

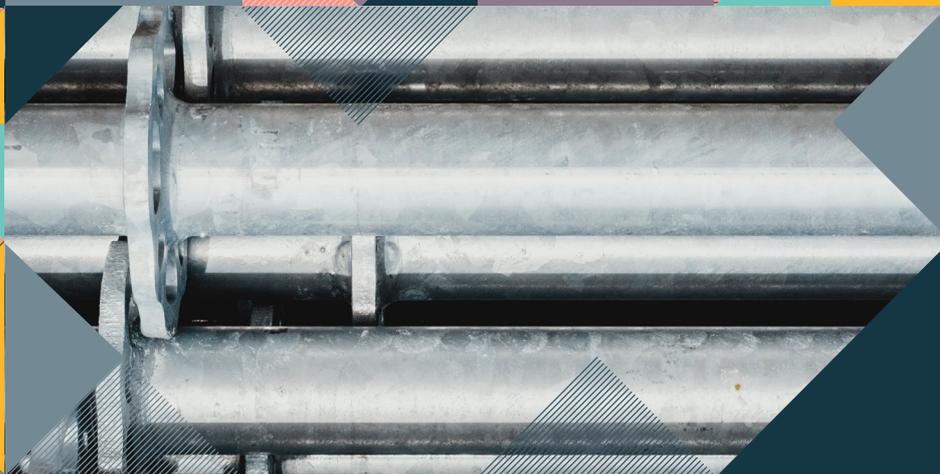
# CIÊNCIA & TECNOLOGIA <sup>DOS</sup> MATERIAIS

EDI  
TO  
RIAL

DI  
VI  
SÕES

2021  
VOL. 33

Nº2



MATERIAIS  
METÁLICOS

NO  
TÍ  
CI  
AS



SOCIEDADE  
PORTUGUESA DE  
MATERIAIS

REVISTA



## SOLUÇÕES PARA CONFORMAÇÃO DE TUBO E CHAPA

CURVADORAS  
DE TUBO



CONFORMADORAS  
DE TUBO



CURVADORAS  
DE VIGAS



PERFILADORAS  
DE CHAPA



**VLB GROUP**

Rua da Indústria, 40  
4770-367 Mouquim - V. N. de Famalicão  
Portugal  
Tel. +351 252 213 484  
Email: sales@vlb-group.com



## FICHA TÉCNICA

**DIRETOR**  
Jorge Lino

**CONSELHO EDITORIAL**  
Manuela Oliveira  
Joana Sousa

**EDITOR CONVIDADO**  
Luís Filipe Malheiros  
Manuel Vieira

**PROPRIEDADE E REDACÇÃO**  
Sociedade Portuguesa de Materiais

**PAGINAÇÃO**  
WOP / World of Printing

Sociedade Portuguesa de Materiais  
Apartado 4538 EC Carnide  
1511-970 Lisboa

BEM-VINDO!

**05 EDITORIAL**

- . Luis Filipe Malheiros e Manuel Vieira

**06 ARTIGOS DE OPINIÃO**

- . O Ferro Fundido ainda é um Tópico Quente
- . A Indústria do Metal: Desafios Associados a um Novo Padrão de Sustentabilidade
- . As Bicicletas, a Indústria e a Metalomecânica

**24 EMPRESAS**

- . Novos Desafios na Indústria do Aço: Qual o Impacto das Tendências do Mercado, Nomeadamente o Mercado Automóvel, no Processo de Fabrico do Aço
- . The future of lasers will be magical

**32 ENTREVISTA**

- . Professor José Manuel Torralba

**34 ARTIGOS**

- . Aplicação da Vibração Ultrassónica no Tratamento de Metal Líquido de Ligas de Alumínio
- . Indústria 4.0: Revolução Industrial no Processo de Fusão de Aço

**53 PERSPETIVAS**

- . Uma Perspetiva para a Utilização de Novos Materiais em Sistemas Ferroviários
- . Os Metais e os Novos Desafios

**61 DISSEMINAÇÃO DE PROJETOS I&DT**

- . PROJETO NanoTIC
- . Projeto On-Surf
- . GEAR3D

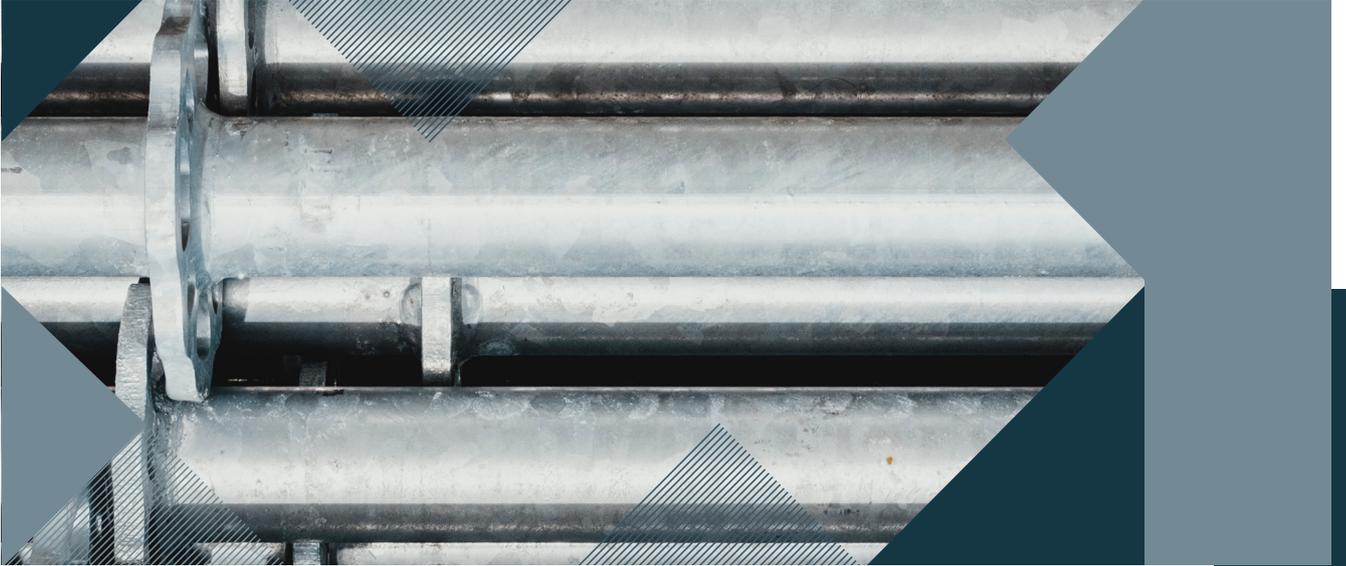
**68 DIVISÕES TÉCNICAS**

- . Apresentação de todas as DT'S

**70 NOTÍCIAS E EVENTOS**

- . Celulares auxéticos usando microfundição assistida por manufatura aditiva – O futuro da ferrovia?
- . Prémio Mário Ferreira
- . Novos corpos Sociais da SPM
- . Prémios FEMS
- . Dia Mundial dos Materiais
- . ENEM 2021
- . Materiais 2022 e Junior Euromat 2022
- . Estudo do Impacto
- . Conferências ERC
- . Workshop on Additive Manufacturing
- . Webinar de Tratamentos Térmicos
- . Seminário Temático

**88 LISTA DE PERITOS E SÓCIOS COLETIVOS**



# MATERIAIS METÁLICOS

***Os materiais metálicos apresentam, de um modo geral, elevada resistência mecânica e podem ser processados recorrendo a diversas tecnologias. A combinação de propriedades e aplicações dos materiais metálicos torna-os essenciais para o desenvolvimento económico de qualquer país, sendo de relevar a sua utilização desde a Idade dos Metais (aproximadamente 5000 a.C.) até aos dias de hoje.***

Durante o século XX, a variedade de materiais metálicos e suas aplicações aumentou significativamente. Entretanto, para além das aplicações em massa, como o aço na construção civil e o alumínio na indústria da mobilidade, tem-se vindo a registar uma inovação contínua, a um ritmo acelerado, visando o seu desenvolvimento de modo a adequá-los às novas expectativas e necessidades da sociedade moderna. Poder-se-á, assim, afirmar que os metais continuam a desempenhar um papel importante ao ajudar-nos a enfrentar os desafios da vida do século XXI.

Em particular nas economias emergentes, mas também nos países industrializados, a procura por metais tem aumentado de forma rápida. A nível nacional, o sector metalúrgico e metalomecânico é o único que tem vindo a registar taxas de crescimento de dois dígitos na economia nacional, estando o tecido industrial da área muito concentrado na Zona Norte.

O sector tem sido apelidado de “campeão das exportações”, assegurando isoladamente 23% das vendas externas da indústria transformadora.

Entretanto, convém não esquecer que os materiais metálicos também fazem parte do desafio que a sociedade enfrenta na sua transição para uma “economia verde”, de baixas taxas de carbono e mais eficiente em termos da utilização dos seus recursos. Tal desiderato implicará seguramente a adoção de medidas como o design eficiente, um uso mais intensivo e o alargamento da vida útil dos produtos.

Para este número especial da revista, decidiu-se compilar uma série de contributos de um conjunto de individualidades de mérito reconhecido nesta área, que muito gentilmente acederam ao convite oportunamente endereçado para se pronunciarem sobre as perspetivas futuras dos materiais metálicos.



Luís Filipe Malheiros



Manuel Vieira

# O FERRO FUNDIDO AINDA É UM TÓPICO QUENTE

VÍTOR ANJOS

Diretor de Operações AAPICO Águeda | Diretor Geral do Centro de Inovação e Tecnologia N. Mahalingam - Associação

***A aplicação de ligas de ferro fundido, e em especial o ferro fundido nodular, está muito ligada ao setor automóvel, ligeiro e pesado. Em Portugal, de acordo com dados do CAEF e da Associação Portuguesa de Fundição, este é o principal setor de aplicação das peças produzidas nesta liga pelas fundições nacionais [1]. Mais de 85% da produção é destinada aos veículos automóveis [2].***

O setor automóvel está numa fase de profunda transformação, como uma fénix a tentar renascer das cinzas. São vários os motivos que abalam o setor automóvel, mas, neste artigo, destaco três.

Em primeiro lugar, o desafio tecnológico de implementar, em grande escala, alternativas ao uso de combustíveis fósseis. A pressão política para adoção de medidas rápidas de proteção ambiental e emissão zero de CO<sub>2</sub>, levou as OEMs a reorientar todos os seus investimentos em ID e a readaptar a sua oferta de veículos ao público. Instaurou-se um sentimento de incerteza quanto à tecnologia mais promissora, entre motor elétrico, célula de hidrogénio, combustível sintético ou outras.

Em segundo lugar, a mudança no paradigma do uso dos veículos nos grandes centros urbanos e pelas novas gerações de consumidores, onde se privilegia a utilização e não a posse. O veículo automóvel tem de ser repensado para uma nova forma de utilização, onde a experiência, conectividade, comodidade e flexibilidade são elementos chave. A entrada de novas empresas tecnológicas, com soluções de condução autónoma e conectividade, atraíram a atenção dos novos consumidores, expondo as fragilidades dos construtores automóveis tradicionais na agilidade para a adoção destas novas tecnologias.

Por fim, em terceiro lugar, destaco os fatores circunstanciais que nos últimos anos abalaram o setor automóvel. Desde o escândalo na *Volkswagen* sobre a manipulação das emissões de CO<sub>2</sub> em 2018, ao fecho das fábricas devido à pandemia da SARS-COV-2 em 2020, o consequente enfraquecimento da cadeia de abastecimento de microprocessadores

em 2021 e, mais recentemente, a escassez de matérias-primas e subida dos custos de energia que certamente continuarão a afetar o setor em 2022.

As empresas que dependem do setor automóvel também têm sofrido nos últimos anos de todos estes fatores, onde se inclui as de fundição, que, como indicado anteriormente, têm grande dependência deste setor.

Mas as fundições, e restantes fornecedores desta cadeia de valor, não devem ser apenas um passageiro nesta montanha russa de eventos e desafios. Têm de ser elementos ativos na procura de soluções para os seus clientes, pois assim estão a assegurar o seu próprio futuro.

## OS DESAFIOS PARA O SETOR DE FUNDIÇÃO

O setor automóvel, e em geral o dos transportes, procura avidamente soluções que permitam melhorar o desempenho dos novos veículos, com especial foco para a redução de peso e de ruído (*Noise Vibration and Harshness - NVH*).

A redução de peso nos veículos automóveis é um desafio constante em cada nova versão lançada para o mercado. Não apenas pela necessidade de reduzir o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub> nos veículos de combustão interna, mas também para aumentar a autonomia nos veículos elétricos (que ficam mais pesados devido à incorporação da bateria elétrica). Tomemos como exemplo a *Volkswagen*, com o modelo Golf IV de 1999 (motor a gasolina 2,8L V6 com 150 kW) pesava 1.382 Kg, e a versão atual Golf VIII de 2021 (motor a gasolina 2,0L TSI com 180 kW) que pesa

1.463 Kg [3] [4]. Entre estas duas versões, há um acréscimo de peso de 5,9% na versão mais recente, que resulta do aumento da carroçaria, mais conforto para os passageiros, *infotainment*, mais sistemas de segurança e de redução de emissões, apesar de todos os desenvolvimentos de novos componentes mais leves introduzidos no veículo. Se compararmos agora com o novo modelo elétrico iD3 Pro Performance (motor elétrico com 150 kW e bateria de 58 kWh), o peso é de 1.794 Kg, 22,6% mais pesado do que o Golf VIII do mesmo ano [5]. Ambos os veículos são da mesma gama e segmento. Este aumento significativo de peso nos veículos pela introdução das baterias deve ser combatido pela redução de peso noutros componentes, de forma mais drástica do que anteriormente. A solução mais comum para atingir estes objetivos tem sido substituir componentes de ferro fundido por componentes em ligas de alumínio e magnésio. E embora em determinadas aplicações esta seja a opção adequada, há outras onde a substituição não é viável por requisitos de resistência mecânica ou porque o ferro fundido pode ainda ser mais favorável na redução global da dimensão dos subconjuntos.

O ruído do automóvel é outro elemento a considerar no desenvolvimento de novos componentes, em particular devido à sua ressonância de vibração. Este era já um tópico importante nos veículos de combustão interna, mas torna-se ainda mais relevante nos veículos elétricos, onde a ausência do ruído do motor de combustão torna todos os outros ruídos mais perceptíveis pelo condutor, como o dos travões durante o seu uso, ou dos componentes do sistema de transmissão. Para este objetivo, o ferro fundido continua a ser um material interessante a considerar, devido à sua superior capacidade de amortecimento, quando comparado com as ligas de alumínio ou magnésio.

Dado este contexto de desafio tecnológico para redução de peso e de ruído, os construtores automóveis, mais do que materiais, procuram performance nos seus componentes. Procuram a melhor combinação entre material e design. Para ir ao encontro destas necessidades, têm sido realizados desenvolvimentos muito significativos pelas universidades, centros de inovação, empresas tecnológicas e fundições, para demonstrar que as ligas em ferro fundido podem ainda fazer parte da solução, não só para o setor automóvel, mas para todo o setor dos transportes que enfrentam os mesmos desafios.

## AS PRINCIPAIS CLASSES DE LIGAS DE FERRO FUNDIDO APLICADAS NO SETOR AUTOMÓVEL

Da aplicação industrial de ligas de ferro fundido, em particular no fabrico de componentes automóveis, destacam-se três classes distintas, apresentadas na **Figura 1**, que têm como elemento diferenciador a morfologia das partículas de grafite distribuídas pela matriz, formada durante a solidificação.



**Figura 1** - Morfologia das partículas de grafite nas três principais classes de ferro fundido, ISO 945-1:2017.

Cada uma das morfologias da grafite confere ao material diferentes propriedades mecânicas, como apresentado na **Tabela 1**, de forma resumida, para a mesma tipologia de matriz perlítica. O ferro fundido nodular, comparativamente com o lamelar, apresenta maior resistência à tração, maior limite elástico e maior alongamento, mas menor condutividade térmica e capacidade de amortecimento. O ferro fundido compacto tem propriedades intermédias [6] [7].

**Tabela 1** - Resumo das propriedades mecânicas, em função da morfologia da grafite, para as principais ligas de ferro fundido [6] [7].

PROPRIEDADES	F.F. Lamelar GJL250	F.F. Compacto GJV 450	F.F. Nodular GJS700
Resistência à tração Min. (MPa)	250	450	700
Módulo de elasticidade (GPa)	105	150	160
Alongamento (%)	0	1,5	2,0
Condutividade térmica (W/m.K)	48	38	32
Capacidade de Amortecimento ( $\eta$ ( $10^{-3}$ ))	30,7	10,3	2.2

Um outro elemento importante da definição das propriedades das ligas de ferro fundido é a natureza da matriz que, nas ligas mais tradicionais, varia entre totalmente ferrítica (grãos de fase a, constituídos

maioritariamente por Fe) e totalmente perlítica, composta por grãos de ferrite e cementite (Fe<sub>3</sub>C). A fração de perlite presente na microestrutura depende da composição química do ferro fundido, condições de solidificação (inoculação) e arrefecimento. Embora as ligas de ferro fundido lamelar sejam maioritariamente de matriz perlítica, nos ferros fundidos compactos e nodulares a fração de perlite varia, influenciado assim as propriedades mecânicas. Maiores frações de perlite na matriz aumentam a resistência mecânica do material e sua dureza, mas diminuem o alongamento e a capacidade de amortecimento. A **Tabela 2** apresenta um resumo das principais propriedades mecânicas de diferentes graus de ferro fundido nodular em função do tipo de matriz.

**Tabela 2** - Resumo das propriedades mecânicas das principais classes de ferro fundido nodular, em função do tipo de matriz, segundo a norma EN 1563:2012.

Classe de F.F. Nodular EN-GJS	Matriz	Resistência à tração Min. (MPa)	Limite Elástico 0,2% (MPa)	Alongamento Min. (%)
400-12	Ferrite	≥ 400	≥ 250	≥ 12
500-7	Ferrite > Perlite	≥ 500	≥ 320	≥ 7
600-3	Ferrite < Perlite	≥ 600	≥ 370	≥ 3
700-2	Perlite	≥ 700	≥ 420	≥ 2

Com base nestas propriedades, as diferentes ligas de ferro fundido encontram aplicação numa grande variedade de componentes no setor automóvel, nomeadamente:

- **Ferro Fundido Lamelar:** Discos de travão, blocos de motor de combustão interna, discos de embraiagem;
- **Ferro Fundido Compacto:** Blocos de motor de combustão interna, cabeçotes de motor, discos de embraiagem;
- **Ferro Fundido Nodular:** Corpo de travão, componentes de suspensão, cambotas, caixas de diferencial e outros componentes de transmissão.

Dependendo dos componentes e da sua exigência em operação, são selecionadas a ligas que permitem obter os melhores desempenhos. As ligas de ferro fundido lamelar são aplicadas em componentes nos quais se privilegia a capacidade de condutividade e dissipação térmica. Ligas de ferro fundido nodular são usadas em aplicações onde a resistência mecânica, nomeadamente limite elástico e alongamento, são importantes. O ferro fundido compacto, pelas suas características intermédias, tem sido um material de substituição do ferro fundido cinzento, principalmente em blocos de motor de combustão interna.

Nos últimos anos, e com o objetivo de melhorar o desempenho dos componentes automóveis, bem como reduzir o seu peso, várias novas variantes destes materiais têm sido desenvolvidas. Apresentaremos alguns exemplos recentes.

## DESENVOLVIMENTOS NAS LIGAS DE FERRO FUNDIDO PARA APLICAÇÃO NO SETOR AUTOMÓVEL E DOS TRANSPORTES

Para obter uma redução de peso num componente, é necessário trabalhar em conjunto em duas frentes: aumentar a resistência do material e otimizar o seu *design*, reduzindo a massa.

Ao longos dos últimos anos têm sido realizados avanços significativos nesse sentido, por via do desenvolvimento de ligas de ferro fundido de maior resistência, que permitem às equipas de engenharia a redução do peso dos componentes, mantendo a sua *performance*. Vejamos alguns exemplos.

### Ligas de alto silício

As ligas de ferro fundido nodular de alto silício ( $3,7\% \leq \text{Si} \leq 4,3\%$ ) têm revelado um crescente interesse por parte dos construtores automóveis, pois permitem maiores resistências à tração, mantendo um elevado alongamento à fratura. Isto significa que, em aplicações onde o alongamento é um requisito importante, podem ser aplicados agora materiais com maior resistência mecânica, mantendo o alongamento. A **Tabela 3** apresenta as três principais ligas de ferro fundido nodular de alto silício. É possível constatar, por comparação com a **Tabela 2**, por exemplo, que, para um mínimo de 10% de alongamento, é possível obter um material com 600 MPa de resistência à tração, por comparação com os 500 MPa da liga tradicional 500-7. Considerando o limite elástico (0,2% deformação), para o mesmo requisito de alongamento superior a 10%, verifica-se um aumento de 47%. Este aumento de resistência tem um impacto muito significativo nas potencialidades de redução de peso do componente.

