-se à penetração do pino na pastilha, aumentando a área de contacto.

### 5.3.1.2. *Friction Assessment Screening Test*

De seguida recorreu-se ao equipamento FAST para comprovar os resultados do Pino-disco, possibilitando uma análise mais realista do comportamento das pastilhas.

Na utilização do equipamento FAST, as pastilhas estiveram sujeitas a certos parâmetros externos sendo estes representados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Valores de temperatura e humidade relativa para as pastilhas.

PARÂMETROS	P7	P1	P8	P9	Padrão	Mistura base
Temperatura (°C)	22	23	20	22	19	20
Humidade relativa (%)	36	54	38	48	39	43

A Figura 19 demonstra que inicialmente certas pastilhas apresentam coeficientes de atrito semelhantes aos da pastilha comercial testada. Com o decorrer do tempo estes acabam por ficar inferiores devido ao aumento da temperatura que proporciona o fenómeno de *fade* ou *fading*. Este fenómeno caracteriza-se pela perda da eficiência momentânea do sistema de travagem devido ao sobreaquecimento dos materiais de atrito. Apesar disto, todas as pastilhas apresentaram um coeficiente de atrito maior ao longo do ensaio relativamente ao da pastilha da mistura base. Contudo todas as pastilhas processadas à exceção da P1 apresentam um comportamento bastante instável ao longo do ensaio.

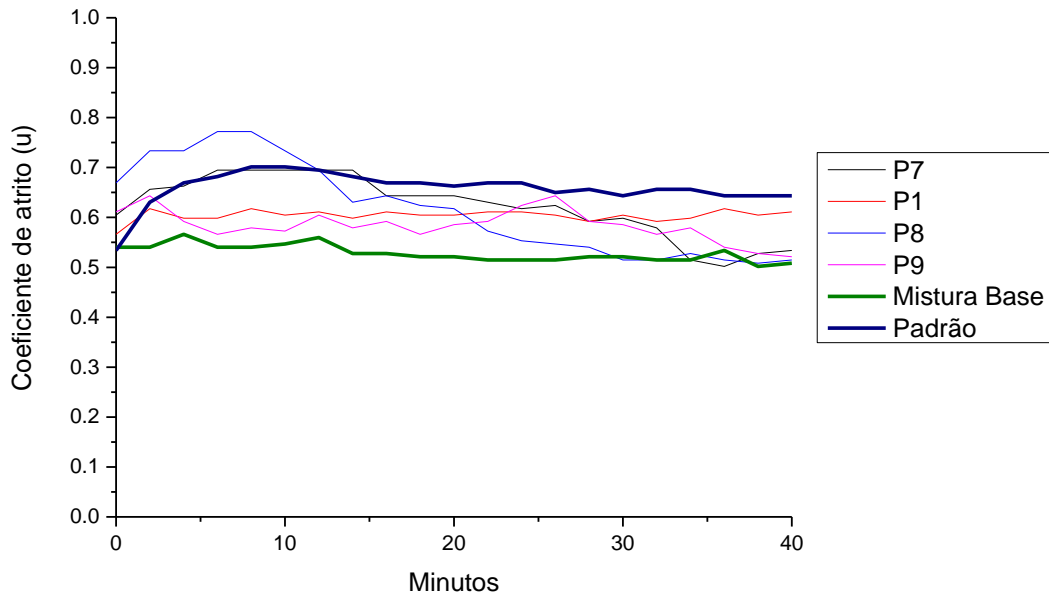


Figura 19 – Coeficiente de atrito das pastilhas em função da temperatura

No que concerne o desgaste (Figura 20), de um modo geral as pastilhas apresentam uma taxa de desgaste superior à da pastilha comercial. A pastilha constituída com a mistura base possui uma menor taxa de desgaste do que as pastilhas P1, P7 e P8, devido ao menor coeficiente de atrito.

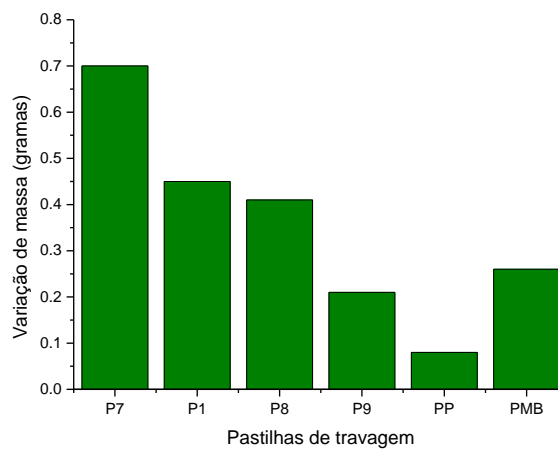


Figura 20 – Desgaste das pastilhas.