**Tabela 3** - Classes de ligas de ferro fundido nodular de alto silício, segundo a norma EN 1563:2012.

Classe de F.F. Nodular alto-Si EN-GJS	Matriz	Resistência à tração Min. (MPa)	Limite Elástico 0,2% (MPa)	Alongamento (%)
450-18	Ferrite	450	350	18
500-14	Ferrite	500	400	14
600-10	Ferrite	600	470	10

Este resultado é obtido em grande medida pelo efeito que o silício tem em produzir uma matriz completamente ferrítica, que aumenta o alongamento. Ao mesmo tempo, atua como endurecedor por solução sólida, aumentando a resistência à tração e o limite elástico.

A matriz ferrítica destas ligas de alta resistência tem ainda três benefícios adicionais. Melhora a maquinabilidade das peças, permite que sejam submetidas a processos de soldadura por laser e aumenta a capacidade de amortecimento do material reduzindo assim os efeitos de ruído e vibração [8] [9] [10].

Um desenvolvimento realizado com base nas ligas de alto silício são as ligas *SiBoDur* desenvolvidas pela fundição *Georg Fischer Automotive AG*, inicialmente para aplicação em cambotas nos veículos da *Volkswagen*, mas mostrou-se útil para aplicação num vasto grupo de componentes. Para além do silício, é usado boro e cobre para melhorar as características de resistência ao impacto. A alta concentração de silício pode, em função do teor de silício usado, originar a fragilização da microestrutura e reduzir a resistência ao impacto. As ligas *SiBoDur* permitem manter os benefícios das ligas de alto silício e melhorar a resistência ao impacto [11].

Um exemplo das potencialidades destas ligas é o de uma junta de direção (*Steering knuckle*) produzido pela *Georg Fischer Automotive AG* (agora denominada *Fondium*, para a produção de ferro fundido), apresentado na **Figura 2**. Foi substituída a liga original (V1 na figura: EN-GJS400-15) na qual o componente pesava 4,39 Kg, por uma liga *SiBoDur* 700-10 (V3 na figura) seguida de otimização de design, passando o componente a pesar apenas 2,99 Kg, i.e., uma redução de 32% no peso [12].

Os desenvolvimentos destas ligas continuam, em algumas das universidades de referência europeia. Por exemplo, o Instituto de Fundição da Universidade *RWTH Aachen* (Alemanha), com quem o

grupo *Volkswagen* tem uma colaboração próxima, tem realizado vários projetos no desenvolvimento destas ligas de alto-silício, nomeadamente a adição de alumínio e inoculação *in-mould* [13] [14]. Estudam inclusivamente o efeito negativo nestas ligas da presença de elementos como vanádio, molibdénio, crómio, manganês e nióbio, cada vez mais presentes na sucata de aço usada pelas fundições [15]. Este é, de facto, um tópico para o qual as fundições devem estar atentas, e adaptarem-se para trabalhar no futuro com elevados teores destes elementos, se mantiverem o uso de sucata proveniente da produção de chassis de automóveis. Podem naturalmente também tentar encontrar vantagens da presença destes elementos.



**Figura 2** - Exemplo da redução de peso de um *steering knuckle* pela aplicação de ligas de alto silício e otimização de design [12].

### Ligas de Ferro Fundido Nodular Austemperado

As ligas comercialmente conhecidas como ADI (*Austempered Ductile Iron*, em Inglês; Ferro Fundido Nodular Austemperado, em Português) são ligas de ferro fundido nodular, submetidas a tratamento térmico, com propriedades mecânicas semelhantes às de alguns aços, mas mantendo as boas características de vazamento das ligas de ferro fundido. Os vários graus de material estão já definidos na norma EN1564:2011 e são apresentados resumidamente na

**Tabela 4** [16].

**Tabela 4** - Classes de ligas de ferro fundido nodular de alto silício, segundo a norma EN 1564:2011 [16].

Classe de ADI	Resistência à tração Min. (MPa)	Limite Elástico 0,2% (MPa)	Alongamento (%)
800-10	800	500	10
900-8	900	600	8
1050-6	1050	700	6
1200-3	1200	850	3
1400-1	1400	1100	1
1600 HB450	1600	1300	-

O ADI é obtido a partir de ferro fundido nodular ligado com níquel, cobre e molibdênio que, após solidificação, é submetido a um tratamento térmico de austêmpera, para obter uma microestrutura à temperatura ambiente constituída por austenite estabilizada e ferrite acicular. A sua composição química e tratamento térmico determinarão as propriedades mecânicas de acordo com a **Tabela 4**.

A mais-valia das ligas de ADI reside no aumento de resistência, acima das resistências obtidas pelas ligas de alto silício. É usada inclusive na substituição de alguns componentes produzidos em aço (nomeadamente obtidos por forjamento), com os benefícios que proporciona a nível de *design* por serem produzidos por fundição [17]. Adicionalmente, este material permite melhores resistências ao desgaste, comparativamente com as ligas tradicionais de ferro fundido e de aço [18]. É um material com especial aplicação em componentes de equipamentos, ferrovia e alguns componentes para automóveis [16].

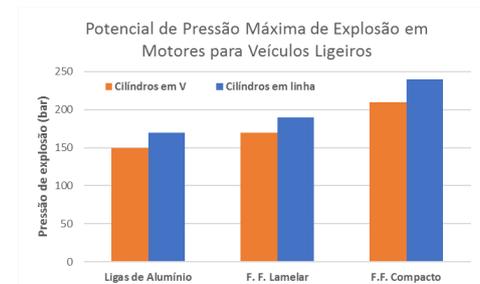
Como é um material recente, há ainda muito potencial para explorar.

Tem, contudo, as desvantagens associadas à necessidade de realização de tratamento térmico, com reflexo nos custos de produção. Pode ter também alguns riscos de distorção das peças (dependendo do seu design), e aumento de dureza, que pode implicar custos de maquinação mais elevados. A sua utilização deve ser bem ponderada, mas há casos onde a sua aplicação tem muitas vantagens para melhoria do desempenho dos componentes e redução de peso.

#### Ligas de Ferro Fundido Compacto

As ligas de ferro fundido compacto têm uma crescente aplicação no fabrico de blocos de motor e cabeçotes para motores

de combustão interna, em especial para *pick-ups*, camiões e barcos. Em especial nas novas gerações de motores diesel e gasolina de alta cilindrada onde, para atingir maior eficiência energética, os picos de pressões na explosão são maiores e é necessário um material mais resistente do que o ferro fundido lamelar [19]. A **Figura 3** apresenta o potencial de pressão máxima de explosão em motores de combustão interna para os principais materiais usados no seu fabrico.



**Figura 3** - Potencial de pressão máxima de explosão, por material, para motores de combustão interna de veículos ligeiros [19].

Em vários casos reais, a substituição de ferro fundido lamelar por ferro fundido compacto permitiu a redução de peso de 29% em motores a gasolina de 1,6 L, e de 18% em motores de 4,6 L. Nos motores a diesel, estas reduções variam entre 22% e 11% [20].

Estes resultados são obtidos porque o ferro fundido compacto oferece, comparativamente ao ferro fundido lamelar, mais 70% de resistência à tração, e mais 50% de rigidez. Isto é, o dobro da resistência à fadiga, mantendo uma condutividade térmica aceitável que é melhorada pela possibilidade de redução da espessura das paredes internas do motor, o que resulta numa melhor eficiência do sistema de refrigeração. Todas estas considerações ajudam no desenvolvimento de um motor mais pequeno, com espessuras de parede menores que resultam numa significativa redução de peso [21].

Contudo, estes benefícios práticos da utilização do ferro fundido compacto podem igualmente ser válidos quando comparado com a aplicação de alumínio. Apesar do peso específico do ferro fundido compacto (7,3 g/cm<sup>3</sup>) ser superior ao do alumínio (2,7 g/cm<sup>3</sup>), a sua maior resistência à tração e rigidez permitem uma diminuição muito significativa da espessura de parede entre os cilindros, resultando num motor de menores dimensões para uma mesma cilindrada, e potencialmente mais leve. Um exemplo prático deste facto é apresentado

na **Tabela 5**, onde o motor Audi 4.2L V8 TDI produzido em ferro fundido vermicular é mais leve (4 kg) do que o motor equivalente Mercedes 4.0L V8 CDI em alumínio [20].

**Tabela 5** - Comparação entre performance e peso de motores em ferro fundido compacto e alumínio [20]

Parâmetros	Audi V8 TDI	Mercedes V8 CDI
Potência (kW)	240	231
Binário (Nm@rpm)	650@1600	580@1600
Aceleração (0-100 km/h, s)	5,9	6,1
Comprimento total (mm)	520	640
Peso do motor (kg)	255	259
Potência/peso (kW/kg)	0,94	0,89

Mais recentemente, numa colaboração entre a empresa *SinterCast* e o Centro de Inovação e Tecnologia N. *Mahalingam*, foi desenvolvida uma nova liga de ferro fundido compacto com mais 15% de limite elástico e 10% de resistência à tração, comparado com a classe CGI450, para aplicação em blocos de motor de maior volume para veículos pesados e barcos.

Apesar da tendência de eletrificação de veículos ligeiros, há ainda espaço para o desenvolvimento e utilização de motores de combustão interna para aplicações em veículos pesados para longas distâncias, veículos *off-road* e barcos, que certamente irão continuar a beneficiar do desenvolvimento desta liga.

Além dos motores de combustão interna, esta liga encontra uma aplicação crescente em *flywheels* (volante de motor). Fora do setor automóvel, pode ser aplicada em alguns componentes dos sistemas de tração de comboios.

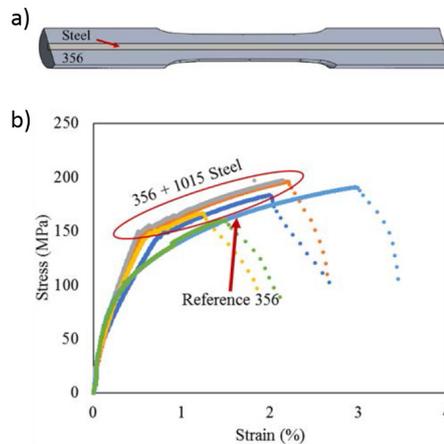
### Componentes híbridos

Esta técnica de produção de componentes tem tido um crescente interesse por parte da indústria e financiamento de novos projetos.

Consiste no reforço localizado de um componente, por intermédio da colocação de um inserto que fica total ou parcialmente encapsulado após vazamento do material de base. As combinações mais comuns são de insertos em aço, para reforço de componentes produzidos por fundição em ligas de alumínio ou ferro fundido.

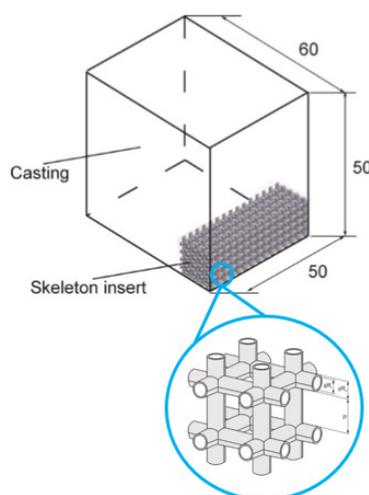
Os objetivos da colocação dos insertos podem ser o aumento da resistência à

tração, rigidez ou resistência ao desgaste, comparativamente com as propriedades do material de base do componente. Na **Figura 4** é apresentado um exemplo de aplicação desta técnica num provete de tração produzido na liga de alumínio 356 reforçado com aço. Foi obtido um aumento significativo no limite elástico, de 40%, em relação ao material de base (Al356) [22].



**Figura 4** - (a) Provete da liga de alumínio Al356 com inserto de aço 1015, (b) e respetivo gráfico de ensaio à tração [22].

O *design* do reforço e a sua colocação são definidos com o propósito de maximizar os seus benefícios no componente. Em algumas aplicações, recorre-se inclusive ao uso de manufatura aditiva para produzir os reforços, como no exemplo apresentado na **Figura 5**, onde um reforço produzido numa liga de titânio por manufatura aditiva foi usado para reforçar a resistência ao desgaste e dureza de um provete produzido em ferro fundido lamelar [23].

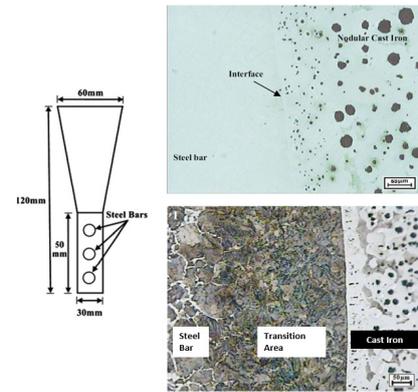


**Figura 5** - Aplicação de um reforço da liga Ti6Al4V, produzido por manufatura aditiva, num fundido em ferro fundido lamelar [23].

O desempenho destes componentes híbridos está intrinsecamente dependente das características dos materiais usados, mas também da natureza da ligação que se cria entre ambos. Essas ligações podem ser mecânicas ou metalúrgicas.

As ligações mecânicas de ancoragem ocorrem entre a superfície do material do inserto e a superfície solidificada do material de base vazado. A ligação mecânica é ainda potenciada pelos efeitos de contração das ligas durante a solidificação. Os insertos podem apresentar um *design* ou rugosidade superficial que permitam a criação de mais pontos de ancoragem entre os materiais. Os insertos produzidos por manufatura aditiva podem maximizar este potencial de ancoragem.

Por outro lado, as ligações metalúrgicas surgem quando existem fenómenos de difusão entre o inserto e o material de base para criar pontos de ligação microestrutural entre os materiais. No exemplo apresentado na **Figura 5**, na interface entre o inserto em liga de titânio e o ferro fundido lamelar forma-se uma camada de *TiC* (carboneto de titânio) que contribui para o aumento da dureza superficial da peça e resistências ao desgaste. Um outro exemplo é apresentado na **Figura 6**, de reforço de um provete de ferro fundido nodular com barras de aço, onde se observa a superfície de ligação entre os dois materiais. O objetivo foi melhorar a resistência ao impacto do ferro fundido nodular que, segundo os autores, aumentou em mais de 16%. Verifica-se uma forte difusão de carbono na superfície (miga da liga de ferro fundido para o aço), com um aumento da fração de perlite na microestrutura do aço, e consequente aumento da fração de ferrite na superfície do ferro fundido. A região de interface do ferro fundido mostra igualmente uma maior densidade e menor tamanho de nódulos, comparativamente com o núcleo, devido à maior velocidade de arrefecimento na interface com o inserto, que funciona como arrefecedor [24].



**Figura 6** - Detalhe da interface de ligação entre ferro fundido nodular e um inserto em aço [24].

As ligações metalúrgicas podem ser melhoradas nos componentes híbridos com recurso ao pré-aquecimento dos insertos ou o seu revestimento com outros materiais que melhoram a sua molhabilidade, resistência à oxidação e formação de compostos intermédios de ligação entre o inserto e o substrato.

Esta é uma técnica promissora para algumas aplicações, ainda com vários benefícios por explorar, mas que terá também alguns desafios a ultrapassar, em especial na sua aplicação a processo de produção de peças por fundição de elevada cadência. Tem igualmente o potencial de ser usada para a introdução de sensores nas peças vazadas (principalmente *RFID*), para efeitos de aquisição de sensorização e rastreabilidade.

## NOVOS MATERIAIS POSSIBILITAM NOVOS DESIGNS

O verdadeiro valor do desenvolvimento de ligas de maior resistência, como as que foram resumidamente apresentadas, reside no seu potencial para reduzir o peso dos componentes fabricados. Para que isso aconteça, é necessário redesenhar os componentes, à luz destas novas propriedades, tornando-os mais pequenos, mais finos e mais funcionais.

A otimização topológica do componente é importante para atingir estes objetivos de redução de peso, tendo por base as cargas às quais o componente estará sujeito, condições de contorno, fixação/ligação e material utilizado.

Existem vários *softwares* com algoritmos capazes de realizar este trabalho e técnicas curiosas como o design biológico, que tem como inspiração estruturas existentes na natureza.

A dificuldade na execução destes *designs* otimizados, em especial no caso dos processos de moldação em areia nos quais a maioria dos componentes de fundição ferrosa são produzidos, reside nas restrições associadas ao processo de fabrico das moldações. Em especial devido à necessidade de desmoldação de placas molde, ângulos de saída, uso de machos, condições de solidificação, etc.

As recentes técnicas de manufatura aditiva de componentes metálicos são um concorrente direto às técnicas de fundição porque não estão presas a estas restrições de design ou da necessidade de fabrico de ferramentas. Podem fabricar qualquer tipo de design. Contudo, existe uma grande limitação em relação às ligas disponíveis para aplicação nos processos de manufatura ativa. Além disso, é muitas vezes necessário realizar tratamentos térmicos às peças, após impressão, para se obterem as propriedades mecânicas desejadas. A sua aplicação na indústria automóvel e dos transportes é ainda muito limitada, especialmente para ligas ferrosas.

Entretanto, há uma oportunidade que a fundição tradicional deve explorar a seu favor para produzir componentes com *designs* complexos, a manufatura aditiva de moldações.

Esta técnica é semelhante à SLS para peças metálicas. Contudo, não usa laser, mas sim um jato de ligante para unir os grãos de areia. Um aplicador deposita sucessivas camadas finas de areia numa base, que serão seletivamente unidas pelo ligante projetado pelo cabeçote. Esses processos são repetidos até que a cavidade moldante esteja completa. Podem ser fabricadas várias moldações em simultâneo. Esta é uma técnica mais flexível do que a de maquinaria de moldações em areia.

Assim, é possível fabricar moldações com geometrias complexas, sem que estejam sujeitas às limitações de design intrínsecas aos processos de moldação em areia, com a vantagem de se poderem usar todas as ligas que se usam nos processos de fundição, quer ferrosas como não ferrosas. Este processo é, no entanto, limitado ao uso de areia de moldação com presa química.

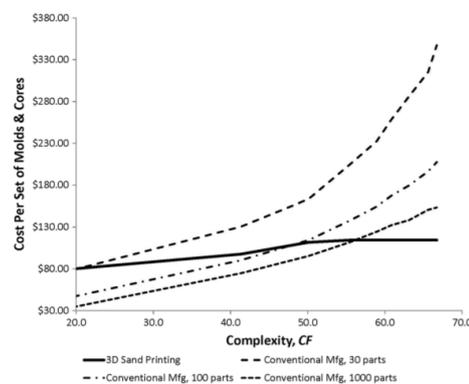
Um exemplo da aplicação desta técnica é apresentado na **Figura 7**, para um braço oscilante traseiro de um motociclo, produzido em alumínio pelo processo de fundição de baixa-pressão com recurso a uma moldação em areia produzida por

manufatura aditiva [25].



**Figura 7** - Braço oscilante, produzido numa moldação em areia obtida por manufatura aditiva [25].

Como esta é uma técnica recente, ainda pouco difundida, o fabrico das moldações é ainda um processo moroso e caro. Existem estudos que demonstram que a viabilidade deste processo para a indústria está neste momento dependente do volume de peças a produzir e o grau de complexidade do seu design (*complexity factor* – CF), como apresentado na **Figura 8**. É uma técnica viável para pequenas séries de peças de elevada complexidade. Deixa de ser uma opção atrativa à medida que o número de peças a produzir aumenta e a sua complexidade diminui [26].



**Figura 8** – Variação do custo de um componente de travão para comboios, em função da sua complexidade e volume, para o processo tradicional de moldação (ferramentas e fabrico) e impressão 3D de moldações [26].

Espera-se naturalmente, como em qualquer nova tecnologia, que os custos de produção diminuam e o *output* de produção deste tipo de moldações aumente, permitindo a sua utilização de uma forma mais abrangente. Atualmente, a técnica é eficaz para a produção de protótipos e produção de pequenas séries de peças complexas e para a produção de componentes já descontinuados nas *OEMs*. Por estes motivos, é uma técnica bastante atrativa já na atualidade para o setor da ferrovia e será no futuro próximo também para o automóvel.

## EM SUMA ...

Embora o ferro fundido seja um material milenar, a sua aplicação continua bastante atual. A continuidade na procura de novas ligas e melhores propriedades tem permitido atingir resultados bastante interessantes para a indústria. Todos eles com o objetivo de servir os clientes com um material mais resistente, com melhor *performance* e mais leve. Não nos esqueçamos também de que o ferro fundido é um material que pode ser reciclado continuamente, para dar origem a novos componentes.

A manipulação da composição química e condições de processamento para obter materiais com novas características, tem permitido o desenvolvimento de ligas interessantes como as ligas de alto silício, *SiBoDur*, ou *ADI*, aqui mencionadas, e outras como o *SiMo*, ligadas com alumínio, ou níquel. Estas ligas de alta resistência, aliadas a novos *designs*, permitirão obter reduções de peso significativas.

Os componentes híbridos, ainda em fase de desenvolvimento, são uma oportunidade cada vez mais viável, com melhorias muito significativas no seu desempenho.

Os novos processos de produção, como a manufatura aditiva de moldações em areia, permitem à fundição competir com a manufatura aditiva de componentes metálicos, permitindo a mesma liberdade de *design* com recurso às ligas aplicadas em fundição.

Todos estes benefícios terão um impacto significativo na indústria automóvel e dos transportes, como sinal positivo para o futuro da indústria de fundição nacional, dependente destes setores.

Considero essencial continuar a investir em investigação, mas principalmente, em formação de qualidade em metalurgia. Para garantir o futuro, é necessário ter jovens formados na área da metalurgia para procurar novas soluções que mantenham a nossa indústria tecnologicamente competitiva.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. P. d. Fundação, "Números do setor," APF, 2021. [Online]. Available: <https://apf.com.pt/numeros-do-setor/>. [Acedido em 27/12/2021].
- [2] F. Villas-Boas, "CAEF - Foundry Industry: Past, Present and Future," em *Foundry on Wheels Congress*, Águeda, 2017.
- [3] A. Net, "1997 Volkswagen Golf IV (1J1) 1.9 TDI (110 Hp)," AutoData Net, 2021. [Online]. Available: <https://www.auto-data.net/en/volkswagen-golf-iv-1j1-1-9-tdi-110hp-8669>. [Acedido em 27/12/2021].
- [4] Volkswagen AG, "Golf 8 Dados Técnicos," Volkswagen AG, 2021. [Online]. Available: <https://viewer.ipaper.io/siva-s-a/volkswagen/fichas-tecnicas/golf/ficha-tecnica-golf/?page=2>. [Acedido em 27/12/2021].
- [5] Volkswagen AG, "Volkswagen iD3 Dados Técnicos," Volkswagen AG, 2021. [Online]. Available: <https://viewer.ipaper.io/siva-s-a/volkswagen/fichas-tecnicas/id3/ficha-tecnica-id3/?page=1>. [Acedido em 27/12/2021].
- [6] SinterCast AB, "CGI Properties," SinterCast AB, 2021. [Online]. Available: <https://www.sintercast.com/technology/cgi-properties/>. [Acedido em 28/12/2021].
- [7] W. Gale e T. Totemeier, *Smithells Metals Reference Book*, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [8] P. Hammersberg, K. Hamberg, H. Borgström e L.-E. Björkegren, "Variation of Tensile Properties of High Silicon Ductile Iron," *Materials Science Forum Vol. 925*, pp. 280-287.
- [9] U. de La Torre, A. Loizaga, J. Lacaze e J. Sertucha, "As cast high silicon ductile irons with optimised mechanical properties and remarkable fatigue properties," Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO), <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01179619/document>, 2014.
- [10] I. Pereira, V. Anjos, G. Alonso, L. F. Malheiros e R. Suarez, "The Influence of Alloying Elements on Damping Capacity of Nodular Cast Irons for Braking System Components," *International Journal of Metalcasting*, (2020). <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00426-1>.
- [11] W. Menk, "A New High Strength High Ductile Nodular Iron," *Materials Science Forum 925*, pp. 224-230.
- [12] "https://fondium.eu/leichtbau-im-material/", Fondium, 2021. [Online]. Available: <https://fondium.eu/leichtbau-im-material/>. [Acedido em 28/12/2021].
- [13] D. Franzen, P. Weiß, B. Pustal e A. Bührig-Polaczek, "Modification of Silicon microsegregation in solid solution-strengthened ductile iron by alloying with Aluminum," *International Journal of Metalcasting*, vol. 14, nº 4, pp. 1105-1114, 2020.
- [14] D. Franzen, A. Bührig-Polaczek, K. Weiß e J. Gundlach, "Application of surface layer inoculation processes to solid-solution-strengthened ductile cast iron," *International Journal of Metalcasting*, vol. 14, nº 4, pp. 1041-1051, 2020.
- [15] M. Riebisch, B. Pustal e A. Bührig-Polaczek, "Influence of carbide-promoting elements on the microstructure of high-Silicon ductile iron," *International Journal of Metalcasting*, vol. 14, nº 4, pp. 1152-1161, 2020.
- [16] Zanardi Fonderie slr, "Austempered Ductile Iron (ADI)," Zanardi Fonderie slr, 2021. [Online]. Available: <https://zanardifonderie.com/en/austempered-ductile-iron-adi/>. [Acedido em 28/12/2021].

- [17] F. Zanardi, F. Bonollo, G. Angella, N. Bonora, G. Iannitti e A. Ruggiero, "A Contribution to New Material Standards for Ductile Irons and Austempered Ductile Irons", *International Journal of Metalcasting*, vol. 11, pp. 136-147, 2017.
- [18] W. L. Guesser, F. Koda, J. A. B. Martinez and C. H. Silva, "Austempered Ductile Iron for gears", *SAE International*, 2012-236-0305, 2012.
- [19] W. L. Guesser, P. V. Duran e W. Krause, "Compacted Graphite Iron for Diesel Engine Cylinder Blocks", em *Congrès Le diesel : aujourd'hui et demain - École Centrale Lyon*, Lyon, 2004.
- [20] S. Dawson, "Compacted Graphite Iron – A New Material for Highly Stressed Cylinder Blocks and Cylinder Heads", 2014. [Online]. Available: <https://sintercast.com/media/1570/sintercast-cgi-a-new-material-for-highly-stressed-cylinder-blocks-and-cylinder-heads-1.pdf>. [Acedido em 28/12/2021].
- [21] S. Dawson, "Compacted Graphite Iron - Mechanical and Physical Properties for Engine Design", SinterCast AB, 2014. [Online]. Available: <https://www.sintercast.com/media/1686/sintercast-cgi-mechanical-and-physical-properties-for-engine-design-1.pdf>. [Acedido em 28/12/2021].
- [22] C. Soderhjelm e D. Apelian, "Multi-Material Casting - Practical Foundry Guidelines", *AFS Transactions - American Foundry Society*, vol. 126, nº 18-082, pp. 49-53, 2018.
- [23] N. Przyszlak, A. Dulaska, T. Wróbel e J. Szajnar, "Grey Cast Iron Locally Reinforced Using 3D Printing Scaffold Insert", *Archives of Foundry Engineering - Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences*, vol. 18, nº 1, pp. 99-102, 2018.
- [24] M. Kazemi, A. Kiani-Rashid e A. Nourian, "Impact toughness and microstructure of continuous medium carbon steel bar-reinforced cast iron composite", *Materials Science & Engineering A*, vol. 559, pp. 135-138, 2012.
- [25] Modern Casting Magazine, "2018 casting of the year winners" American Foundry Society, 2018. [Online]. Available: <https://www.moderncasting.com/photo-galleries/2018-casting-year-winners>. [Acedido em 28/12/2021].
- [26] E. S. Almaghariz, B. P. Conner, L. Lenner, R. Gulapalli, G. P. Manogharan, B. Lamoncha e M. Fang, "Quantifying the role of part design complexity in using 3D sand printing for molds and cores", *International Journal of Metalcasting*, vol. 10, nº 3, pp. 240-252, 2016.

## PARTICIPE NA PRÓXIMA EDIÇÃO



**Se tiver interesse em participar na próxima edição da Ciência & Tecnologia dos Materiais, através de colaboração editorial e/ou presença comercial, contacte-nos através:**  
**[comunicacao@spmateriais.pt](mailto:comunicacao@spmateriais.pt)**

# A INDÚSTRIA DO METAL: DESAFIOS ASSOCIADOS A UM NOVO PADRÃO DE SUSTENTABILIDADE

**AIMMAP**

Associação dos Industriais Metalúrgicos Metalomecânicos e afins de Portugal

A INDÚSTRIA DO METAL: DESAFIOS ASSOCIADOS A UM NOVO PADRÃO DE SUSTENTABILIDADE

## ENQUADRAMENTO

Os últimos anos têm sido marcados por mudanças significativas no paradigma industrial nacional, decorrentes da evolução tecnológica associadas à transformação digital, a qual tem ditado o seu *modus operandi*. A indústria nacional enfrenta, assim, novos desafios e novas exigências, que implicam investimento em inovação de forma a reforçar a diferenciação, no sentido de acrescentar valor ao produto e/ou serviço, criando vantagens competitivas.

Contudo, estas transformações representam, não só, novos desafios e oportunidades para a indústria, como também, riscos ao nível da sustentabilidade, com impactos significativos nos seus três pilares - económico, ambiental e social - também conhecidos como *Triple Bottom Line*, os quais constituem os valores centrais de qualquer empresa que pretenda promover práticas sustentáveis.

Centrando a atenção na Indústria do Metal, temos registado um crescente interesse e preocupação com as questões associadas à Sustentabilidade, decorrentes da crescente consciencialização e opção pelas melhores práticas aquando do planeamento e execução das suas atividades, no sentido de mitigar impactos negativos e promover interações positivas. Esta perceção e capacitação tem sido comprovada pela crescente receptividade ao nível da implementação de Sistemas de Gestão Ambiental.

A comunidade industrial do Metal contribui, decisivamente, para um futuro mais sustentável, apostando, cada vez mais, na adoção de estratégias ambientais concertadas e perduráveis. Por sua vez,

é inegável o impacto decorrente dos programas de Sustentabilidade, no caso concreto do ambiente, os quais se traduzem em benefícios económicos para as empresas, associados a melhorias na eficiência energética e no uso de materiais, redução de desperdícios e vantagens competitivas, sobretudo em produtos destinados ao mercado verde.

## A HISTÓRIA DO METAL

Utilizado desde as primeiras civilizações humanas, o metal tem vindo a ocupar uma posição de destaque na indústria e na sociedade, sendo reconhecido pela sua versatilidade, durabilidade e resistência.

O aparecimento dos primeiros utensílios metálicos, em ouro ou cobre, marcou o fim do período neolítico e deu origem à Idade do Cobre, à qual se seguiram a Idade do Bronze e por fim a Idade do Ferro.

Durante estes períodos, os metais mais conhecidos eram o cobre, a prata e o ouro, que eram extraídos no seu estado bruto e, tratando-se de metais maleáveis, eram utilizados como ferramentas, ornamentos e outros objetos simples.

Uma das descobertas mais determinante para este setor foi o processo de fundição, através do qual, após submetidos a elevadas temperaturas, os metais fundidos são transferidos para cavidades moldantes adequadas, permitindo a produção de objetos com formas mais ou menos complexas.

Relativamente ao aço que conhecemos atualmente, este metal só foi desenvolvido em 1856, tendo alcançado uma grande

notoriedade no meio industrial, uma vez que se trata de um metal mais resistente do que o ferro fundido, podendo ser produzido em grandes quantidades, constituindo uma matéria-prima para muitas indústrias. Com o avanço tecnológico e a crescente procura por produtos constituídos por ferro e aço, as indústrias que integram o setor do Metal foram registando um aumento significativo da sua produção, o que exigiu um crescente investimento em novas tecnologias e motivou a adoção de práticas mais sustentáveis.

Este setor veio a revelar-se como um dos principais setores de atividade da economia nacional, sendo que a sua importância se deve, principalmente, ao facto de ser um setor que cria emprego, gera investimento e contribui com parte fundamental das exportações portuguesas. Este setor caracteriza-se ainda pela grande versatilidade, qualidade e pela diversidade de bens produzidos, compreendendo desde os bens que são destinados a atividades industriais, até um conjunto diversificado de bens destinados ao mercado de bens de consumo.

A Indústria do Metal integra, assim, um setor estratégico para a economia nacional, que tem dado provas da sua resiliência e capacidade para se adaptar e reinventar, num contexto de fortes constrangimentos, associados à crescente escassez e aos preços inflacionados das matérias-primas, dos combustíveis e dos transportes. Até ao mês de outubro transato, as vendas ao exterior desta indústria cresceram 17% face ao ano anterior, antecipando-se que o ano de 2021 venha a encerrar com as exportações no mesmo patamar do alcançado em 2019, ou seja, no período pré-pandemia. Tendo em consideração as adversidades e o crescente número de desafios que as empresas têm enfrentado nos últimos anos, os resultados alcançados denotam uma capacidade de recuperação notável, estando a mesma associada a um esforço na adequação dos processos, acompanhamento das tendências tecnológicas e de inovação.

### AS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

Quando falamos de Sustentabilidade, é comum colocar a dimensão económica no epicentro; contudo, esta não é a única dimensão associada a esta temática, sendo necessário ter ainda em consideração as dimensões ambiental, social e cultural. Por sua vez, da complementaridade e sinergia entre estas várias dimensões resulta o

conceito de Desenvolvimento Sustentável, o qual se centra na preocupação em satisfazer as necessidades presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

O conceito *Triple Bottom Line*, introduzido por *Elkington* em 1994, atribui à Sustentabilidade três dimensões distintas - económica, ambiental e social - considerando que os aspetos culturais estão incluídos na dimensão social. Contudo, vários especialistas na área defendem que a cultura deve ser incluída como uma quarta dimensão, uma vez que os valores culturais constituem ferramentas soberanas para a partilha e promoção de boas práticas.

Partindo da Teoria dos *Stakeholders*, criada em 1984 pelo filósofo *Robert Freeman*, as decisões tomadas pelas empresas ao nível do planeamento e execução das suas atividades terão um impacto significativo nas múltiplas partes interessadas. Assim, as empresas estão conscientes de que a integração de práticas e princípios sustentáveis permitirá a criação de valor que, por sua vez, será partilhado com a sociedade.

A incorporação de princípios de Sustentabilidade na gestão estratégica de uma empresa apresenta desafios significativos, requerendo uma especialização metodológica. Por sua vez, a implementação de programas de Sustentabilidade possibilitará a redução de custos, por via da utilização mais eficiente dos recursos, da prevenção de poluição e redução de resíduos e desperdício, da criação de vantagens competitivas, da valorização da imagem, do aumento da produtividade, da melhoria dos processos de comunicação interna e externa, promovendo ainda uma mudança nos comportamentos.

### A SUSTENTABILIDADE E OS METAIS

Os metais são, hoje em dia, amplamente usados em diversos equipamentos, embalagens e estruturas, pelo que a preocupação com a sua reutilização tem assumido uma importância crucial, constituindo uma das formas mais sustentáveis de produzir e gerir o ciclo de vida destes materiais.

Neste contexto, somos conduzidos para um outro conceito que, nos últimos anos, tem merecido especial destaque pelo



seu contributo para a Sustentabilidade dos sistemas industriais: **Economia Circular**. Trata-se de uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável, focada na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais, ou seja, tem como objetivo prolongar, durante o maior tempo possível, o valor dos produtos e materiais no ciclo económico. Neste sentido, apoia estratégias de gestão com estruturas cíclicas, permitindo melhorar os sistemas produtivos, aumentar a eficiência ao nível dos consumos e reduzir os resíduos e emissões provenientes dos processos produtivos, agregando valor económico ao desempenho ambiental.

Ao nível do **enquadramento legal e regulamentar** europeu e nacional, destaca-se, neste domínio, a publicação de alguns documentos estratégicos tais como o Plano de Ação para a Economia Circular, aprovado em dezembro de 2017, o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos, aprovado em abril de 2020, e o Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2030, ainda em preparação.

Por sua vez, a Agenda 2030, definida em 2015 no seio da ONU, identifica dezassete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e resultou de um contrato celebrado entre os líderes mundiais e os povos, compreendendo as várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental). No que concerne às ações relacionadas com a Economia Circular, procura-se que os produtores se foquem, não apenas, na qualidade dos produtos, mas também na garantia da eficiência dos processos produtivos e identificação de melhorias de reaproveitamento de recursos e energia.

Ainda neste contexto, é importante fazer a distinção entre **resíduo e subproduto**. Ao nível comunitário, estes conceitos foram regulamentados com a publicação da Diretiva Quadro Resíduos que define as condições segundo as quais uma substância ou objeto, que decorre da produção de determinado produto, pode ser considerado como um subproduto, não se encontrando desta forma sujeito às regras relativas à gestão de resíduos. Ao nível nacional, estes conceitos encontram-se regulados no Novo Regime Geral da Gestão de Resíduos que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva Quadro Resíduos. Assim, entende-se por resíduo quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer, correspondendo os subprodutos a quaisquer substâncias

ou objetos resultantes de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção, sendo possível serem utilizados sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal.

No que concerne à gestão de resíduos, esta tem por base uma hierarquia que promove em primeiro lugar a prevenção, seguida da (preparação para) reutilização, reciclagem, outros tipos de valorização e, por último, a eliminação. Neste âmbito surgem os mecanismos de desclassificação de resíduos que compreendem a aplicação das disposições legais que permitem que os resíduos que cumpram determinados requisitos passem a subprodutos. Por sua vez, o conceito de fim de estatuto de resíduo é aplicável a resíduos que sejam submetidos a uma operação de valorização de resíduos, incluindo a reciclagem, através da qual se considera que os resíduos são transformados numa matéria-prima, pronta a ser incorporada no processo produtivo.

A Indústria do Metal surge, neste contexto, com uma posição privilegiada no que respeita à Sustentabilidade dos produtos a que dá origem, uma vez que o principal material utilizado - o metal - destaca-se pelas suas propriedades únicas de durabilidade, resistência e corrosão, conferindo aos produtos produzidos uma maior longevidade, menor necessidade de manutenção, elevada funcionalidade e uma maior capacidade de reutilização. Efetivamente, no contexto europeu os metais têm vindo a assumir uma posição central relativamente às atuais iniciativas de Economia Circular.

Contribuir para um planeta mais sustentável implica, assim, a adequação de comportamentos e mentalidades por parte da sociedade, como um todo. No que respeita ao papel da indústria nesta mudança, é cada vez mais evidente a necessidade de alteração do modelo de negócio linear, uma vez que este configura um modelo cada vez menos sustentável.

Como resposta a esta necessidade, as empresas têm adotado estratégias orientadas para um modelo de negócio circular, tais como:

- (i) Desenvolvimento e implementação de novos modelos de negócio que permitam, por exemplo, substituir os serviços físicos por serviços virtuais, ou adotar plataformas de aluguer de modo a maximizar a produtividade dos produtos e conservação de recursos;



- (ii) Investimento no Design e Eco conceção, dando prioridade a materiais renováveis e não perigosos, permitindo, por exemplo, investir na “modularização” dos componentes, facilitando a sua desmontagem, recuperação, reaproveitamento e triagem em fim de vida, ou mesmo, apostando no desenho ou redesenho de produtos com vista à utilização mais eficiente dos recursos e/ou à extensão do seu tempo de vida;
- (iii) Aposta numa produção mais eficiente com ênfase na redução do consumo de matérias-primas e energia;
- (iv) Adoção de processos que utilizem substâncias menos nocivas, materiais recicláveis e envolvam a valorização de resíduos;
- (v) Criação de sistemas em rede mais eficientes em uso e produtividade de recursos;
- (vi) Extensão do ciclo de vida dos produtos, através da aposta na reutilização, remanufatura, recondição, manutenção, reparação.
- (vii) Aposta em simbioses industriais, através da definição de estratégias de negócio entre entidades que colaboram no uso eficiente dos recursos de modo a melhorar o seu desempenho económico conjunto, com consequências positivas para o sistema natural;
- (viii) Valorização de resíduo, através da identificação de novos subprodutos e de novas utilizações para os subprodutos;
- (ix) Sensibilização e promoção de um maior envolvimento social, através da difusão de informação e criação de perceção social em relação à Economia Circular.

Contudo, esta transição implica um investimento considerável uma vez que exige a aquisição de novas tecnologias, a adoção de novos métodos, de novos procedimentos, o que pode constituir uma barreira à mudança. Assim, importa que as autoridades/instituições públicas intercedam e atuem no sentido de facilitar as condições fiscais, de financiamento, promover as plataformas coletivas para gestão de recursos, promover as compras ecológicas, proceder a alterações regulamentares para facilitar a transação de resíduos, promover simbioses, entre outros.

No entanto, apesar de, numa fase inicial, esta mudança requerer um investimento significativo, quer em termos financeiros quer ao nível de disponibilidade, flexibilidade e adaptação à mudança,

após a implementação dos novos sistemas a empresa pode identificar novas oportunidades e alcançar um conjunto de benefícios, tais como:

- Redução de custos económicos e ambientais associados com a extração e/ou a importação de matérias-primas, a poupança de matérias-primas e consumo de energia, o decréscimo de emissões prejudiciais, a poupança no transporte, a eliminação/tratamento de resíduos;
- Aumento da competitividade, decorrente do aumento de produtividade, da adoção de novos modelos de negócios com maior margem de lucro, da criação de simbioses, inovação e da criação de novos serviços;
- Aumento de prestígio para a empresa;
- Maior segurança no aprovisionamento de matérias-primas.