Tendo em conta o coeficiente de atrito e desgaste a percentagem de resina selecionada foi de 5% (P1). Apesar de não ter apresentado a melhor taxa de desgaste, demonstrou um coeficiente de atrito mais estável em todos os ensaios.

#### 5.4. Variação da grafite

Os sistemas de travagem, durante a sua utilização, estão sujeitos a muitos fatores que podem afetar o seu desempenho como o coeficiente de atrito, o desgaste e a temperatura do disco.

O objetivo é ter pastilhas com um coeficiente de atrito estável ao longo do tempo, e o menor desgaste possível de forma a aumentar o tempo de vida útil. Para a obtenção destes requisitos é necessário ter em conta a temperatura gerada durante a fricção entre a pastilha e o disco de travagem, pois durante as travagens a energia de atrito é transformada em calor. A pressão das pastilhas contra os discos faz com que o carro trave, a força é conseguida através da pressão hidráulica criada ao acionar o pedal do travão.

Com a incorporação de grafite na constituição da pastilha o que se pretende é que esta funcione como um lubrificante sólido, fazendo com que o coeficiente de atrito seja mais estável e o desgaste o mais baixo possível, aumentando o período de vida útil da pastilha e do disco.

Para determinar a melhor de percentagem de grafite a adicionar, foram processadas diversas pastilhas, com diferentes teores de grafite (Tabela 9).

**Tabela 9** - Composição das diferentes pastilhas processadas.

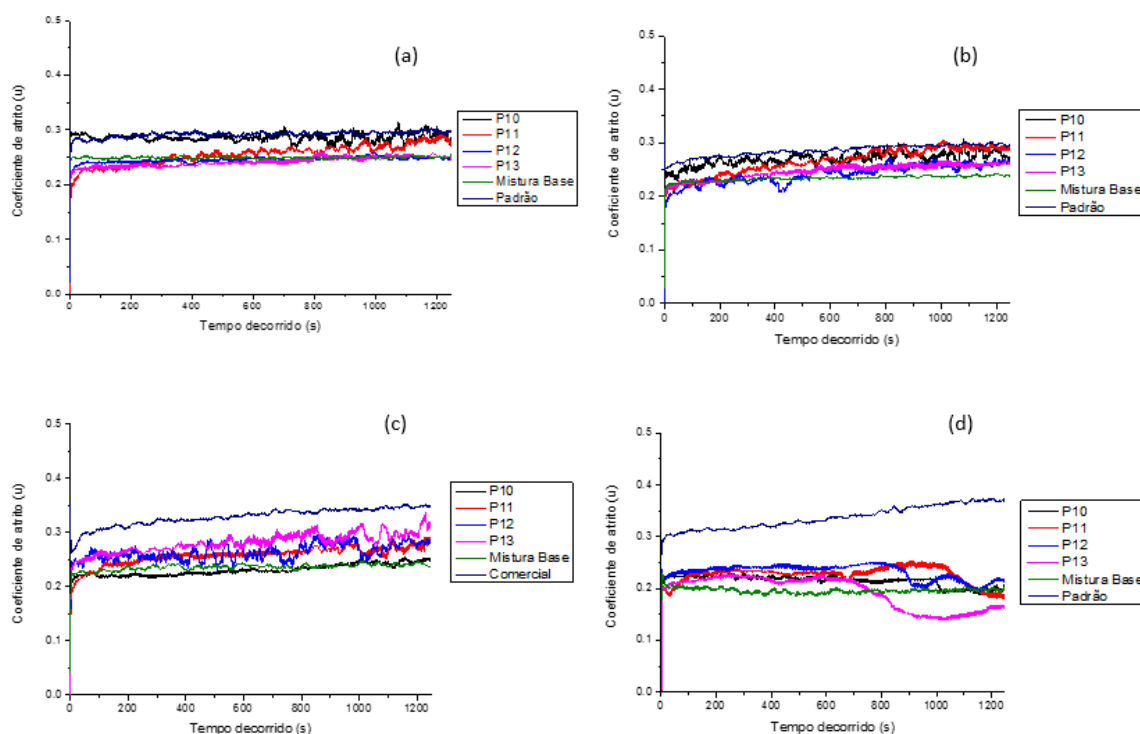
<b>COMPOSIÇÃO DAS PASTILHAS COM GRAFITE</b>			
	<b>Sucata</b>	<b>Resina</b>	<b>Grafite</b>
<b>P10</b>	92,5%	5%	2,5%
<b>P11</b>	90,0%		5,0%
<b>P12</b>	87,6%		7,5%
<b>P13</b>	85,0%		10,0%