## INDÚSTRIA DO METAL: TECNOLOGIA & SUSTENTABILIDADE

Além de corresponder a uma necessidade comum a todos os setores da economia, a tecnologia constitui um diferencial competitivo para muitas empresas do setor. Nesse cenário, um aspeto importante relacionado com a implementação de tecnologias na Indústria do Metal consiste na introdução de soluções que auxiliem as empresas a adotarem uma estratégia mais sustentável.

Por sua vez, num contexto marcado por uma transformação no paradigma industrial, que compreende a introdução de tecnologias/ferramentas digitais e *analytics* no processo produtivo, a atenção das empresas centra-se, não apenas, na agilidade e centralidade do cliente, na resiliência da cadeia de suprimentos, na velocidade e produtividade, mas também na ecoeficiência do processo produtivo.

A questão da ecoeficiência surge associada a uma maior responsabilidade ambiental que, por sua vez, exige a adoção de comportamentos mais sustentáveis.

Muitas das tecnologias desenvolvidas e já aplicadas nesta indústria integram características e orientações focadas na sustentabilidade dos processos. Existem, por exemplo, tecnologias que permitem acompanhar a evolução dos gastos associados a determinada matéria-prima

ou recurso natural, a análise dos resíduos e/ou efluentes produzidos, permitindo, não apenas, introduzir alterações e melhorias nos processos, como também acrescentar valor ao produto e promover ganhos competitivos. Algumas das ferramentas mais utilizadas são os sistemas de gestão integrada, de monitorização de tarefas, de acompanhamento de indicadores, que visam a automação e soluções de *checklist*.

Face ao exposto, é possível concluir que a evolução tecnológica surge como uma grande aliada da Sustentabilidade. A transição para uma cultura digital na indústria faz com que a sustentabilidade e a excelência competitiva sejam, não apenas, conciliáveis como também correlacionáveis.

## CONCLUSÃO

A proximidade à Indústria do Metal permite-nos perceber a realidade onde atuam, os desafios que enfrentam, e as estratégias que lideram. Nos últimos anos, tem sido claro o crescente interesse pela temática da Sustentabilidade, nas suas diferentes dimensões (económica, ambiental, social e cultural), reconhecendo a existência de influências mútuas entre estas dimensões, constituindo um importante passo para o compromisso com o Desenvolvimento Sustentável.

Perspetiva-se que a posição, no futuro, por parte da indústria deste setor seja no sentido do fortalecimento destas práticas, conferindo-lhes oportunidades de crescimento, competitividade e inovação.

Dado o posicionamento deste setor na economia nacional, resultante do número de empresas ativas, número de pessoas ao serviço, volume de negócios, volume de exportações, o mesmo constitui uma força motriz para a prossecução e concretização de políticas que visam uma sociedade mais sustentável e circular. Por sua vez, tratando-se de um setor muito vasto e heterogéneo, prevê-se que as estratégias definidas neste domínio vão gerar externalidades indutoras de efeitos de arrastamento ao conjunto da economia nacional.





## **A Sociedade Portuguesa de Materiais é Membro da EUROPEAN FEDERATION OF CORROSION (EFC)**

**IMPORTANTES BENEFÍCIOS DISPONÍVEIS PARA AS SOCIEDADES MEMBROS DA EFC (EUROPEIAS E INTERNACIONAIS) INCLUEM A OPORTUNIDADE DE:**

- Nomear membros para os grupos de trabalho do EFC;
- Nomear candidatos para os comitês do EFC (Conselho de Administradores e Comitê Consultivo de Ciência e Tecnologia);
- Nomear um representante para a Assembleia Geral anual do EFC (com direitos de voto);
- Nomear candidatos para os prémios da EFC;
- Organizar eventos e cursos com patrocínio e logotipo do EFC; com promoção especial no "Calendário de Eventos" do EFC, publicado no website da EFC e nas newsletters EFC;
- Obter descontos em conferências anuais da EUROCORR se desejar participar como expositor;
- Promoção gratuita dos eventos e atividades relacionados com a Divisão Técnica de Corrosão da SPM nos boletins da EFC.
- Disponibilidade de Afiliação Geral da Organização Mundial da Corrosão (WCO) sem custo adicional sujeito a solicitação formal e aprovação do Conselho de Administradores da WCO e da Assembleia Geral da WCO.
- Além disso, todos os que pertencem a uma Sociedade Membro do EFC usufruem de uma redução na inscrição em conferências anuais da EUROCORR; redução do registro em todos os eventos patrocinados pela EFC, se aplicável (com número de evento atribuído); acesso à área restrita contendo os procedimentos eletrônicos das conferências anteriores da EUROCORR; preços com desconto em todas as publicações da EFC.
- Sociedades membros europeias também são elegíveis para apresentar propostas de organização de conferências EUROCORR.

## **A Sociedade Portuguesa de Materiais é Membro da FEDERATION OF EUROPEAN MATERIALS SOCIETIES (FEMS)**

**IMPORTANTES BENEFÍCIOS DISPONÍVEIS PARA OS SÓCIOS DA SPM:**

- Redução da Inscrição na conferência EUROMAT (15%)
- Uma voz mais forte na Europa como parte de uma organização de grande escala e que aglomera grandes sociedades europeias
- Divulgação dos eventos e atividades da sociedades da SPM
- Capacidade de contribuir para a agenda europeia de materiais
- Envolvimento direto em eventos organizados pelo FEMS
- Nas conferências da EUROMAT, os membros das sociedades nacionais serão identificados nos seus crachás como membros da sua sociedade – oportunidade para uma rede mais extensa entre os seus membros.
- Nomear membros para prémios FEMS e medalhas
- A FEMS desenvolveu valiosas ligações à Comissão Europeia e a importantes Plataformas Tecnológicas Europeias, sendo membro da Alliance for Materials (A4M).

## **A Sociedade Portuguesa de Materiais é também membro da EUROPEAN POLYMER FEDERATION (EPF)**



# AS BICICLETAS, A INDÚSTRIA E A METALOMECÂNICA



## ABIMOTA

Associação Nacional das Indústrias de Duas Rodas, Ferragens, Mobiliário e Afins

**As bicicletas foram o primeiro veículo de mobilidade e deram início a uma nova era.**

Apareceram para dar uma resposta mais económica às necessidades de deslocação que até aquele momento eram efetuadas utilizando sobretudo os cavalos. E, já desde esses tempos, ter uma bicicleta era muito económico; na altura, mais económico do que ter um cavalo.

A bicicleta sempre esteve ligada ao metal; no caso concreto ao ferro/aço, elemento essencial para a sua construção. Com o passar dos anos e a evolução, o aço manteve a sua ligação umbilical à bicicleta, mas outros materiais foram sendo introduzidos. Atualmente, verifica-se que as bicicletas de entrada de gama, as mais económicas, continuam a ter como base o aço, mas o alumínio adquiriu uma quota parte muito significativa do volume de bicicletas fabricadas no mundo, devido à sua menor densidade. Atualmente, outros metais como o titânio e o tungsténio têm utilização no mundo das bicicletas, mas apenas em nichos muito limitados. Embora não entre no objetivo deste artigo, as bicicletas utilizadas em competição, principalmente em estrada, têm o quadro em fibra de carbono, que é ainda mais leve. Verifica-se também que a utilização de polímeros começa a fazer o seu caminho.

Portugal, o maior fabricante de bicicletas da Europa, tem uma longa tradição no fabrico de componentes em aço para esta indústria, mas não apenas; atualmente, temos entre nós algumas das empresas mais tecnologicamente evoluídas do mundo e que se afirmam não apenas no aço, mas também no alumínio.

No domínio do aço, o fabrico de correntes para bicicleta levanta cada vez maiores desafios. É necessário fabricá-las cada vez mais finas, com menos material e com superior resistência aos esforços a que as

peças são submetidas e, neste campo, os tratamentos térmicos ganham especial relevância.

Mas é no fabrico de componentes em alumínio para a indústria de bicicletas que Portugal apresenta, no panorama Europeu, mais respostas e assinala, de forma marcante, a sua posição. A maior fábrica de rodas para bicicleta da Europa está em Portugal de onde exporta para todo o continente, área em que a extrusão do alumínio, como suporte da fabricação, tem de ser dominada. Ainda tendo por base o alumínio, a fabricação de *cranks* para bicicletas atinge um nível muito elevado, estando instalada entre nós uma das mais inovadoras empresas do setor e que, no domínio do forjamento, compete ao mais alto nível. Podemos afirmar que o domínio dos processos de trabalhar o alumínio, no setor, fica completo com uma das fábricas mais moderna do mundo na área da soldadura do alumínio onde são utilizados processos robotizados.

***No entanto, embora o nível de desempenho das empresas Portuguesas no setor dos componentes para bicicletas seja muito satisfatório, consideramos que há muito ainda a fazer e a evoluir, tanto no que se refere ao aço como ao alumínio.***

O ciclismo, as duas rodas, é crítico relativamente aos materiais, nomeadamente a dois níveis: peso – o “passageiro” tem de ser capaz de fazer mover o veículo que o transporta, e resistência ao esforço – as forças assimétricas que se fazem sentir quando pedalamos e os impactos motivados pelas



mais diversas situações do dia a dia, fazem com que tenhamos um binómio de difícil resolução e em que a otimização tem de ser sempre procurada. Se numa relação preço resistência o aço ganha primazia, já no que se refere ao peso perde para o alumínio.

Podemos afirmar que nesta indústria haverá sempre lugar para os materiais atualmente mais utilizados, mas é possível, e necessário, ir mais longe, aperfeiçoá-los, investigar novas ligas que possam responder de forma eficaz aos desafios que a utilização coloca. Para além das ligas, também a forma como são trabalhados, os processos de fabrico exigem mais investigação. Se no caso do aço consideramos que existe um conhecimento vasto e profundo, no caso do alumínio, dadas as suas propriedades próprias, é possível e necessário investigar mais e aproveitar ainda melhor as características do material.

Quem leu até aqui este artigo pode ter ficado com a ideia de que a indústria das bicicletas em Portugal apenas trabalha o aço e o alumínio, o que não corresponde à realidade porque está, no nosso país, a única fabrica, fora da Ásia, de quadros em fibra de carbono, e a utilização de polímeros em diferentes componentes é cada vez mais uma prática corrente.

A indústria metalomecânica na área das bicicletas tem um referencial elevado e os próximos anos apresentam-se de elevado crescimento sobretudo de renovados desafios. Se a sustentabilidade dos materiais utilizados, a sua reutilização e/ou recuperação está assegurada porque, em último caso, a reciclagem é fácil, o desafio coloca-se sobretudo ao nível do *design* do veículo de forma a que, em final de vida, seja fácil a separação dos diferentes tipos de materiais constituintes.

A mobilidade suave, onde as bicicletas assumem papel central, conjugada com a descarbonização do planeta e a criação de hábitos de vida mais saudáveis assumem-se como um triângulo virtuoso para uma nova relação connosco e com o mundo, que impulsiona o desenvolvimento. O uso do motor elétrico nas bicicletas veio ampliar ainda mais o leque de potenciais utilizadores ao facilitar e aumentar as possibilidades de utilização da bicicleta. As bicicletas de carga, cujas potencialidades estão longe de serem globalmente utilizadas, abrem novos horizontes de mobilidade.

Em conclusão, podemos afirmar que a metalomecânica, no que às bicicletas se refere, tem um amplo campo de desenvolvimento à espera, não nos falte a arte, o engenho e a capacidade de inovar.

# NOVOS DESAFIOS NA INDÚSTRIA DO AÇO: QUAL O IMPACTO DAS TENDÊNCIAS DO MERCADO, NOMEADAMENTE O MERCADO AUTOMÓVEL, NO PROCESSO DE FABRICO DO AÇO

ÂNGELA MARTINS

Gestora do Produto Aços Ferramenta

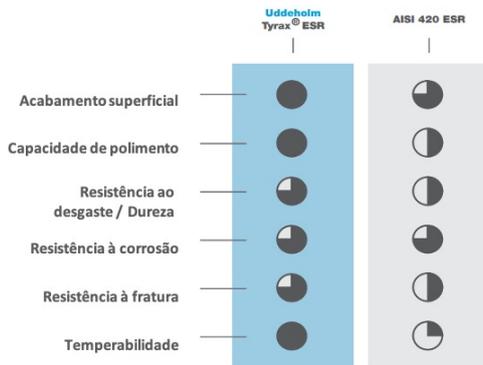
***A Indústria Europeia de Aço tem investido continuamente no desenvolvimento de processos mais refinados de produção de aço, criando diferentes qualidades tendo em conta as evoluções do mercado e, simultaneamente, contribuindo para as reduções das emissões de CO<sub>2</sub>. A aposta nas melhorias nos processos de fabrico do aço é um dos principais fatores que assegura a sustentabilidade do setor, principalmente nesta era em que o controlo/reduções das emissões de CO<sub>2</sub> nunca foram tão imperativos.***

Segundo os dados recolhidos pela *European Steel Association*, devido ao aumento da procura, é expectável que o consumo de aço pela indústria aumente 13% em 2021 face aos valores apresentados em 2020. Os dados recolhidos para o segundo quadrimestre de 2021 revelam que os setores consumidores de aço cresceram a uma taxa excecional de 29,2%. O setor automóvel e eletrodomésticos impulsionaram estes valores (que tiveram descidas acentuadas em 2020 devido às medidas de confinamento aplicadas face ao Covid19 [<https://www.eurofer.eu/>]). Analisando Portugal e a Indústria de Componentes para Automóveis, os últimos dados recolhidos pela AFIA revelam que este setor representa 10,4 mil milhões de euros (5,2 % do PIB) e cerca de 62 mil empregos diretos [<https://afia.pt/>]. A Indústria Automóvel tem um peso considerável no consumo de aço em Portugal. Sendo este um mercado bastante competitivo e em constante evolução, é natural que essas exigências se extrapolem para os aços e a necessidade de criação de qualidades que acompanhem estas tendências. Para os aços ferramenta dedicados à indústria de moldes de plástico em Portugal, as exigências são ainda mais visíveis.

O desenvolvimento da indústria das peças plásticas tem sido marcante nos últimos anos, assim como o aumento das exigências das suas características

mecânicas e físicas. Por um lado, nas peças óticas, desde a indústria automóvel (como faróis de grandes dimensões) à indústria eletrónica (aumento exponencial do uso de *smartphones* e *smartwatches*) e também a indústria médica, os requisitos de peças totalmente transparentes, sem defeitos, requerem do aço a capacidade para acabamento superficial de alto brilho. Por outro lado, para além do aumento progressivo do uso de fibra de vidro e aditivos abrasivos (que provocam desgaste mais acelerado das zonas moldantes), devido aos impactes ambientais, é também notório o aumento do uso de bio compósitos. Para além do efeito abrasivo sobre o aço durante o processo de injeção, os bio compósitos tendencialmente libertam agentes corrosivos. Os retardadores de chama também têm sido alvo de mais utilização e, à semelhança dos bio compósitos, têm a capacidade para libertar agentes corrosivos no processo de injeção. O surgimento de novos aços com novas características e melhores *performances* foi inerente tendo em conta o contexto atual. Os aços inoxidáveis *standard* [AISI 420 ESR], apesar da boa capacidade de polimento e resistência à corrosão, tendencialmente são tratados termicamente a aproximadamente 50 HRC. A investigação encaminhou-se no sentido de aliar a elevada capacidade de polimento e resistência à corrosão ao aumento da resistência ao desgaste, sem comprometer a tenacidade do material (Figura 1).

O *Tyrax ESR* da *Uddeholm* surge como reação a estas *trends* do mercado. O *Tyrax ESR* é um aço inoxidável com capacidade para atingir 55-58 HRC, com a melhor das capacidades de polimento, assegurando o alto brilho num número reduzido de passos (redução dos custos de fabrico de um molde).



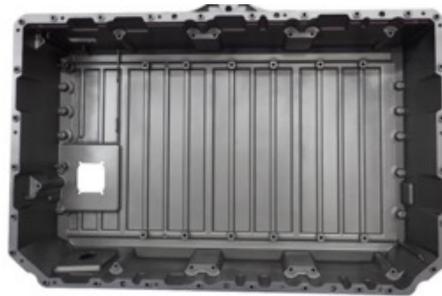
**Figura 1** - Comparação das propriedades do Tyrax ESR vs AISI 420 ESR. Fonte: Uddeholm

No que diz respeito aos aços pré-tratados, o mercado português centraliza a sua atividade nos aços P20 *standard*. Contudo, as limitações destas qualidades têm levado a um aumento da procura de soluções alternativas, especialmente para peças de grandes dimensões e com elevada exigência ao nível de polimento e textura. Desta forma, surgem os P20 modificados, aços com alterações na composição química e processo de fabrico que asseguram um aumento da qualidade da peça injetada, com menores custos de manutenção (aços com melhor *performance* e maior longevidade). O *Nimax* e *Nimax ESR* da *Uddeholm* são exemplos de aços pré-tratados a 40 HRC, com excelentes valores de tenacidade. O processo de fabrico controlado do fabricante assegura homogeneidade de durezas mesmo em secções largas, excelente maquinabilidade e soldabilidade (dado o baixo %C). O *Nimax ESR* é muitas vezes a solução ideal para requisitos de alto brilho e texturas técnicas de elevada qualidade. A aplicação de revestimento também é um requisito muito usado para melhorar a resistência ao desgaste abrasivo e/ou adesivo (**Figura 2**).



**Figura 2** - Molde em Nimax ESR com revestimento. Fonte: Uddeholm

As mudanças na indústria automóvel (nomeadamente a transição ICE para EV) desencadearam a necessidade de produção de peças metálicas maiores e mais complexas (desde as peças estruturais às caixas das baterias e dos motores, **Figura 3**), que se refletem na necessidade de comercialização de blocos de aço de maiores dimensões. Para além disso, o surgimento e crescimento da comercialização de veículos elétricos exige uma maior *performance* do aço ferramenta.



**Figura 3** - Caixa de bateria (liga de alumínio) de um veículo elétrico (200 x 500 x 1200 mm).

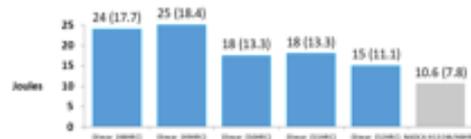
Fonte: Uddeholm

A complexidade das ferramentas tem aumentado, assim como surgem novas ligas de alumínio com maiores temperaturas de fusão que conseqüentemente originam problemas de fadiga térmica precoce no aço. Assim, a *Uddeholm*, através da melhoria do processo de produção do aço, aliado às mais recentes tecnologias *ESR*, providenciaram um aumento da homogeneidade e *cleanliness* (matrizes sem segregações e inclusões não metálicas) dos blocos produzidos em *Dievar*. Adicionalmente, o investimento na otimização do tratamento térmico e processos produtivos a quente possibilitaram a existência de níveis de tenacidade incomparáveis aos standards do mercado.

Esta nova geração de *Dievar*, em suma, combina o melhor de dois mundos:

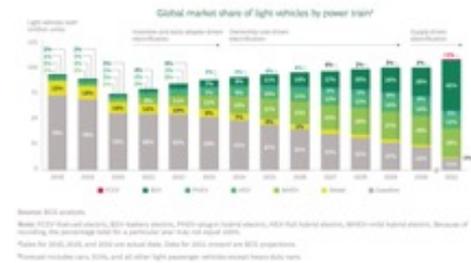
- A composição química clássica do *Dievar*, que garante elevada resistência à fadiga térmica;
- A melhor das tenacidades a usar em blocos de grandes dimensões.

O *Dievar* possui a melhor das tenacidades quando comparado com aços de trabalho a quente *standard* AISI H13 ESR, **Figura 4**.



**Figura 4** - Comparação da tenacidade do *Dievar*, a diferentes durezas, para o H13 ESR. Fonte: Uddeholm

Para concluir, de acordo com os dados recolhidos pela *Boston Consulting Group* (**Figura 5**), face às transições mundiais de veículos ICE para EV, vai continuar a tendência crescente em 2021 (crescimento de 8% em 2019 e 12% em 2020), sendo que em 2026 é expectável que os EV ocupem mais de metade das vendas mundiais, reafirmando a necessidade de evolução dos processos de fabrico do aço que permitem a produção das novas peças para a indústria automóvel.