### 5.4.1. Coeficiente de Atrito e desgaste

Como previamente descrito na metodologia, o coeficiente de atrito foi medido através de dois métodos distintos: Pino-disco e FAST. O primeiro permite verificar as alterações do coeficiente de atrito das pastilhas de travagem a diferentes temperaturas. O segundo método é aquele que tem maior semelhança com a realidade relativamente desempenho das pastilhas de travagem.

#### 5.4.1.1. Teste Pino-Disco

A Figura 21 apresenta os vários resultados, seccionando-os por diferentes gamas de temperatura sendo os gráficos (a), (b), (c) e (d) correspondentes aos ensaios a 50°C, 100°C, 150°C e 200°C respetivamente.

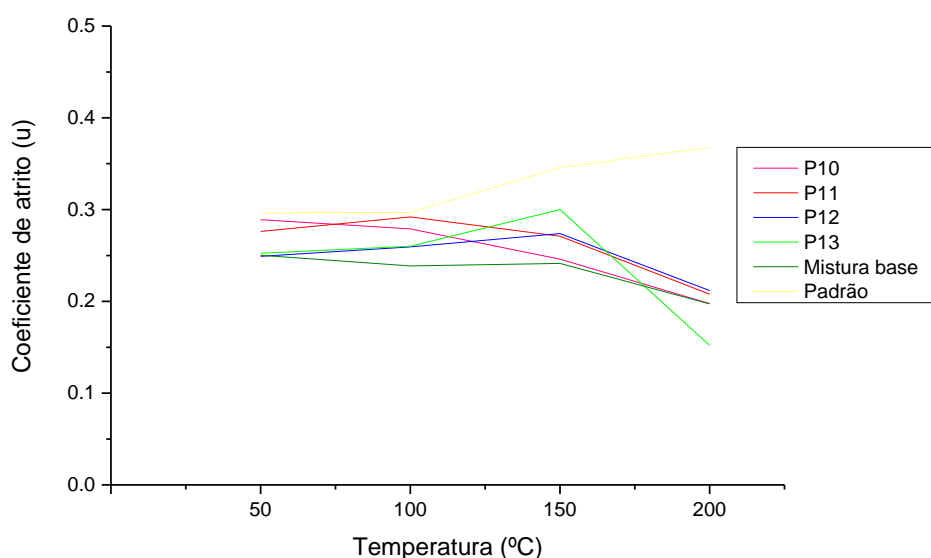


**Figura 21** – Variação do coeficiente de atrito com a temperatura (teste Pino-Disco).

Apesar de nas duas gamas de temperatura mais baixas (50°C e 100°C) as pastilhas apresentam um comportamento (em termos de coeficiente de atrito) bastante semelhante, com o aumento da temperatura há uma disparidade cada vez maior da pastilha comercial em relação às restantes. As pastilhas com uma percentagem de grafite mais baixa

apresentam um coeficiente de atrito superior em relação ao da pastilha com uma mistura base sem qualquer tipo de adição de grafite, apesar de ser evidente a sua maior instabilidade e a ocorrência do fenómeno de *fade*. A pastilha comercial, ao contrário das outras pastilhas, apresenta um aumento no coeficiente de atrito que se acentua em particular a partir de 150°C. Para as pastilhas P12 e P13, nas gamas de temperatura mais elevadas, foram repetidos os ensaios várias vezes, devido às pastilhas conterem maiores distribuições de grafite, que influenciam o desgaste durante o ensaio, logo o aumento da área de contacto, que podia influenciar os valores de atrito medidos.

A Figura 22 apresenta os valores de coeficiente de atrito em função da temperatura.