**Figura 5** - Previsão da evolução da quota de mercado de EV. Fonte: BCG



3 - 6 ABRIL

SAVE THE DATE

GUIMARÃES

**X Congresso da  
Sociedade Portuguesa  
de Materiais**

**XI International  
Materials  
Symposium**



# MATERIAIS

## "SUSTAINABILITY FOR A FUTURE"



### MAIN THEMATIC AREAS

*Materials for environmental protection and remediation*  
*Biomedical, Bio-Derived and Bio-Inspired Materials*  
*Materials for the digital transformation*  
*Materials for mobility*  
*Materials for structural and multifunctional applications*  
*Materials for energy and power generation*

### ORGANIZING COMMITTEE

Ana Maria Pinto  
 Ana Vera Machado  
 António José Pontes  
 Maria da Conceição Paiva  
 Filipe Vaz  
 Júlio César Viana  
 Joao Miguel Nóbrega  
 João Pedro Nunes  
 Manuela Raposo  
 Renato Reis

### CHAIRMAN

José António Covas



# THE FUTURE OF LASERS WILL BE MAGICAL



**ATHANASSIOS KALIUDIS**

Spokesperson Trumpf Laser Technology

TRUMPF MEDIA RELATIONS, CORPORATE COMMUNICATIONS

***After years of attempting to reach the top, the laser is now the smartphone of industrial tools. Like lasers, smartphones are truly small marvels of engineering, but hardly anyone is amazed by them anymore. They've simply become too ubiquitous - too normal. But there is a lot going on in the field of laser technology at the moment - laser users are learning to think differently. This is because in the future, new productivity gains will only be possible if we start viewing laser machining as part of a larger process. Let's now take a look at the most exciting and promising trends and industries when it comes to the future of laser technology.***

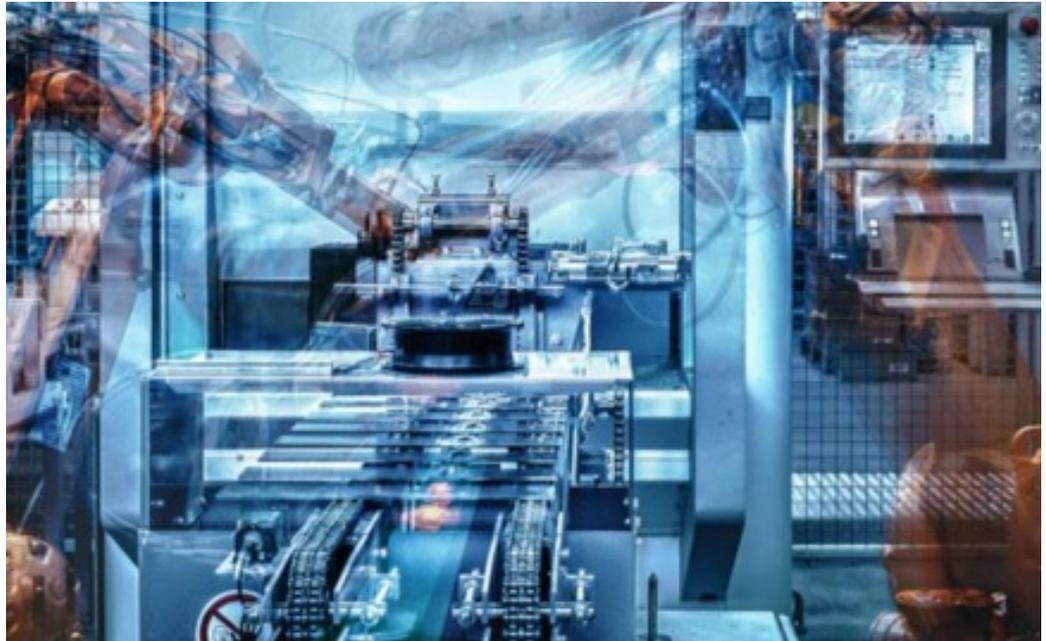
## **PROMISING NEW FIELD: OPTICS UND BEAM GUIDANCE**

*When laser experts finally succeeded in using ultrashort laser pulses to drill tiny, closely spaced holes in rapid succession a few years ago, it was an incredible feeling. So what's next? We'll soon be able to drill a thousand holes at once, of course! But this huge leap in productivity will require a fundamental shift in perception. We used to talk about a laser beam hitting a material at the focal point, but experts now prefer the more precise definition of a laser wave being generated within the material and a focus that is a spatial distribution of intensities.*

*This new way of thinking is called wave optics. The previously predominant model of ray optics describes the propagation of laser light as a ray, the far more complex model of wave optics views laser light as a wave. This is not merely a theoretical exercise. It is driven by what certain materials and specific applications actually need from laser light. Glass, for example, can be – tech term ahead – “intrinsically modified” and therefore divided by a laser (this no longer has anything to do with cutting). Thanks to wave optics, it's even possible to split laser beams into a thousand parts. The result? Processes that are a thousand times faster. The task in the future will therefore be to form, bend, squash and stretch this coherent bundle of waves, to*

*chop it into pieces and deliver it to the precise place where we want it to act everywhere simultaneously. That requires very different things from process development – and from optics. Put simply (and please don't take this personally!), focusing is a beginner's game, because over the next ten years the real interest will lie in diffraction. Constructing models for this is a highly complex task*

*requiring Herculean mathematical efforts. But once the systems are up and running, laser operators will benefit from tremendous productivity gains and fields of application that were previously impossible to imagine.*



Digitized production also needs a tool that is just like it – fast, direct and flexible: laser light.  
© Ralf Kreuels / Gernot Walter

### **PROMISING NEW FIELD: NEW BEAM SOURCES**

*The basic beam source concepts have all been common knowledge since the 1970s – CO<sub>2</sub>, solid state, diode, fiber. But there's still plenty of room for improvement. Engineers are constantly finding new ways of getting more out of their laser systems, from higher pulse energies and higher average power to shorter pulses and better beam quality. This looks set to continue in the years ahead. But apart from the race to set new records in this or that aspect of industrial lasers, what are the key developments that users should be keeping an eye on? First, the range of wavelengths is getting larger. In theory, we already have access to laser light at all possible wavelengths, it's simply a question of finding the necessary power. This obstacle is gradually being overcome in all wavebands – the reliability of the disk laser has given us the tools we need to generate high-power laser light in all possible colors ready for industrial use. One of the most recent examples is*

*green laser light, which is readily absorbed by nonferrous metals, making it the perfect choice for applications in e-mobility. Soon it will be possible to generate powerful beam sources at exactly the right wavelength for all conceivable applications. Second, lasers are getting smaller. Semiconductor lasers, direct diode lasers and other lasers are steadily shrinking into miniature formats.*

*This makes them easier to use in all kinds of systems, from cell phones to operating rooms. It also paves the way for entirely new applications such as laser-based scanning of the environment in autonomous vehicles and quality control. The first developers are already working on ways to pack the laser medium into an optical fiber, allowing laser light to be generated "on the go." Although such beam sources are not fundamentally new, they illustrate how old concepts are revealing a level of flexibility that most people would have thought impossible.*





Using green light, copper welding becomes more energy efficient and of higher quality, irrespective of the properties of the material surface. © Oliver Graf

### **PROMISING NEW FIELD: ELECTRIC VEHICLES**

The transformation of the automotive industry from the internal combustion engine to electric-powered vehicles is creating a wealth of new applications – and it is, of course, lasers that make the highly efficient mass production of the new components possible. First and foremost, the battery. Although in fact, despite being succinctly referred to as a “battery,” this is actually a complex structure consisting of a battery cell, battery module and battery pack. Batteries for electric cars consist of several layers of wafer-thin copper and aluminum foil that have been cut and welded by a laser. Afterwards, liquid electrolyte is poured in and then the battery is welded shut with a cap. These welds must completely seal the battery to minimize the risk of fire and injury. Second, the electric motor. Here, manufacturers are increasingly relying on what is known as hairpin technology. Normally, the stators in electric motors are equipped with coils of copper wire that create a rotating magnetic field that makes the motor run. Each individual slot in the stator is wrapped in a coil that goes in and

out, in and out, almost like knitting! But due to the thick copper wires, this would be too time-consuming and too expensive for powerful electric motors that must move an entire vehicle. This explains why manufacturers are relying on hairpins. This involves using a compressed-air pistol to fire a rectangular copper wire, similar to a hairpin, into each slot. The protruding parts of the wire are then twisted together and welded using a laser – this also creates a coil. And third, the high-performance electronic components. With charging plugs, transformers and rectifiers, electric vehicles feature a whole range of new power electronics. While a 24-volt battery is enough to power all the electronics in a vehicle with a combustion engine, electric cars can easily hit 800 volts or more. This means that extremely rugged connections are required. As an excellent conductor of heat and electricity, copper is the material of choice. But copper can only be welded efficiently with a very special laser – namely a green laser (also see the section on new beam sources) – otherwise too many spatters occur and the risk of short circuits increases.



For electric vehicles manufacturers are relying on hairpins. © Martin Stollberg

### PROMISING NEW FIELD: QUANTUM TECHNOLOGY

Quanta are everywhere, but the way they behave is something the human mind struggles to grasp. For example, in quantum mechanics it's possible for something to exist simultaneously in two mutually exclusive states or occupy two different positions at the same time. This is beyond confusing, but it opens up exciting possibilities. Quanta carry specific information encoded within them, for example on their intrinsic angular momentum, or "spin." In order to read this information and use it for calculations and other purposes, we have to make it visible, in other words amplify it to some degree. This is possible with quanta of light, i.e. photons. But not just any old

photons! Depending on what you are trying to measure, these photons need to exhibit certain properties, for example a precisely defined wavelength or polarization. This requires a beam source that does exactly that, namely produces photons with a precisely defined wavelength and with a very specific polarization. The TRUMPF subsidiary Q.ANT develops and produces industrial solutions with these types of beam sources. Its potential areas of application are virtually endless. Quantum technology will play a key role in numerous different areas, from novel sensor systems for medicine and autonomous driving to new types of data encryption to new microscopes and equipment that we can't even imagine yet!



**JUNIOR EUROMAT**

**SPM**  
SOCIIDADE PORTUGUESA DE MATERIAS

**FEMS**  
FEDERATION OF EUROPEAN  
MATERIALS SOCIETIES



**COIMBRA**

**19-22 JULHO**

## SPEAKERS



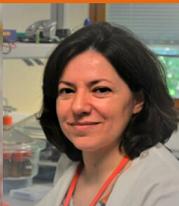
BELLA



DAMIEN VOIRY



ELVIRA FORTUNATO



GORETI SALES



LUIS M. LIZ-MARZ N



MARIA CLELIA RIGHI

# RAMADA AÇOS

SPECIAL STEEL SOLUTIONS



## PARCEIROS NOS AÇOS, PARCEIROS NA INDÚSTRIA

Alguns dos nossos produtos e áreas onde estamos presentes:

- Aços Ferramenta
- Metalomecânica
- Aços Inoxidáveis
- Ferramentas de Corte
- Ferramentas Industriais

No Ramada Aços dispomos de soluções integradas e, por isso, disponibilizamos vários serviços de acordo com as necessidades do cliente:

- Tratamentos Térmicos
- Maquinação
- Laboratório de Qualidade
- Apoio Técnico
- Logística
- Entre muitos outros...

**VISITE-NOS EM [RAMADA.PT](http://RAMADA.PT) PARA SABER MAIS SOBRE NÓS E SOBRE TODOS OS NOSSOS PRODUTOS E SERVIÇOS**

# PROFESSOR JOSÉ MANUEL TORRALBA TODAS AS CIÊNCIAS DEPENDEM DOS MATERIAIS



**Vivemos numa era excitante e desafiante. Esta é a opinião de José Manuel Torralba que realça a importância dos materiais na investigação e desenvolvimento de todas as disciplinas e que refere que, hoje, é cada vez mais necessário a criação de projetos multidisciplinares, onde a ciência trabalha, em conjunto com a indústria e a sociedade, para responder a problemas reais.**

Os dias de hoje podem ser considerados tempos de ouro para quem trabalha a engenharia dos materiais, e, principalmente, dos metais. Esta é a opinião de José Manuel Torralba. E a explicação é muito simples. "Hoje vivemos numa sociedade muito avançada a nível tecnológico e, curiosamente, tudo isto está relacionado com o mundo dos materiais", refere, acrescentando que todos os saltos tecnológicos tiveram por detrás a ciência dos materiais.

E isto é transversal a todos os setores e toda a economia. Desde o permitir que os aviões voem mais alto e emitam menos CO<sub>2</sub>, que a energia seja mais limpa ou os veículos sejam mais "verdes"... na verdade os grandes desafios do século XXI estão dependentes de novas tecnologias que, por seu lado, dependem do desenvolvimento de novos materiais.

E isto sem falar "do" tema quente da atualidade: a sustentabilidade. "Hoje em dia todas as chamadas tecnologias sustentáveis dependem dos materiais para serem sustentáveis", afirma perentório José Manuel Torralba. Isto significa que os materiais encontram-se hoje no centro de tudo. Razão pela qual são um trabalho desafiante e atrativo.

A entrada no mundo dos metais deu-se parte por vocação e parte por casualidade. E tudo começou na universidade, mais precisamente na *Escuela de Minas de Madrid* (Universidad Politécnica), onde tirou engenharia de minas, com especialização em metalurgia. E optou por isso porque, confessou, são matérias que o encantam.

Questionado sobre o que há de tão especial na metalurgia que o levou a enveredar por esse ramo, lembrou que a metalurgia física é a "mãe" da ciência e da Engenharia dos Materiais, que é uma disciplina de onde a ciência e a engenharia estão totalmente vinculadas. E foi precisamente isso que o atraiu. Por um lado, como científico, pode auferir os dados e tentar criar e verificar teorias, e, por outro lado, como engenheiro, tem a possibilidade de transformar o processo e verificar os resultados. Ao mudar as propriedades dos materiais muda-se, também, as aplicações dos mesmos, afirma, acrescentando que é uma disciplina que está, simultaneamente, muito ligada à ciência, mas também à tecnologia. "Para mim, que entrei em engenharia, isso era muito atraente, porque podia fazer de cientista num determinado âmbito e construir o que é a tecnologia da sociedade".

No decorrer da sua carreira José Manuel Torralba sempre trabalha para e com a indústria e em ter projetos de investigação orientados às empresas. Esse tem sido, aliás, um caminho que se tem tornado cada vez mais notório nos últimos 30 anos. Para o professor é evidente que a investigação tem ficado cada vez mais orientada à sociedade, nomeadamente no responder aos seus desafios. E isso implica, segundo ele, trabalhar com a indústria.

Com 40 anos de experiência José Manuel Torralba refere que muito mudou na abordagem à ciência. E, se antes falava-se de ciência aplicada, hoje o pensamento vai mais no sentido de ter ciência mais ou menos orientada. Para o investigador, hoje, falar de ciência aplicada não faz sentido

na atual sociedade em que vivemos. Principalmente porque, devido a estarmos focados nos desafios tecnológicos e nos desafios da sociedade isso faz com que toda a ciência seja ciência aplicada. Já não se investiga apenas para investigar. “*Isso já não existe*”, afirma. Hoje vivemos num mundo dominado pelos projetos colaborativos, onde se trabalha na aplicação (real) da ciência. Na resolução de problemas existentes. Mais ainda. A colaboração não ocorre apenas entre a ciência e a indústria, mas sim entre várias disciplinas. E o que aconteceu nos últimos anos é, para José Manuel Torralba, um claro exemplo disso mesmo, onde várias disciplinas se juntaram para dar resposta a um problema comum. Uma solução que necessitou de engenheiros, de profissionais da ciência dos materiais, de inteligência artificial, de robótica, etc. “*Hoje em dia não podemos falar de setores isolados, mas sim de ciência interdisciplinar*”, afirma, dando como exemplo, os projetos sinérgicos apoiados pela União Europeia através da *European Research Council*, em que se promove a participação de disciplinas totalmente transversais entre si. “*Isto está a obrigar a todos a mudar o ‘chip’ mental na investigação*”, refere, acrescentando que “já não podemos investigar de forma isolada e um tópico muito centralizado”.

A pandemia serviu para destacar a necessidade de desenvolver projetos de pesquisa multidisciplinares. Com ênfase especial em disciplinas tecnológicas como robótica ou inteligência artificial. E os materiais estão sempre em “*todos eles*”. Por exemplo, nas ciências da saúde, é impossível pensar em pesquisa e desenvolvimento sem ter os materiais por trás disso. Desde equipamentos de medição, implantes, a necessidade de materiais biocompatíveis, às vezes reabsorvíveis ... no mundo da pesquisa aeroespacial, por exemplo, diz ele, os materiais têm que suportar temperaturas cada vez mais altas e têm que ser mais leves. Ou seja, é impossível evoluir em todas essas áreas se não houver evolução anterior na ciência dos materiais.

## PROJETOS

Ao longo dos anos José Manuel Torralba participou em inúmeros projetos. Uma simples pesquisa no *Google* revela umas boas dezenas de documentos publicados. No entanto há um que acarinha com especial atenção. Os anos em que, com o patrocínio da *Höganäs*, trabalhou com três universidades (italiana, austríaca e da

eslovaca) e onde “*descobriu*” o prazer de trabalhar de forma colaborativa e onde conseguiram desenvolver conhecimentos e materiais que no só tiveram aplicação industrial, como foram úteis para “*melhorar coisas*”. Mas, também, porque foi precursor dos outros projetos colaborativos.

Hoje, como diretor do Instituto de Materiais *IMDEA*, tem projetos multinacionais que envolvem centros de pesquisa e empresas de toda a Europa que seguem a mesma filosofia e que trabalham para “*construir uma sociedade melhor*”. Particularmente na área de assuntos atuais e importantes como biotecnologia ou energia, onde é necessário desenvolver materiais multifuncionais, por exemplo, “*temos que produzir energia mais limpa*”. Mas para isso, entre outras coisas, é necessário encontrar materiais que possam armazenar mais energia, ou as baterias durem mais. São muitos os desafios associados aos chamados materiais multifuncionais, ou seja, “*que não cumpram apenas uma função*”. Antes, diz, os materiais eram criados para resistir à resistência, ou à corrosão, ou para conduzir eletricidade. Hoje, além da resistência mecânica, devem ser projetados para cumprir outras funções simultaneamente.

Atualmente, por exemplo, está a participar num projeto financiado pela UE, que visa desenvolver e comercializar pós avançados cujas características em nanoescala permitirão melhorias significativas no desempenho do material, como maior resistência com menor peso e boa resistência à corrosão, todos os quais é altamente valorizada na fabricação de componentes para as indústrias aeroespacial, automotiva, de defesa ou médica, bem como outras aplicações de fabricação de alto valor, como ferramentas de corte.

Recebeu recentemente a medalha de ouro *FEMS European Materials*, um prémio que é um reconhecimento, dado pelos seus pares, à sua longa carreira e a todo o trabalho de investigação realizado ao longo dos anos. Um prémio que, para José Manuel Torralba, foi a concretização de um sonho porque passa a integrar uma lista de nomes que sempre admirou.

# APLICAÇÃO DA VIBRAÇÃO ULTRASSÓNICA NO TRATAMENTO DE METAL LÍQUIDO DE LIGAS DE ALUMÍNIO

**H. PUGA**

CMEMS – UMinho

Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho,  
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

puga@dem.uminho.pt

## Resumo

*Atualmente, assiste-se a uma tentativa de alargamento do domínio de aplicação das ligas de alumínio, quer através do desenvolvimento de novas ligas/composições, quer por recurso a novas técnicas de tratamento de metal líquido, com as quais seja possível melhorar significativamente o desempenho em serviço dos componentes fabricados. Com o presente documento pretende-se apresentar os trabalhos realizados no desenvolvimento, estudo e otimização de ferramentas de vibração ultrassónica para tratamento de metal líquido de ligas de alumínio. A técnica desenvolvida apresenta resultados significativos na eficiência de remoção de hidrogénio dissolvido no banho, aumento da densidade e melhoria da sanidade microestrutural das ligas tratadas, bem como uma redução do impacte ambiental.*

## 1. LIGAS DE ALUMÍNIO, APLICAÇÕES E TÉCNICAS DE TRATAMENTO

O alumínio e as suas ligas são materiais de engenharia relativamente novos, datando o início da sua utilização industrial do fim do século XIX. Desde então, o seu domínio de aplicação tem vindo continuamente a aumentar, facto para o qual muito contribui a combinação de algumas das suas propriedades físicas e mecânicas, nomeadamente a elevada resistência à corrosão, baixa massa específica e um rácio resistência mecânica/massa específica significativamente superior ao apresentado por grande parte dos materiais alternativos/concorrentes.

A possibilidade de reciclar as ligas de alumínio é, também, um dos fatores primordiais na sua seleção como material de engenharia. Associado ao aspeto da reciclabilidade, salienta-se o controlo e a diminuição da poluição resultante dos processos de extração e afinação e a própria sustentabilidade dos recursos, tornando-se foco de especial atenção nas sociedades industriais modernas [1].

De entre os diversos mercados das ligas de alumínio, a indústria automóvel é, talvez, o mais representativo, sendo aí que se encontra uma das principais forças motrizes para o estudo e desenvolvimento de novos materiais e técnicas de processamento. Com efeito, o desenvolvimento da indústria automóvel depende da melhoria da eficiência energética, de forma a cumprir as crescentes exigências regulamentares de emissões gasosas e o aumento do desempenho dos automóveis [2]. Para atingir esses objetivos, é fundamental o recurso a materiais tecnologicamente avançados e uma diminuição substancial do peso dos componentes [3], não só nos veículos tradicionais, mas, especialmente, na atual geração de veículos híbridos *plug-in* e elétricos. Nesse contexto, a utilização crescente de ligas de alumínio tem vindo a ter um papel importante.

Atualmente, os principais processos tecnológicos utilizados no fabrico de componentes de ligas de alumínio são a Fundição, a Conformação e a Maquinagem, com particular destaque para a Fundição. De entre as ligas de alumínio utilizadas em fundição, destacam-se as ligas do



sistema *Al-Si* hipo-eutéticas, com pequenos teores de cobre e magnésio, que permitem melhorar substancialmente, por tratamento térmico, as propriedades mecânicas obtidas em bruto de vazamento, e que representam atualmente cerca de 90% das peças fundidas. Como exemplos, podem referir-se as ligas *AlSi9Cu* e *AlSi7Mg*, destinadas, preferencialmente, à fundição em moldação permanente e moldação em areia, respetivamente, e que estão entre as ligas de alumínio cujo aumento da procura mais se tem feito sentir. Destaque ainda para as ligas eutéticas do sistema *Al-Si*, como a liga *AlSi12*, particularmente indicada para utilização em moldação permanente com vazamento por pressão, um dos processos de fundição mais utilizados no fabrico de componentes para a indústria automóvel.

O desempenho de um componente mecânico é frequentemente limitado pelas características intrínsecas dos materiais utilizados, ou por deficiência/limitações inerentes ao próprio processo de fabrico. Apesar da sua utilização generalizada, a fundição de ligas de alumínio não é tarefa fácil, dado que são ligas propensas à obtenção de estruturas grosseiras e heterogêneas, normalmente dendríticas, bem como à absorção de hidrogénio durante a operação de fusão, que obrigam a um conjunto de operações de tratamento do metal líquido, de forma a diminuir e controlar o nível de porosidade e a microestrutura após solidificação.

A expressão “tratamento de metal líquido” inclui três operações – desgaseificação, para remoção do hidrogénio dissolvido no banho, modificação do silício da fase eutética para aumentar a ductilidade da liga, e afinação do grão, ou seja, atuação ao nível da forma/dimensão da solução sólida de alumínio (Al), para aumento da ductilidade e melhoria das propriedades mecânicas em geral. Os processos de desgaseificação correntes baseiam-se na introdução de bolhas de um gás isento de hidrogénio no banho, sob pressão, para as quais os átomos de hidrogénio vão difundir e combinar-se, formando hidrogénio gasoso, que é posteriormente expelido para a atmosfera [4]. A modificação do silício da fase eutética é efetuada por adição de pequenas quantidades de estrôncio ou sódio que promovem a redução do tamanho e alteração da morfologia das lamelas de silício (no sentido de obtenção de uma estrutura fibrosa) [5], enquanto a afinação do grão é conseguida por adição de pequenas quantidades de titânio ou/e boro ao banho [6], que promovem o aumento do

número de núcleos de solidificação, dando assim origem a estruturas mais finas. As operações de modificação e afinação são habitualmente efetuadas por recurso a ligas mãe, e podem ser realizadas em simultâneo ou em diferentes fases/estágios. Contudo, o seu rendimento, muitas das vezes, é baixo, não havendo possibilidade de garantir uma distribuição homogênea no banho das substâncias adicionadas, pelo que a eficiência e resultados do tratamento são, frequentemente, deficientes. Por outro lado, as técnicas atualmente utilizadas originam escórias com impacte ambiental não negligenciável.

No contexto das aplicações deste tipo de ligas, a porosidade e as propriedades mecânicas constituem um fator determinante no desempenho dos componentes. Assim, torna-se importante desenvolver técnicas de tratamento dos banhos líquidos que conduzam a uma melhoria da sanidade e características microestruturais capazes de assegurar um melhor desempenho mecânico dos componentes, sem impacte ambiental, mais eficientes e de mais fácil controlo que as atualmente existentes. Uma dessas técnicas, e com um crescente interesse por parte da indústria da fundição, é a aplicação de energia ultrassónica – baseada num mecanismo físico – para tratamento de desgaseificação e afinação/modificação da microestrutura de ligas metálicas (**Figura 1**).



**Figura 1** - Otimização de ferramentas para tratamento de metal líquido de ligas de alumínio por ultrassons.

## 2. PRINCÍPIOS FÍSICOS E EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VIBRAÇÕES ULTRASSÔNICAS NA METALURGIA

Todos os líquidos (acusticamente lineares), soluções líquidas, misturas simples e compostas, a temperaturas baixas e moderadas, incluindo metais líquidos a temperaturas não muito próximas da temperatura de solidificação, comportam-se de forma semelhante em relação

às vibrações acústicas, ultrassônicas e mecânicas.

De entre os fenômenos físicos associados à propagação de ondas acústicas em metais líquidos, a cavitação, ou formação de cavidades no seio do líquido, é o mais relevante. A cavitação forma-se durante o período de expansão da onda, durante o qual se desenvolvem pressões suficientemente elevadas para provocar discontinuidades no líquido, originando, portanto, bolhas. As bolhas formadas passam por uma fase de aumento de volume, podendo colapsar sob a ação de forças de compressão durante o meio período de compressão da onda acústica, dando origem a ondas de choque de elevada intensidade. Assim, num banho submetido a um campo acústico, as cavidades produzem-se nos locais sujeitos a pressões negativas e colapsam durante os períodos sujeitos a pressões positivas. Porém, a nucleação das bolhas num determinado meio líquido é determinada tanto pelas propriedades do líquido, como pelas dos ultrassons, sendo necessário que a pressão acústica exceda um valor mínimo para que as bolhas se desenvolvam.

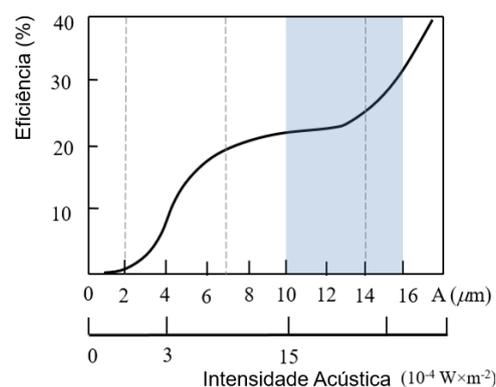
De acordo com a teoria cinética dos fluidos, os líquidos ideais apresentam uma pressão limite de cavitação,  $PC$ , demasiado elevada para que se verifique cavitação homogênea, quando submetidos a um campo acústico. No entanto, na prática, qualquer metal puro ou liga no estado líquido contém quantidades significativas de partículas sub-microscópicas em suspensão, as quais não são solúveis no banho [7, 8]. Nos banhos de ligas de alumínio, por exemplo, partículas muito finas, como óxidos de alumínio ( $Al_2O_3$ ), podem atuar como núcleos de cavitação. Embora a fração volumétrica de hidrogênio na superfície das partículas em suspensão seja mínima (aproximadamente 0,1%), esta quantidade é suficiente para que ocorra cavitação [7, 9].

O metal líquido de ligas de alumínio apresenta um comportamento analogicamente (e acusticamente) semelhante ao que se verifica na água, à temperatura ambiente, quando este é submetido a vibrações ultrassônicas. Esta é a razão pela qual se usa frequentemente a água como simulador de carga acústica líquido-alumínio, ou como líquido de teste (uma vez que a impedância acústica e viscosidade são semelhantes às da água à temperatura ambiente). Além disso, os fenômenos de cavitação em metais fundidos são difíceis de estudar devido

às suas temperaturas, opacidade, entre outros. Assim, um regime ultrassônico bem estabelecido e uniforme na água é sinónimo de um regime de funcionamento muito semelhante ao que se irá desenvolver durante o tratamento de metal líquido de ligas de alumínio, utilizando-se as mesmas ferramentas. Naturalmente, isto só é válido se o metal líquido estiver a temperaturas suficientemente superiores à temperatura de solidificação (por ex.: sobreaquecimentos de 30, 50, ou  $100^\circ C$ ). Se o metal líquido for arrefecido e se aproximar da sua temperatura de solidificação ( $TL +5$  a  $+10^\circ C$ ), a sua densidade, viscosidade, e outras propriedades relacionadas com fluidos, incluindo impedância acústica, mudarão significativamente, e o acoplamento acústico radiador/emissor implementado não será adequado, conduzindo a perdas do sistema. De facto, durante a etapa de solidificação, a atenuação acústica tende a aumentar, afetando a geração de cavitação, e desta forma conduzindo à ineficiência das ferramentas vibratórias que gradualmente irão parar de oscilar.

A cavitação num metal líquido modifica a potência acústica binomial aplicada/absorvida devido a alterações no meio acústico, afetando assim a propagação de ultrassons no meio. No entanto, num líquido ou metal líquido com um regime de cavitação desenvolvido (vários segundos após iniciar a transmissão de vibração ultrassônica), a eficiência da desgaseificação tende a aumentar, conforme observado na

**Figura 2.**



**Figura 2** - Eficiência de desgaseificação em função da amplitude de onda ou intensidade acústica [7].

A propagação de uma onda ultrassônica de amplitude finita num determinado líquido é acompanhada, entre outros efeitos não-lineares, por um fluxo acústico estável que se desenvolve em campos acústicos não homogêneos ou perto de obstáculos [10]. A magnitude e velocidade dos fluxos acústicos num dado meio dependem

da natureza desse meio, bem como da forma e estrutura das fronteiras, ou seja, a velocidade dos fluxos acústicos aumenta com a intensidade acústica e com a absorção do som [7].

No caso de o meio de propagação ser um metal líquido, o valor da temperatura do banho tem influência preponderante no desenvolvimento dos fluxos acústicos. Assim, com o aumento de temperatura, a viscosidade do líquido e absorção do som diminuem, reduzindo-se a capacidade de geração de fluxos [7].

As principais vantagens da utilização de ultrassons como técnica de desgaseificação, quando comparado com os processos tradicionalmente usados, prende-se com a elevada taxa de remoção de hidrogénio e redução do impacto ambiental do processo [11]. Para além da diminuição do teor de hidrogénio, esta técnica favorece o arrasto, para a superfície do banho, de inclusões não metálicas, contribuindo para o aumento da sanidade e propriedades mecânicas dos fundidos [12].

A influência da vibração ultrassónica na afinação da microestrutura é baseada em fenómenos físicos decorrentes da elevada intensidade acústica propagada através do metal líquido. Até à data, foram propostos dois mecanismos para explicar a afinação de microestruturas por ultrassons: fragmentação dendrítica [13, 14] e nucleação heterogénea induzida por desenvolvimento de cavitação [14]. Contudo, o mecanismo de nucleação heterogénea induzida por cavitação parece ser a hipótese mais válida, e é defendida pela maioria dos investigadores que têm trabalho neste domínio.

O fornecimento da vibração ultrassónica aos banhos permite a obtenção de tamanhos de grão reduzidos, com forma globular, apresentando valores de circularidade acima de 0,7. Porém, a faixa de temperaturas de tratamento é fundamental para a obtenção de estruturas mais ou menos afinadas. Temperaturas de tratamento idênticas às utilizadas para o tratamento de desgaseificação têm tendência a originar microestruturas heterogéneas, com coexistência de dendrites e rosetas. Assim, é importante estabelecer uma boa correlação entre o processo de fundição e o tratamento de banho para que o resultado final esteja de acordo com as especificações.

Adicionalmente, a introdução de vibração

ultrassónica nos banhos de ligas de alumínio, para além de promover afinação da fase primária, *a-Al*, apresenta-se como uma alternativa às técnicas atuais de modificação do silício eutético e refinamento de intermetálicos. A conjugação dos diferentes efeitos da vibração ultrassónica aplicada ao banho conduz a propriedades mecânicas superiores às obtidas em fundidos cujos banhos sofreram afinação e modificação por via química.

### 3. DESENVOLVIMENTO E OTIMIZAÇÃO DE FERRAMENTAS PARA TRATAMENTO DE BANHOS POR ULTRASSONS

Conforme já referido, na última década tem-se testemunhado o desenvolvimento de técnicas altamente eficientes para o tratamento de metal líquido de alumínio e suas ligas, como por exemplo através da tecnologia dos ultrassons. Porém, para que essas sejam eficientes, torna-se necessário pensar no próprio processo de fundição em que essas técnicas de tratamento vão ser utilizadas a fim de otimizar e introduzir as alterações necessárias que melhor favoreçam o binómio processo de fundição vs. desempenho do componente.

Todas as ferramentas para transmissão de vibração ultrassónica ao banho, desenvolvidas pelo autor, são modeladas, simuladas e otimizadas numericamente através do módulo *Multiphysics – Acoustic Piezoelectric Interaction, Frequency Domain*, do software COMSOL (Figura 3) [15]. Considerando que a propagação da onda é linear e as tensões de corte são desprezáveis (o que é correto para os

$$\nabla \left( \frac{1}{\rho} \nabla P \right) - \frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

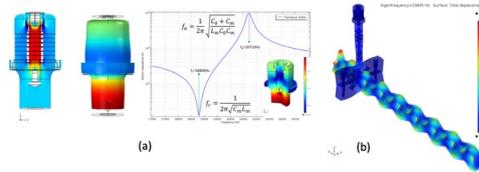
onde  $\rho$  representa a densidade do líquido,  $c$  a velocidade do som no líquido e  $t$  o tempo. Para o caso de uma onda harmónica no tempo, a pressão varia de acordo com:

$$P(r, t) = p(r) e^{i\omega t} \quad (2)$$

onde  $\omega = 2\pi f$  é a frequência angular. Assumindo que o mesmo harmónico é dependente do tempo, nos mesmos termos, a equação (1) pode ser reduzida através da equação (2) à equação de *Helmholtz*:

$$\nabla \left( \frac{1}{\rho} \nabla p \right) - \frac{\omega^2}{\rho c^2} p = 0 \quad (3)$$

O módulo usado no *COMSOL Multiphysics – Acoustic Piezoelectric Interaction* – no domínio de frequências, combina os efeitos da (i) pressão acústica e (ii) piezoelétricos, ligando as variações de pressão acústica à deformação dos sólidos atuados pelo efeito piezoelétrico dos PZT. A equação de *Helmholtz* é resolvida nos domínios do fluido e as equações estruturais no domínio sólido, em conjunto com as relações construtivas necessárias à modelação dos piezoelétricos. A interface física que resolve a equação de *Helmholtz* é adequada para a otimização de ferramentas ultrassônicas para tratamento de banhos, no domínio das frequências lineares com variação harmônica do campo de pressões.



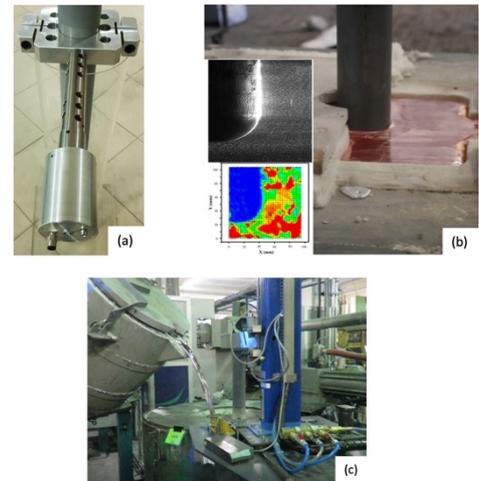
**Figura 3** - Otimização numérica. (a) Transdutor PIEZO acústico; (b) Sistema de transmissão de vibração ultrassônica - SiAlON.

Concluído o estudo e otimização das ferramentas ultrassônicas para tratamento de banhos, com recurso às técnicas CAE, estas são produzidas e validadas em ambiente experimental (laboratorial, e mais recentemente em ambiente industrial). A composição dos sistemas de transmissão de vibração ultrassônica é dependente do tipo de tratamento do banho (ex.: desgaseificação, afinação ou modificação), e das condições operacionais *in-situ* (ex.: temperaturas, volumes de tratamento, entre outros). A **Figura 4** (a) apresenta um dos sistemas para transmissão de vibração ultrassônica ao banho, previamente otimizado (**Figura 3** (b)). O sistema produzido foi posteriormente validado em ambiente laboratorial (**Figura 4** (b)) e industrial (**Figura 4** (c)).

A unidade de ultrassons, baseada na tecnologia *MMM* (Multifrequência, Multimodo, Modulada) é composta por um conjunto de componentes (Transdutor, *Waveguide*, *Clamp-on*, *SiAlON*, carga acústica e sensor de atividade acústica).

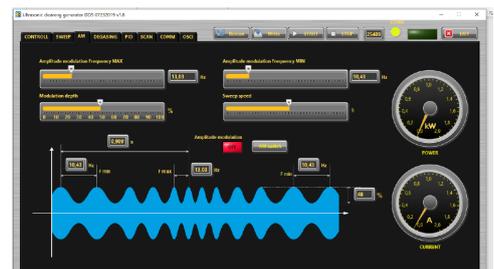
A Tecnologia *MMM* permite a modulação de frequência em função dos parâmetros estabelecidos pelo utilizador, tendo em atenção as características do meio. A seleção dos parâmetros de funcionamento é feita através de uma interface gráfica (Figura 5). A versão mais recente do gerador de ultrassons é um *SONOROD 2000* que permite fornecer uma potência

elétrica de até 2000 W, e uma frequência de ressonância do sistema variável de 18,5 a 21,5 kHz.



**Figura 4** - (a) Sistema de transmissão de vibração ultrassônica através de um tubo cerâmico SiAlON; (b) Validação em ambiente laboratorial; (c) Validação em ambiente industrial.

A seleção dos parâmetros de operação do gerador de ultrassons, baseado na tecnologia *MMM* – frequência de operação, intervalo de frequência variável (*sweeping*) e amplitude – afigura-se crítica e crucial na eficiência e operação do equipamento. Devido à complexa natureza mecânica dos meios físicos, os regimes de funcionamento do sistema devem ser inicialmente testados para intensidades acústicas reduzidas, ou seja, baixas potências elétricas do gerador de ondas, utilizando, por exemplo, uma carga fictícia. Assim, como primeiro critério na escolha dos parâmetros de operação, tem-se que os regimes de funcionamento mais adequados são aqueles que produzem oscilações mecânicas de elevada intensidade, com amplitudes de vibração estáveis no tempo e com potências elétricas de saídas moderadas. O segundo critério considera que a dissipação de energia térmica do sistema mecânico, em contínua operação ao ar, sem qualquer carga adicional, é mínima. Desta forma, todo o fornecimento de energia ultrassônica ao transdutor acústico, com uma tensão de corrente contínua e limitada, gera potência ativa exclusivamente na carga acústica.



**Figura 5** - Interface gráfica gerador de ultrassons/PC.

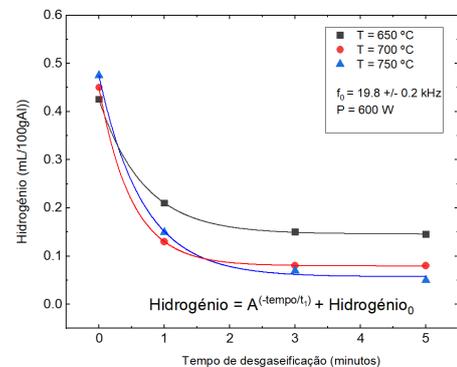
#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os estudos realizados e de seguida apresentados destinaram-se a avaliar o potencial de um processo físico (vibração ultrassónica) na desgaseificação e afinação de ligas de alumínio *Al-Si*. De forma à obtenção de um conhecimento especializado no tratamento de metal líquido, de ligas de alumínio, com recurso a uma fonte de energia externa, baseada no princípio físico de cavitação (e feixes acústicos), foram avaliados vários cenários. Na **Figura 6** (a) apresenta-se o efeito da temperatura do metal líquido no valor do teor de hidrogénio dissolvido no banho da liga *AlSi9Cu* (5 kg) ao longo do tempo de tratamento, à frequência média de  $19,8 \pm 0,2$  kHz e potência elétrica de 600 W. A temperatura do metal apresenta um efeito considerável na dinâmica de desgaseificação por ultrassons. Ou seja, uma diminuição na temperatura do metal líquido determina um aumento no valor da viscosidade, dificultando a geração e pulsação das bolhas formadas por cavitação, bem como a coalescência e flutuação destas para a superfície do banho. Para além do aumento da viscosidade, a difusão do hidrogénio dissolvido no líquido para as bolhas contidas nesse mesmo líquido diminui, reduzindo-se assim a eficiência de desgaseificação.