**Figura 22** - Valor do coeficiente de atrito em função da temperatura.

De acordo com a figura, para temperaturas no intervalo de 50°C aos 100°C, as pastilhas apresentam um coeficiente de atrito similar. Com o aumento da temperatura há um aumento do coeficiente de atrito no caso da pastilha comercial ao invés das restantes pastilhas, que assumem um comportamento inverso. É de destacar que a pastilha P13 revela em relação às restantes um decréscimo ainda mais acentuado.

### 5.4.1.2. FAST (*Friction Assessment Screening Test*)

Os ensaios foram realizados em condições semelhantes de temperatura inicial do disco: temperatura ambiente, pressão e de humidade relativa de cerca de 55%. A Figura 23 apresenta a variação do coeficiente ao longo do ensaio FAST, dividida em zonas designadas por travagens de curta, média e longa duração.

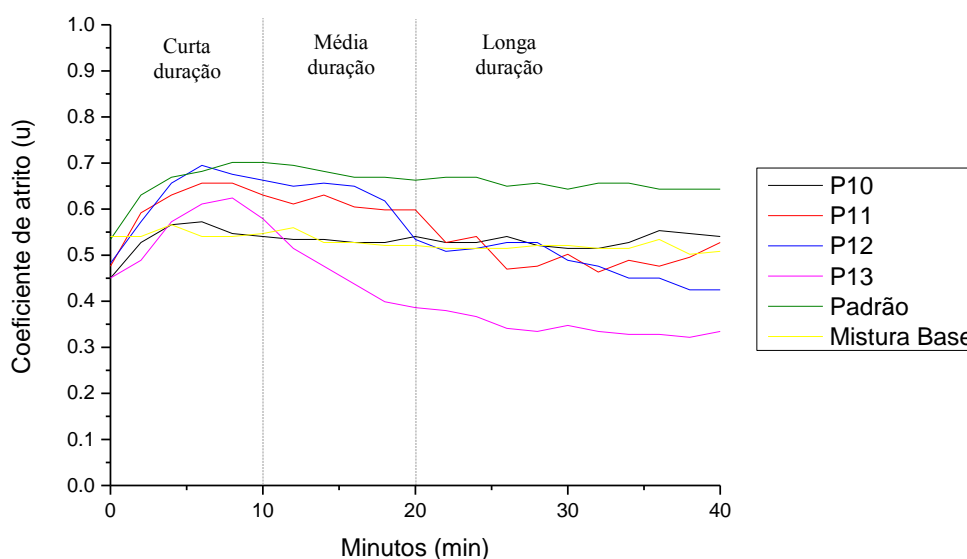


Figura 23 – Variação do Coeficiente de atrito com a temperatura (FAST).

De notar que a pastilha padrão apresenta um coeficiente de atrito superior durante todo o ensaio em relação a todas as outras pastilhas. Apesar de as pastilhas P11 e P12 numa fase inicial apresentarem valores de coeficiente de atrito semelhantes aos da pastilha padrão, este valor decresce terminando o ensaio com valores de coeficiente de atrito semelhantes aos da pastilha com mistura base sem aditivos. Este facto pode ser atribuído ao aumento da temperatura que causa o fenómeno de *fade*. O mesmo comportamento é visível na pastilha P13 apresentando valores de coeficiente de atrito muito abaixo de todas as outras. A pastilha P10 apresenta um comportamento semelhante ao da mistura base. Assim, apesar de a grafite ser um lubrificante sólido, quanto maior for a sua percentagem maior é a ocorrência do fenómeno de *fade*. Considerando um tempo de travagem curto as pastilhas revelam comportamentos semelhantes ao da pastilha padrão ou seja, em geral coeficientes de atrito mais elevados do que o da pastilha sem aditivos (mistura base), que se mantém

inalterável até ao final do ensaio. Contudo, para períodos de média e longa duração as pastilhas processadas com aditivos começam a apresentar fenómenos de instabilidade, entre os quais o *fade*.

A Figura 24 mostra que a pastilha padrão apresenta um menor desgaste em relação ao das restantes pastilhas, todas as pastilhas, exceto a P10, apresentam menor desgaste do que a mistura base. Com a adição de grafite, como o esperado, ocorre um menor desgaste.

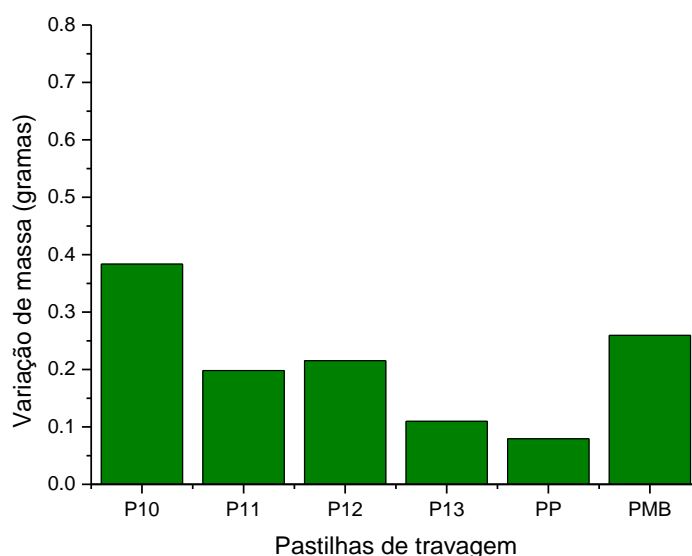
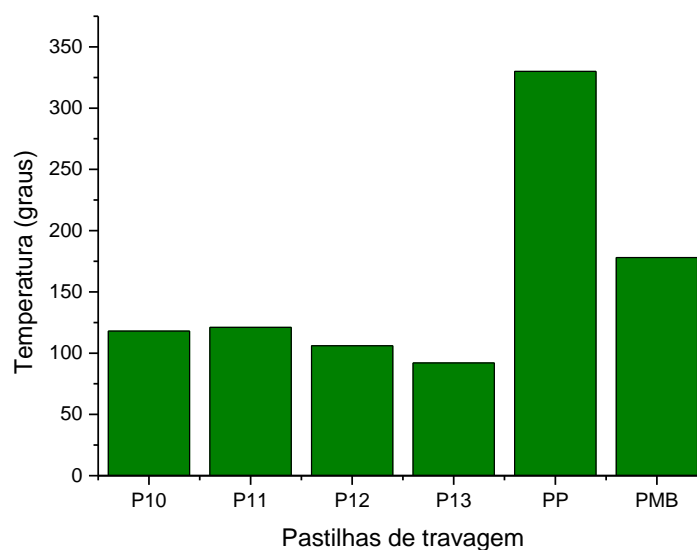


Figura 24 - Desgaste das pastilhas com adição de grafite

A Figura 25, mostra que em relação à temperatura final do disco todas as pastilhas com adições de grafite implicam um menor aquecimento do disco. Este comportamento advém da propriedade lubrificante da grafite e também à sua condutividade térmica que permite uma melhor distribuição por toda a pastilha da temperatura gerada pelo atrito.





**Figura 25** - Temperatura final no disco após ensaio.

Como referido, segundo Talati *et al.* (2009), as pastilhas de travagem estão sujeitas a enormes tensões térmicas durante as fortes travagens, originando dois possíveis efeitos: choque térmico, que origina fissuras na superfície da pastilha; e grandes deformações plásticas no disco. Estes defeitos poderão ser atenuados pela presença da grafite na pastilha.

No entanto, a adição de grafite não parece ter uma influência positiva no coeficiente de atrito entre a pastilha e o disco, mas implica menor desgaste. Também com o aumento da percentagem de grafite se confirma a ocorrência de uma redução da temperatura resultante do atrito entre o corpo e o anticorpo evitando os potenciais efeitos adversos anteriormente referidos.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma pastilha de travagem usando maioritariamente resíduos. Mais concretamente, o estudo incidiu sobre a influência da grafite nas pastilhas de travagem, tendo como materiais de base resíduos de VFV com a adição de um teor otimizado de resina. A grafite proveio de eléctrodos de penetração, em fim de vida (resíduos), usados para conformar material no essencial pela indústria metalomecânica.

Para a compreensão do efeito das adições no comportamento tribológico das pastilhas processadas recorreu-se a dois testes: Pino-disco e o FAST.

Depois de seleccionados os parâmetros de conformação, foram variadas a temperatura e a pressão, mas ficou demonstrado que nas gamas estudadas, estas variáveis não induziram grande diferença no comportamento tribológico da pastilha. Assim, ele depende essencialmente da composição da mistura.

Concluiu-se que a resina tem um papel importante na ação de ligação aos vários constituintes. Quando esta é sujeita a altas temperaturas perde as suas propriedades, levando assim à desagregação dos restantes materiais. Este fator conduz assim a maiores perdas de massa e instabilidade nas pastilhas de travagem.