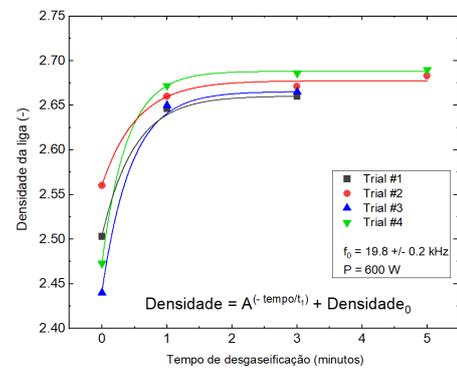
Na **Figura 6** (b) pode observar-se a dinâmica (evolução temporal) da densidade da liga *AlSi9Cu* (5 kg) ao longo do tempo de tratamento, à frequência média de  $19,8 \pm 0,2$  kHz e potência elétrica de 600 W, para diferentes teores iniciais de hidrogénio no banho. Os resultados sugerem que a dinâmica da desgaseificação por recurso à técnica dos ultrassons é independente do teor inicial de hidrogénio do banho. A **Figura 6** (c) apresenta a densidade vs. tempo em banhos de liga *AlSi9Cu* (5 kg), durante a desgaseificação pelas técnicas de ultrassons e insuflação de argón. Embora o mecanismo de remoção do hidrogénio dissolvido no banho seja idêntico para ambas as técnicas de desgaseificação (difusão dos átomos de hidrogénio para o interior das bolhas e remoção para a superfície do banho), a taxa de desgaseificação no tratamento por ultrassons mostra-se três vezes mais rápida que a alcançada através da desgaseificação por argón com difusor rotativo (100 rpm). Este comportamento advém do facto de as bolhas cavitadas serem em muito maior número, de menor dimensão, e estarem muito melhor distribuídas nos banhos do que as bolhas de argón introduzidas sob

pressão. Por outro lado, ao mecanismo de cavitação está sempre associada a formação de fluxos acústicos que intensificam os mecanismos de difusão, nomeadamente o transporte de átomos de hidrogénio até a vizinhança das bolhas formadas.

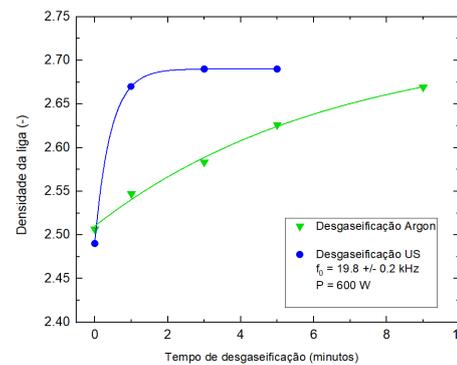
Adicionalmente, a possibilidade de operar o sistema de ultrassons através de impulsos ultrassónicos periódicos (com intervalos de tempo definidos de *ON* e *OFF*), envolvendo relaxamento, ou intervalos de tempo *OFF*, favorecem que o mecanismo de cavitação transitório e de evolução temporal ocorram entre períodos *ON* (**Figura 7**). O efeito conjugado dos fatores referidos é responsável pela maior taxa de remoção de hidrogénio/aumento de densidade da liga durante o tratamento de desgaseificação por ultrassons comparativamente com a técnica de desgaseificação por argón.



(a)



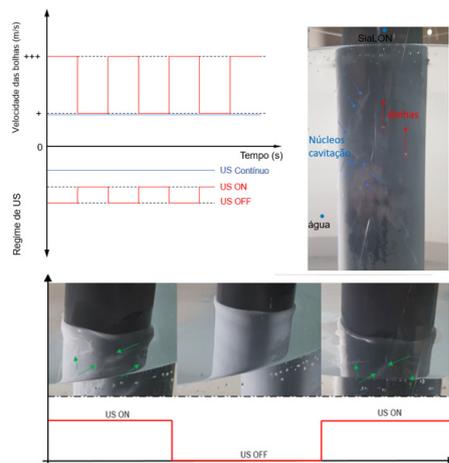
(b)



(c)

**Figura 6** - Desgaseificação de banhos de liga *AlSi9Cu* (5 kg), à frequência média de  $19,8 \pm 0,2$  kHz e potência elétrica de 600 W. (a) Efeito da temperatura do

metal líquido; (b) Evolução temporal da densidade da liga para diferentes teores iniciais de hidrogénio no banho; (c) Densidade vs. tempo durante a desgaseificação por ultrassons e argon.

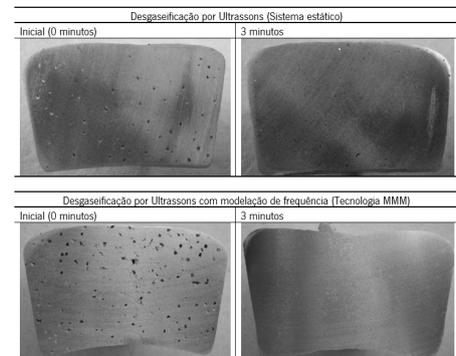


**Figura 7** - Definição de impulsos ultrassônicos periódicos (ON - OFF).

A formação de cavitação, além dos parâmetros operacionais do ultrassom, é determinada pelas propriedades do banho. Ou seja, se, por um lado, a presença no banho de núcleos para ativação acústica reduz substancialmente o valor da pressão de cavitação ( $PC$ ) necessária para a formação de bolhas – situação ideal para desgaseificação por ultrassons –, por outro, com o aumento do tempo de tratamento e consequente limpeza do metal fundido, o número de núcleos disponíveis/ativos no banho tende a diminuir, tornando difícil a remoção do hidrogénio remanescente. Esta evidência é problemática quando a desgaseificação por ultrassons é realizada com recurso a sistemas estáticos operando com frequência de ressonância fixa. Porém, a possibilidade da modelação da frequência de ressonância do sistema, através da tecnologia *MMM*, permite um adicional na distribuição e dispersão uniforme de bolhas de pequeno diâmetro, por todo o volume de metal líquido, favorecendo um aumento da eficiência de desgaseificação e consequente redução de porosidade das amostras, conforme apresentado na **Figura 8**.

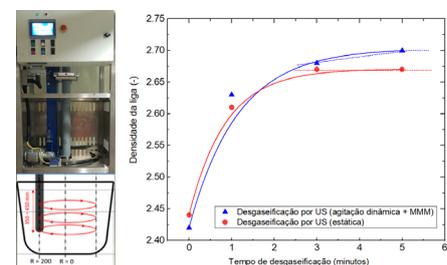
Na desgaseificação por vibração ultrassônica, devido ao fenómeno de atenuação acústica, as bolhas tendem a ser cavitadas nas proximidades do radiador acústico, e transportadas para a superfície do banho pela diferença de densidade e/ou por fluxos acústicos desenvolvidos no momento do seu colapso, removendo os gases dissolvidos (principalmente hidrogénio) e inclusões em suspensão. No entanto, nem todas as bolhas de cavitação chegam à superfície uma vez que parte

delas são transportadas para zonas com intensidade acústica insuficiente, acabando por se dissolver no líquido. Este mecanismo atenua o processo de desgaseificação por ultrassons, limitando a densidade máxima obtida, ou seja, reduz a eficiência da desgaseificação.



**Figura 8** - Porosidade em amostras submetidas ao teste *RPT* para dois tempos (0 e 3 min) de desgaseificação por ultrassons de banhos de liga AlSi9Cu, à temperatura de  $700\pm 5^\circ\text{C}$ , frequência de ressonância de  $19,8\pm 0,2$  kHz e potência elétrica de 600 W.

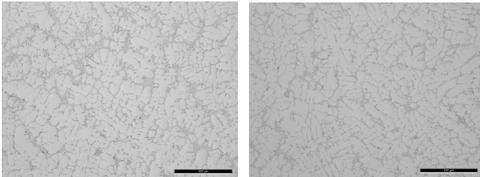
A **Figura 9** (a) apresenta um dispositivo, recentemente desenvolvido pelo autor, que combina as vantagens da tecnologia *MMM* com a agitação dinâmica do banho (rotação do radiador acústico de forma suave – de 1 a 5 rpm – em forma de hélice). A utilização deste sistema permite ultrapassar as limitações da aplicação do sistema de ultrassons estático uma vez que uma quantidade muito maior de metal líquido é forçada a passar perto do radiador acústico, entrando em regime de cavitação bem desenvolvido. A vantagem da aplicação deste novo sistema torna-se mais evidente quando o tempo de processamento aumenta, e o teor de hidrogénio dissolvido no banho diminui **Figura 9** (b).



**Figura 9** - (a) Dispositivo que combina as vantagens da tecnologia *MMM* com a agitação dinâmica do banho; (b) Efeito combinado da tecnologia *MMM* com a agitação dinâmica no aumento da liga desgaseificação (Para 15 kg de liga AlSi9Cu, tratada à frequência média de  $20,7\pm 0,2$  kHz e potência elétrica de 800 W).

Outro aspeto que merece atenção é o grau de afinção da liga. Com a aplicação do efeito combinado – tecnologia *MMM* com

agitação dinâmica do banho durante a etapa de desgaseificação –, é possível “ativar” acusticamente o líquido e facilitar a afinação da liga durante a etapa de solidificação. Os resultados experimentais demonstraram que a atividade acústica induzida ao banho durante o seu tratamento (desgaseificação) pode permanecer ativa até 15 minutos após a paragem do tratamento por vibração ultrassónica. De facto, de acordo com as microestruturas apresentadas na **Figura 10**, é visível uma afinação moderada da matriz, caracterizada pela coexistência de grãos  $\alpha$ -Al dos tipos globular e roseta.



**Figura 10** - Efeito combinado da tecnologia *MMM* com a agitação dinâmica no grau de afinação da liga  $AlSi9Cu3$  (Para 15 kg de liga, frequência média de  $20,7 \pm 0,2$  kHz, potência elétrica de 800 W, e 5 min de tratamento).

A desgaseificação por introdução de argón no banho, através de um difusor rotativo, é uma técnica bem estabelecida na indústria de fundição de ligas de alumínio, embora a sua eficiência dependa sempre de longos tempos de tratamento. Tipicamente, são necessários tempos da ordem dos 10 a 30 minutos (dependendo do volume e temperatura, características do difusor, entre outros fatores) para obter teores de hidrogénio dentro dos valores habituais admissíveis. No entanto, com o aumento do tempo de tratamento e da velocidade de rotação, há um aumento substancial na produção de escória devido à turbulência criada durante o processo. A turbulência gerada tende a quebrar a película de óxido formada, formando novo óxido de alumínio por reação química com o oxigénio da atmosfera, e assim continuamente ao longo do tempo de processamento.

A película de óxido formada à superfície do metal líquido de uma liga de alumínio atua como proteção da oxidação e absorção de hidrogénio pelo metal fundido. Assim, a película de óxido é benéfica se permanecer na superfície do banho. Quando é introduzido no interior do metal fundido, torna-se problemático, dando origem a numerosas inclusões não metálicas que deterioram as propriedades mecânicas da liga. A remoção destas e de outras inclusões é efetuada simultaneamente com o processo de desgaseificação devido à turbulência gerada durante este processo, ajudando à sua aglomeração e consequente remoção por decantação. A eficiência da remoção depende da interação das partículas envolvidas com as bolhas de gás introduzidas no banho, da velocidade de rotação do difusor, e da turbulência gerada. No entanto, embora o aumento da velocidade de rotação facilite a limpeza do banho, também promove a formação de escória.

Em comparação com o processo de desgaseificação por argón, a técnica dos ultrassons reduz significativamente o volume de escória resultante de tal operação. De facto, de acordo com os dados da Tabela 1, a redução do peso da escória resultante da desgaseificação por ultrassons nas ligas  $AlSi9Cu$  e  $AlSi7Mg$  foi de 2 e 2,6 % por 1000 kg de metal fundido, respetivamente. Esta diferença prova que a ausência de turbulência, conservação da película de óxido na superfície do banho e reduzido tempo de tratamento de desgaseificação são fatores decisivos na quantidade de escória formada.

**Tabela 1** - Comparação do peso de escória gerado durante o tratamento de desgaseificação por diferentes técnicas (Frequência média de  $20,7 \pm 0,2$  kHz, potência elétrica de 800 W, 5 min de tratamento, 15 kg de liga)

Técnica de desgaseificação	Liga	Densidade da liga		Tempo de tratamento (min)	Escória (%)
		Inicial	Final		
Árgon	$AlSi9Cu$	2,46	2,65	9	2 (per 1 Ton)
Ultrassons		2,44	<b>2,68</b>	<b>3</b>	-
Árgon	$AlSi7Mg$	2,43	2,61	9	2,6 (per 1 Ton)
Ultrassons		2,47	<b>2,64</b>	<b>3</b>	-

## CONCLUSÕES

O objetivo principal deste artigo foi demonstrar o trabalho que tem vindo a ser realizado no desenvolvimento e aplicação da vibração ultrassônica no tratamento de banhos metálicos de ligas de alumínio. Os diferentes resultados obtidos e apresentados, principalmente para o tratamento de degaseificação das ligas AlSi7Mg e AlSi9Cu, demonstram que a técnica em desenvolvimento apresenta níveis de eficiência, no tratamento de banhos metálicos, bastante superiores aos alcançados por recurso a técnicas tradicionais. A combinação dos efeitos decorrentes da tecnologia MMM (modelação de frequências) e agitação dinâmica do banho sugere apresentar as condições necessárias para o *scale-up* e respetiva aplicação, com sucesso, em ambiente industrial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Logozar, K., Radonjic, G. e Bastic, M., *Incorporation of reverse logistics model into in-plant recycling process: A case of aluminium industry*. Resources Conservation and Recycling, 49(1): pp. 49-67, 2006.
- [2] Noda, T., *Application of cast gamma TiAl for automobiles*. Intermetallics, 6(7-8): pp. 709-713, 1998.
- [3] Gebauer, K., *Performance, tolerance and cost of TiAl passenger car valves*. Intermetallics, 14(4): pp. 355-360, 2006.
- [4] Gruzleski, J.E. e Closset, B.M., *The Treatment of liquid Aluminum-Silicon Alloys*. Des Plaines, IL, USA: American Foundryman Society, 1990.
- [5] Heiberg, G., Nogita, K., Dahle, A.K. e Arnberg, L., *Columnar to equiaxed transition of eutectic in hypoeutectic aluminium-silicon alloys*. Acta Materialia, 50(10): pp. 2537-2546, 2002.
- [6] Sigworth, G.K. e Kuhn, T.A., *Grain Refinement of Aluminum Casting Alloys*. AFS Transactions, 67(02): pp. 1-12, 2007.
- [7] Eskin, G.I., *Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts*. Amsterdam, Netherlands: Gordon and Breach Science, 1998.
- [8] Campbell, J., *Castings*. Second ed., Oxford, 2003.
- [9] Eskin, G.I., *Broad prospects for commercial application of the ultrasonic (cavitation) melt treatment of light alloys*. Ultrasonics Sonochemistry, 8(3): pp. 319-325, 2001.
- [10] Abramov, O.V., *High-Intensity Ultrasonics Theory and Industrial Applications*. Amsterdam, Netherlands: Gordon and Breach Science, 1998.
- [11] Puga, H., Barbosa, J., Soares, D., Silva, F. e Ribeiro, S., *Recycling of aluminium swarf by direct incorporation in aluminium melts*. Journal of Materials Processing Technology, 209(11): pp. 5195-5203, 2009.
- [12] Puga H., Barbosa J., Carneiro H. V., Barbosa V. F. e Teixeira C. J., *Optimizing high-volume ultrasonic melt degassing using synchronized kinematic translation*. Journal of Materials Research and Technology, 14: pp. 2832-2844, 2021.
- [13] Kotadia, H. R., Qian M. e Das A., *Microstructural modification of recycled aluminium alloys by high-intensity ultrasonication: Observations from custom Al-2Si-2Mg-1.2Fe-(0.5,1.0) Mn alloys*. Journal Alloys and Compounds, p. 153833, 2020.
- [14] Eskin D. G., Tzanakis I., Wanf F., Lebon G.S.B., Subroto T., Pericleous K. e Mi J., *Fundamental studies of ultrasonic melt processing*. Ultrasonics Sonochemistry, 52: pp. 455-467, 2019.
- [15] Puga H., Barbosa J. e Carneiro H. V., *The role of acoustic pressure during solidification of AlSi7Mg alloy in sand mold casting*. Metals, 9(5): pp. 1-12, 2019.



# INDÚSTRIA 4.0: REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO PROCESSO DE FUSÃO DE AÇO

FRANCISCO OLIVEIRA<sup>1, \*</sup>, RUI FÉLIX<sup>2</sup>, LUÍS FILIPE MALHEIROS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Doutoramento no DEMM-FEUP; Engenheiro de Processo na ZOLLERN & Comandita Portugal, francisco.oliveira@zollern.com

<sup>2</sup>Diretor Técnico da ZOLLERN & Comandita Portugal, rui.felix@zollern.com

<sup>3</sup>Professor Catedrático; Diretor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da FEUP; Investigador do INEGI, lfmf@fe.up.pt

\*Autor correspondente: francisco.oliveira@zollern.com

## RESUMO

O presente artigo foca-se no caso de estudo desenvolvido na empresa ZOLLERN & Comandita Portugal. Cada vez mais, a Indústria 4.0 e a recolha de dados são determinantes para o controlo e monitorização contínua do processo, a determinação de melhores práticas e, acima de tudo, a otimização de processos complexos e desafiantes como, por exemplo, em fundição de precisão.

Por conseguinte, a ZOLLERN desenvolveu o projeto *MAGIC 4.0*. Este projeto consiste essencialmente na digitalização do processo, na instrumentação dos equipamentos utilizados em chão de fábrica e, principalmente, no desenvolvimento de novos meios para interligação e rastreio de dados provenientes do processo. Desta maneira, tem sido possível sistematizar, estabilizar, monitorizar e conhecer melhor os principais processos de produção da empresa, em particular no processo de elaboração de banhos de aço.

Atualmente, servindo-se das capacidades atuais de monitorização e recolha de dados, é possível agora recorrer a ferramentas de apoio à decisão, através da utilização de métodos estatísticos e de inteligência artificial, pela engenharia de processo e produção. Os resultados apresentados ao longo do artigo permitem, ainda, definir as principais linhas de rumo para os desenvolvimentos futuros.

Numa primeira fase, este trabalho descreve todo o processo convencional de Fundição de Precisão, de seguida, atenta especificamente na etapa de fusão atmosférica e quais as suas principais variáveis/parâmetros a ter em conta e, por fim, evidencia quais são as tecnologias que

estão a ser implementadas a fim de garantir uma monitorização e controlo contínuo do processo.

## 1. INTRODUÇÃO

A elevada competitividade do mercado obriga cada vez mais as empresas a apostar na eficiência dos seus processos, através do aumento da produtividade, da capacidade de resposta, da flexibilidade da produção e, principalmente, do aumento da qualidade dos seus produtos aliado ao menor custo possível. Desta forma, torna-se imperativo otimizar os métodos de produção, envolvendo todas as pessoas que trabalham e contribuem diariamente para atingir os objetivos da empresa, alcançando vantagens competitivas que só se conseguem atingir controlando diversos parâmetros do processo. A Indústria 4.0, através da utilização de diversas tecnologias, permite agregar um conjunto de informação proveniente da produção, possibilitando um maior conhecimento sobre os diferentes parâmetros do processo, de forma expedita e sustentada, permitindo atuar perante as adversidades do mesmo e consequentemente garantir ganhos nunca antes possíveis, mesmo dentro das indústrias mais desafiantes.

Com mais de 300 anos de história, a ZOLLERN é um dos pioneiros da indústria de fundição de precisão. Recentemente, a empresa ZOLLERN & Comandita, procurou investir na otimização dos recursos produtivos, procurando alcançar novos padrões de qualidade e eficiência.

Nesta indústria, o fabrico de peças depende de um processo intrinsecamente complexo, ao qual se acresce a dificuldade de possuir

um portfólio com cerca de 1300 referências diferentes em mais de 120 ligas distintas, sendo impreterível conhecer e dominar os parâmetros do processo a fim de garantir a obtenção de fundidos de qualidade. De entre as várias famílias de ligas produzidas na empresa, o principal foco do artigo será a produção de diversos componentes em aço.

## 2. PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE PRECISÃO

*Investment Casting (IC)* é uma das mais antigas técnicas de fundição utilizadas pelo Homem. Este termo é empregue quando um determinado modelo, comummente em cera, é imerso em barbotina cerâmica ou gesso, com o objetivo de, posteriormente, se vaziar o metal para o interior da cavidade outrora ocupada pelo modelo. Derivadas dos princípios gerais do IC surgiram diversas técnicas; no entanto, no âmbito deste artigo, o principal interesse está no processo de fundição de precisão por modelo de cera perdida em carapaça cerâmica (FMCP), visto que se trata do processo base da empresa.

### 2.1. Características do Processo

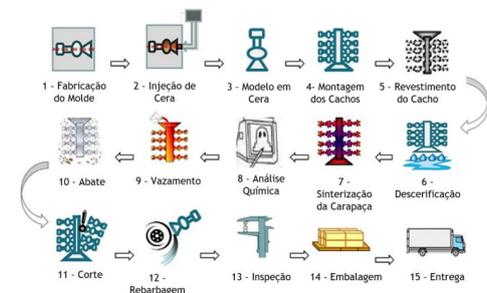
A FMCP é uma tecnologia que permite a produção de peças com elevado grau de precisão dimensional, sendo por isso comummente designada fundição de precisão. Esta tem um papel de grande importância a nível mundial devido à sua versatilidade, tanto em termos de processo como da gama de ligas utilizadas. Garante também uma grande liberdade em termos de *design* dos fundidos, oferecendo muitas vezes soluções que, de outra forma, não seriam viáveis. Obtêm-se assim peças que não necessitam de grandes acabamentos finais, em que o conceito geométrico “*near-net-shape*” está patente (permitindo redução de custos relativamente a outros processos de fundição). Adicionalmente, este processo permite a produção de peças que apresentam contra saídas devido à versatilidade que a cera confere a esta tecnologia [1-3].