As pastilhas com maior percentagem de resina apresentaram maior instabilidade com o aumento da temperatura. A pastilha com 5% de resina, apesar de ter sofrido um desgaste considerável foi a que possui um coeficiente de atrito mais estável. Devido ao comportamento viscoelástico e à instabilidade apresentada pelas pastilhas com maiores percentagens de resina (7,5% e 10%), pode ser concluído que se a resina for o único ligante na mistura, a percentagem a utilizar deve ser inferior a 7,5%. Desta forma diminuir-se-á a probabilidade da pastilha de travagem apresentar um comportamento instável a temperaturas mais elevadas.

Os mesmos testes, mas fazendo variar as percentagens de grafite na pastilha de travagem, não promoveu grandes melhorias em relação ao coeficiente de atrito da pastilha de travagem. Contudo, todas as amostras revelaram um desgaste bastante inferior a uma pastilha sem adição de grafite. A quantidade de grafite utilizada influencia a temperatura de que se desenvolve por atrito entre a pastilha e o disco.

As principais conclusões deste estudo são que, apesar das amostras estudadas não apresentarem comportamentos tribológicos similares aos da pastilha padrão, a adição de grafite melhorou significativamente o desgaste e contribuiu para a diminuição da temperatura gerada durante a fricção. Assim, é importante a sua inclusão na composição das pastilhas de travagem, mas será necessário outros aditivos para se conseguir atingir o comportamento tribológico da pastilha padrão.

### **6.1. Sugestões para trabalhos futuros**

Os dois principais testes realizados neste estudo, apesar de permitirem estabelecer uma relação entre as pastilhas analisadas e o comportamento tribológico durante o serviço, não possibilitam verificar se elas cumprem as normas exigidas para a sua comercialização. A adaptação/criação de testes adequados possibilitaria um estudo mais completo.

De forma a melhorar o comportamento tribológico da pastilha aconselha-se a adição complementar de outros materiais de reforço como cerâmicos e fibras naturais ou sintéticas.

Dado que os resíduos deste estudo foram sujeitos a moagem, seria também relevante em estudos futuros perceber a influência do tamanho das partículas no comportamento tribológico das pastilhas de travagem.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ABNT), A. B. (1998). *Guarnições de embreagem e do freio - Material de fricção do tipo orgânico - Verificação das características de fricção e desgaste - Ensaio FAST, NBR 7813*. Rio de Janeiro.
- (ACAP), A. A. (2010). *Reciclagem de Veículos em Fim de Vida (VFV)*. Lisboa.
- (APA), A. P. (2011). *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020*.
- (ASTM), A. S. (2004). *Standart Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus - G99-04*. Estados Unidos da América.
- A.Thorpe, & R.Harrison. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. Em *Science of the Total Environmental* (pp. 270-282).
- Agência Portuguesa do Ambiente, A. (2007). *PERSU II – Plano Estratégico para a Gestão de Resíduos Urbanos: 2007-2016*.
- APA. (2016). *Agência Portuguesa do Ambiente*. Obtido em 18 de Maio de 2016, de <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=277>
- Birch, T. (1999). *Automotive Braking Systems*.
- Ciuccio, M. T. (2004). *Estudo de tendências e oportunidades no desenvolvimento sustentável para reciclagem de veículos e seus materiais*. Tese de Mestrado, S.Paulo.
- Civil, L. N. (2004). *Comportamento do Alumínio Anodizado à Corrosão Atmosférica*. Lisboa.
- Duarte, A. M. (2010). *Acompanhamento e Análise da Degradação em Componentes Mecânicos*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- Fernandes, M. A. (2009). *Processamento de Veículos em Fim de Vida e análise da viabilidade da reciclagem dos resíduos resultantes da sua fragmentação*. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Departamento de Biologia Animal, Lisboa.
- Ferrão, P. M. (Novembro de 2014). *Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2014-2020*.
- Ferreira, A. M. (2015). *Novas matérias-primas para travões de veículos pesados, outra toxicidade?* Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra.
- Ferreira, J., & Olhero, S. (s.d.). Al-rich sludge treatments towards recycling. *Journal of the European Ceramic Society*, 2243-49.
- Góis, J. C. (2015). *Evolução histórica da produção e gestão de resíduos*. Coimbra.
- Góis, J. C. (2015). *Hierarquia na Gestão dos Resíduos*.
- Gomes, V. (2005). *Desenvolvimento e Caracterização de Pigmentos Cerâmicos baseados em Alumina e Mulita obtidos a partir de lama de anodização de alumínio*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- J661, N. S. (1958). *Brake Lining Quality Control Test Procedure*". *The Engineering Society for Advanced Mobility Land Sea Air Space. American Nacional Standard*.

- José, D., Braz, D., Prais, L., César, C., & Henrique, P. (Abril de 2016). *Eletroerosão*. Obtido em 17 de Maio de 2016, de [http://pt.slideshare.net/joao\\_casemiro/eletroeroso?next\\_slideshow=1](http://pt.slideshare.net/joao_casemiro/eletroeroso?next_slideshow=1)
- Kratochvil, R. (2004). *Fresamento de Acabamento em Altas Velocidades de Corte para Eléctrodos de Grafite Industrial*. Dissertação de Mestrado, Florianópolis. Obtido em 17 de Maio de 2016
- Labrincha, J., Pereira, A., & C.Boia. (2001). *Materiais à base de alumina obtidos por sinterização de lamas de anodização e lacagem de alumínio*. Aveiro.
- Lagel, M., Hai, L., Pizzi, A., Bass, M., Delmotte, L., Abdalla, S., . . . Al-Marzouki, F. (Fevereiro de 2016). Automotive brake pads made with a bioresin matrix.
- Liew, K., & Nirmal, U. (2013). *Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials*. Faculty of Engineering and Technology, Multimedia University, Malaysia.
- Limpert, R. (1999). Brake Design and Safety. Em *Society of Automotive Engineers* (2nd Edition ed.).
- Martins, G. G. (2011). *Gestão de resíduos provenientes de Veículos em Fim de Vida – análise da situação no Brasil e em Portugal*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Ministério das Cidades, O. d. (s.d.). Decreto-lei n.º 196/2003 de 23 de Agosto. *Diário da Republica n.º 194 – 23 de Agosto de 2003 - I Série-A*.
- Nagesh, S., Siddaraju, C., Prakash, S., & Ramesh, M. (2014). *Characterization of Brake Pads by Variation in Composition of Friction Materials*.
- Neis, D. (2008). *Projeto e Construção de um Tribómetro para estudos relacionados a materiais de fricção veiculares*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande Sul , Porto Alegre.
- Neis, P. D. (2008). *Projeto e Construção de um Tribómetro para estudos relacionados a materiais de fricção veiculares*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Porto Alegre.
- Paião, G. J. (2012). *Caracterização do comportamento tribológico de revestimentos autolubrificantes depositados por PVD*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra.
- Pina, E. A. (2012). *Projeto de um monolugar – Dimensionamento do sistema de travagem*. Relatório do Projeto Final, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Proença, J. P. (2015). *Gestão de Resíduos Sólidos em Vazadouros não Controlados*. Tese de Mestrado em Sistemas Integrados de Gestão, Instituto Politécnico da Guarda, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
- S.Ramousse, Hoj, J., & Sorensen, O. (2001). Thermal Characterization of Brake Pads. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetri*, 64, 933-943.
- Schmidt, I., & Sabo, S. C. (2008). *Princípios e Processos da Usinagem por Eletroerosão*. Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia.
- Serbino, E. (2005). *Um estudo dos mecanismos de desgaste em disco de freio automotivo ventilado de ferro fundido cinzento perlítico como grafita lamelar*. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

- Silva, H. X. (2016). *Poderão os resíduos de automóveis ser utilizados como matéria-prima para materiais de fricção?* Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra.
- Talati, F., & Jalalifar, S. (2009). *Analysis of heat conduction in a disk brake system*.
- U.D. Idris, V. A. (2015). Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 27, 185-192.
- Uexküll, O. v., Skerfving, S., Doyle, R., & Braungart, M. (2005). Antimony in brake pads-a carcinogenic component? *Journal of Cleaner Production*, 13, 19-31.
- V.Gomes. (2005). *Desenvolvimento e caracterização de pigmentos cerâmicos baseados em alumina e mulita obtidos a partir de lama de anodização de alumínio*. Tese Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Valorcar. (2016). Obtido de <http://www.valorcar.pt/quemsomos/quem-somos.html>
- Zepka, S., Silva, M. M., Reis, D. A., Ueda, M., & Reis, A. G. (2015). *Êxito do tratamento de implantação iônica por imersão em plasma na resistência ao desgaste da liga Ti-6Al-4V\**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, Universidade Federal de S.Paulo.