No entanto, apresenta algumas limitações, nomeadamente a dimensão e peso dos fundidos a fabricar, o custo dos equipamentos, as diminutas séries de produção e a baixa produtividade devido ao tempo inerente à produção dos cachos e das carapaças cerâmicas [1, 3].

### 2.2. Etapas do Processo

A FMCP é um processo complexo que envolve várias etapas. Na **Figura 1** é possível observar as diferentes etapas deste processo. Primeiramente, é necessário adquirir ou fabricar um molde, quer seja por eletroerosão, quer por CNC (*Computer Numeric Control*), por exemplo. Este deve ser capaz de dar forma à cera aquando da sua injeção, a fim de se obterem modelos que constituem réplicas dos componentes finais pretendidos. É de notar que, no fabrico da cavidade moldante onde se vai injetar a cera, é importante ter em conta a contração tanto da cera, como do metal [2, 3] (**Figura 1** – Fabricação do Molde e Injeção da Cera [5]).

Após obter os modelos finais em cera, procede-se à montagem dos cachos, que devem ser dimensionados de forma a não ultrapassar a volumetria dos equipamentos utilizados no processo. Além disso, os modelos acoplados devem ser dispostos de modo que, durante a descerificação, o escoamento da cera se processe de forma livre e fácil por ação da gravidade. Procede-se, de seguida, à limpeza e ativação da superfície do cacho com o objetivo de promover a aderência do material cerâmico da barbotina (suspensão cerâmica) ao cacho em cera [1, 3, 4].



**Figura 1** – Esquema representativo das etapas do processo de fundição de precisão por modelo de cera perdida em carapaça cerâmica [5].

Dá-se início à imersão do cacho na barbotina e, de seguida, à pulverização de partículas de refratário (**Figura 1** – Revestimento do Cacho); esta operação é repetida em vários ciclos de forma a garantir o número de camadas pretendidas para a carapaça cerâmica. A espessura final irá ditar o comportamento em termos de resistência mecânica, resistência térmica e permeabilidade da carapaça obtida [1, 3, 4]. Posteriormente, procede-se à secagem do refratário, com vista à remoção da humidade, seguida da sua descerificação (**Figura 1** – Descerificação) que consiste em remover a cera do cacho por fusão ou volatilização dos seus constituintes.

Após este processo, surge a “queima” da carapaça cerâmica, onde é possível garantir a remoção de pequenos vestígios de cera ainda presentes no interior da carapaça, evitando o potencial aparecimento de defeitos nas peças. Posteriormente realiza-se a sinterização da carapaça (**Figura 1 – Sinterização**) que tem como objetivo garantir o aumento da sua resistência mecânica, evitando, também, o choque térmico induzido pelo vazamento do metal. Este facto garante a utilização de uma “moldação quente”, aquando do vazamento, permitindo a obtenção de peças com espessuras muito finas [1, 3, 4].

Subsequentemente, dá-se a preparação da carga, o vazamento do metal (**Figura 1 – Vazamento**) e posterior arrefecimento dos fundidos, seguindo-se o abate da carapaça cerâmica (**Figura 1 – Abate**). Por fim, procede-se à separação dos componentes do sistema de alimentação e gitagem (operações de corte) (**Figura 1 – Corte**) para depois se iniciar a fase de acabamentos (**Figura 1 – Rebarbagem**) e controlo de qualidade dos fundidos (**Figura 1 – Inspeção**) [1, 3, 4].

**A**

ID	Data de at.	Dia	VIP	Pri	FN	Ordem	JC	N°Liga	KG	P.C.
23..	2021.11.22	22/11	3		11.234	8322896	24	8885-0	390	17.003
23..	2021.11.22	22/11	3		11.234	8322896	24	8885-0	390	17.003
23..	2021.11.15	22/11	3		11.069	8318285	13	8250-0	270	10.2
23..	2021.11.22	22/11	3		11.069	8318286	13	8250-0		10.2
23..	2021.11.18	22/11	3	4	10.999	8304089	18	8250-0	310	17.16
23..	2021.11.18	22/11	3	4	10.999	8304089	18	8250-0	310	17.16
23..	2021.11.18	22/11	3	4	10.999	8304089	18	8250-0	310	17.16
23..	2021.11.22	22/11	3		10.955	8319587	11	8330-0	345	30.997
23..	2021.11.22	22/11	3		10.955	8319587	11	8330-0	345	30.997
23..	2021.11.22	22/11	3	4	5.499	8320045	12	8330-0	360	29.999
23..	2021.11.22	22/11	3	4	5.499	8320045	12	8330-0	360	29.999
23..	2021.11.22	22/11	3	5	3.211	8320985	17	8450-0	260	13.549
23..	2021.11.22	22/11	3	5	3.211	8320985	17	8450-0	235	13.549

**B**

C	S	Hb	P	S	Cr	N	Hb
1	0	0	20	19	2,5	2	
2	0,025	0,025	22,5	21	3,5	3	
3	0	0	0	0	0	0	
18,5	0,25				0,2		
21	1,25				0,2		

**Figura 2 – Sistema de Gestão da Produção. A:** Planeamento produtivo (Sistema *Top-down*); **B:** Interface Homem-Máquina (Sistema *Bottom-up*).

A digitalização de processos é um conceito global que abrange diferentes sistemas digitais industriais interligados que comunicam e coordenam a recolha e análise de dados, e decisões sobre esses dados. Estes sistemas, combinados com soluções de *Big Data*, *Business Intelligence* e *Business Analytics*, permitem gerar conhecimento e oferecer sistemas de produção mais eficientes.

As soluções de Indústria 4.0 definem-

se como o conjunto de ferramentas de *software* que ligam o espaço entre os sistemas de gestão de produção tradicionais (*Manufacturing Execution System - MES/Enterprise Resource Planning - ERP*) e os recursos produtivos aplicados no chão de fábrica. Estas soluções atuam como coordenadores dos sistemas produtivos, transformando ordens de fabrico em dados concretos (**Figura 2.A**) que acabam por ser rastreados e tratados como informação para os sistemas de produção tradicionais (**Figura 2.B**).

O processo de fusão atmosférica apresenta, entre outros, dois aspetos particularmente críticos: as condições ambientais adversas e a dependência de mão de obra com experiência no processo de vazamento. Assim, o operador tem um impacto direto na qualidade dos vazamentos e consequentemente nos potenciais defeitos finais das peças.

Ao longo dos anos, na *ZOLLERN*, têm vindo a ser desenvolvidas e implementadas metodologias, não apenas corretivas e preventivas, mas cada vez mais preditivas e prescritivas. No entanto, no início do projeto, o nível de automação e digitalização era muito reduzido. Todos os registos existentes eram realizados em papel e posteriormente digitalizados manualmente.

## 4. FUSÃO E VAZAMENTO

Devido à importância destas etapas para o trabalho, é importante abordar os principais tópicos a ter em conta para a instrumentação e recolha de dados do processo.

### 4.1 Preparação de Cargas

A nível industrial, a existência de defeitos são graves problemas a considerar, especialmente se o banho metálico estiver em contacto direto com o ar atmosférico. Estes defeitos surgem nos fundidos, essencialmente devido à oxidação do banho. Por este motivo, a escolha das matérias-primas, a seqüência pela qual são introduzidas no banho metálico e a desoxigenação do mesmo são fatores cruciais a ter em conta e que devem ser previamente analisados, numa perspetiva termodinâmica.

O processo de fusão inicia-se com a preparação da carga metálica, sendo esta constituída normalmente por retornos e

matérias-primas virgens (entre as quais se encontram elementos com elevado grau de pureza e ferro-ligas) de forma a obter a composição química pretendida. Para além das matérias-primas de base para a preparação de um banho metálico com uma dada composição, são também adicionados agentes desoxigenantes que visam a diminuição do potencial químico do oxigénio do banho a fim de minimizar a formação de óxidos e a presença de inclusões não metálicas na liga produzida. Existem muitas peças que, no final do processo, apresentam defeitos pelo que são consideradas não conformes e que, conseqüentemente, terão de ser refundidas. De notar que o carregamento destes componentes deverá processar-se de forma ponderada e gradual, tomando em consideração as possíveis reações perniciosas que possam ocorrer.

Para que a preparação da carga seja o mais adequada possível, é necessário ter em conta duas grandes variáveis: a primeira relacionada com os materiais que são adicionados ao banho metálico, que diferem entre si, quer em tamanho, como na forma, densidade, ponto de fusão, entre outras características; a segunda está diretamente relacionada com o próprio banho metálico, nomeadamente a sua composição química, temperatura e fluidez.

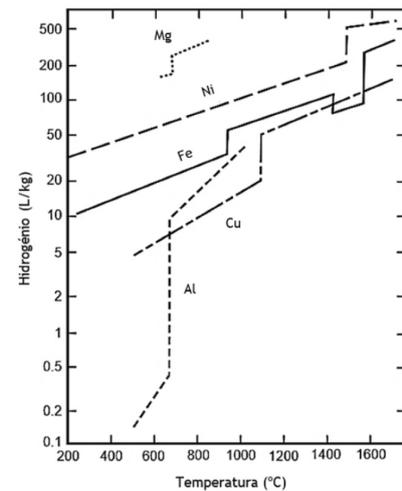
Após a adição de um dado componente de carga ao banho metálico, ocorrem dois estágios até à sua dissolução:

- No primeiro, assiste-se à formação de um invólucro de aço sólido em torno do componente adicionado devido à diferença entre as temperaturas; a sua espessura aumenta progressivamente até atingir um máximo, acabando, entretanto, por fundir e incorporar-se no banho;
- Por sua vez, na segunda etapa, esse componente começa a fundir-se, acabando por se dissolver no banho. Caso o elemento de liga adicionado não seja um elemento puro, este processo dependerá de diversos fatores, tais como o teor de impurezas e a temperatura do banho.

#### 4.2. Reações do Banho Metálico com a Atmosfera

No que diz respeito à fusão propriamente dita, o metal no estado líquido é altamente reativo, nomeadamente com os gases envolventes, a escória formada, os constituintes do próprio banho e até com o refratário, seja do forno, seja da colher de vazamento. Esta reatividade assenta

na tendência do metal em estabelecer o equilíbrio, tanto em termos térmicos como químicos, com o meio ambiente, sempre condicionado pelo tempo disponível e pela cinética das reações envolvidas [8, 9].



**Figura 3** - Solubilidade do hidrogénio vs. temperatura, em vários metais (figura adaptada a partir da original) [5].

O processo de fusão pode ser realizado tanto em contacto com a atmosfera como em vácuo [7, 16]. No processo convencional de fusão, poder-se-ão fundir várias ligas; no entanto, tal como referido anteriormente, o foco do trabalho estará na produção de diversos tipos de aço [6, 9-11].

De todas as reações, a reação do banho metálico com a humidade presente na atmosfera é a que tem maior importância. Esta reação acontece, principalmente, nos momentos de paragem do forno, onde o refratário, quando contém elementos higroscópicos na sua composição, pode absorver água até 10% do seu peso, que se evaporará posteriormente, podendo reagir com o banho metálico [12, 13].

A **Figura 3** mostra que, apesar da solubilidade do hidrogénio em alguns metais ser mais elevada que no ferro, neste regista-se um aumento significativo dessa solubilidade sobretudo após a fusão daquele elemento. Este facto pode ser bastante prejudicial, especialmente em ambientes com elevada humidade, uma vez que pode induzir um aumento da porosidade da peça final [9, 10].

A Termodinâmica permite explicar que, caso haja diferença entre os potenciais químicos em dois ou mais sistemas, por exemplo de hidrogénio, este vai deslocar-se do sistema em que esse potencial é mais elevado até se atingir o equilíbrio [9, 10, 14, 15]. No caso dos aços inoxidáveis, o teor de hidrogénio para uma determinada temperatura,

é um fator bastante determinante nas propriedades físicas e mecânicas finais do aço. Este pode permanecer em solução até à solidificação da liga, daí podendo resultar defeitos no interior dos fundidos [16].

#### 4.2.1. Formações de um Filme de Óxido à Superfície

Na superfície do banho metálico, sujeita a uma interação direta com o meio ambiente, poder-se-á assistir à formação de filmes de óxidos. A formação destes filmes é determinada, do ponto de vista termodinâmico, pela sua energia livre de formação. O diagrama de *Ellingham* (Figura 4) representa, de forma expedita e simplificada, a variação dessa energia em função da temperatura; as retas relativas aos equilíbrios de óxidos mais estáveis situam-se na parte inferior desse diagrama, onde a reatividade com o oxigénio é superior [16, 17, 14].

A eliminação dos filmes criados é bastante complexa, passando, muitas vezes, a constituir um defeito permanente no banho metálico. Deste modo, é necessário aprender a lidar com a sua existência e tentar ao máximo evitar ou retardar o seu aparecimento. Uma solução prática para a redução do impacto deste tipo de defeitos passa pela adoção de um *design* aprimorado do cacho cerâmico. Apesar de não ser uma solução direta para os filmes que se encontram no interior do banho, é importante para evitar o aprisionamento dos que se encontram à sua superfície. A adição de alumínio ou outros elementos desoxigenantes ao aço líquido também é uma solução pois reduz o potencial químico do oxigénio do banho [17].

Por fim, resta falar da formação de bi-filmes de óxidos no banho metálico. Com a agitação do banho metálico ou durante um vazamento turbulento, os filmes de óxido formados à superfície acabam por se dobrarem sobre si mesmos e até esferoidizarem-se. Estes acabam por se misturar com o banho metálico, originando um filme duplo no seu interior, como se a superfície do banho tivesse sofrido um enrugamento (Figura 5) [17].

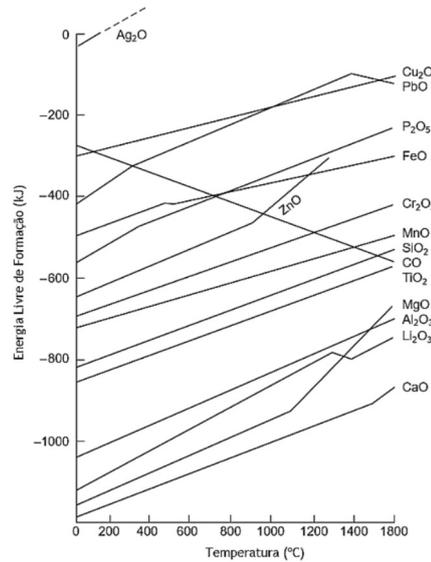


Figura 4 - Diagrama de *Ellingham*, ilustrando as energias livres de formação de óxidos em função da

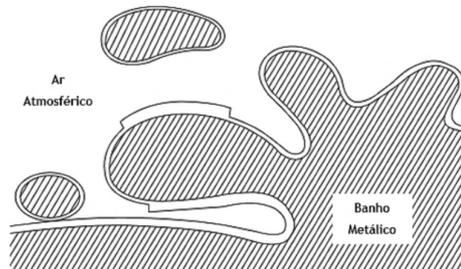


Figura 5 - Representação esquemática da formação de um bi-filme de óxido (figura adaptada a partir da original) [17].

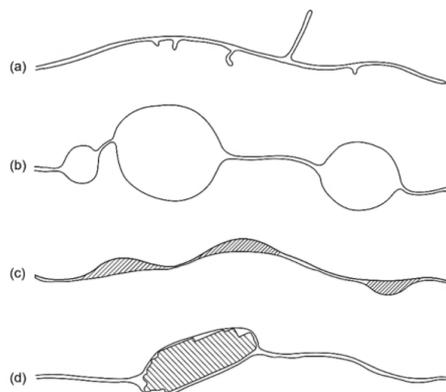


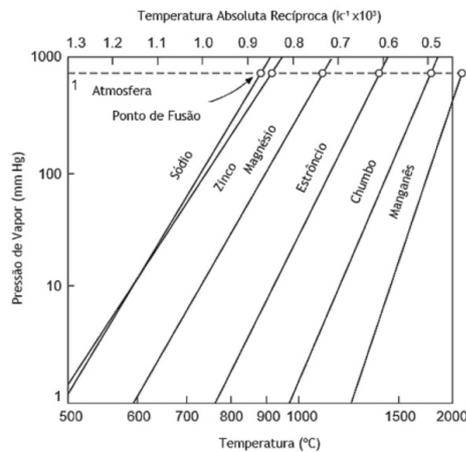
Figura 6 - Diferentes morfologias de um bi-filme (figura adaptada a partir da original) [17].

Aquando da solidificação do metal, a morfologia do filme pode variar (Figura 6). Em (a), a união do duplo filme de óxido, após a solidificação, é bastante semelhante a uma fissura. Nos exemplos (b) e (c), os bi-filmes formam uma superfície esférica: no primeiro caso, não se regista a sua união devido à presença de um gás no seu interior; no segundo caso, em vez do aprisionamento de um gás, verifica-se o encurralamento de metal. Por último, em (d), regista-se o arrastamento de resíduos

sólidos [17].

#### 4.2.2. Formação de Escórias

Num processo de fusão há que ter em consideração o balanço mássico de elementos químicos. Os resultados do processo são o banho metálico líquido, que é vazado no final, a formação de escória e a libertação de gases [18-20]. Durante a fusão, regista-se a formação de escória. Esta, devido ao seu carácter isolante do ponto de vista elétrico, não é afetada pela indução eletromagnética. Enquanto o forno permanece em carga, as correntes de indução promovem a envolvimento da escória com o banho. Se o forno for desligado e o banho se tornar estático, a escória fica a sobrenadar o banho metálico, assistindo-se à sua decantação [18-20]. A composição dessas escórias é bastante complexa. Estas resultam de reações complexas com o refratário dos revestimentos, dos óxidos de ferro da sucata de aço e ainda das resultantes de uma ou outra oxidação de elementos do banho metálico durante a sua elaboração. A escória resultante pode conter, por exemplo, óxidos de ferro (da sucata e os resultantes da reação do banho com a atmosfera), alumina, sílica (proveniente do desgaste do refratário com o banho), entre outros [18-20].



**Figura 7** - Variação da pressão de vapor, com a temperatura, de alguns dos elementos mais voláteis (figura adaptada a partir da original) [5].

A **Figura 7** representa a variação das pressões de vapor de alguns elementos, em função da temperatura.

A fusão sob uma atmosfera de um gás inerte, como o argon, reduz a taxa de vaporização dos elementos de liga e, conseqüentemente, acaba por minimizar alguns destes problemas [9, 10, 21].

#### 4.3. Vazamento

Após a fusão da carga, segue-se o vazamento do banho metálico. Este processo pode ser

manual ou automático, sendo essencial controlar diversos parâmetros, como, por exemplo: a configuração do sistema de gítagem adotado para a peça em causa, a temperatura das carapaças cerâmicas e do metal durante o vazamento, e o fluxo de enchimento de metal para as carapaças, entre outras.

#### 4.3.1. Fluidez do Banho Metálico

De todos os parâmetros descritos, a ocorrência de alguns dos defeitos de fundição poderá ser evitada caso se consiga assegurar a adequada fluidez do banho metálico. Esta é avaliada através da capacidade que um metal tem de preencher a cavidade moldante, antes da solidificação. À medida que este avança no interior da cavidade moldante, as suas propriedades vão influenciar a forma como o banho metálico se vai comportar durante o seu enchimento [21].

- Existem, portanto, dois conceitos associados ao termo fluidez, que atuam em conjunto aquando do vazamento [22]:
- Capacidade de escoamento (*flowability*), determinada pelo coeficiente de transferência de calor da interface metal-moldação, pelas propriedades da liga e da carapaça cerâmica [22];
- Capacidade de enchimento (*fillability*), dependente da tensão superficial da liga a vazar.

Existem vários fatores importantes para garantir a fluidez de um banho metálico, como por exemplo: a composição, a temperatura de vazamento e até mesmo a temperatura de pré-aquecimento da carapaça cerâmica antes do vazamento.

### 5. INDÚSTRIA 4.0 APLICADA NA FUSÃO

Tal como foi abordado precedentemente, as etapas de fusão e vazamento, devido a todas as variáveis e parâmetros a cumprir, são extremamente relevantes para a qualidade do produto final. Ao mesmo tempo, devido ao meio envolvente, são etapas bastante complexas no âmbito da monitorização do processo, principalmente devido às temperaturas de trabalho. Dentro do projeto de digitalização, têm sido estrategicamente realizados uma série de desenvolvimentos no âmbito da monitorização e controlo desta etapa do processo, focados no registo de algumas variáveis até ao momento impossíveis de

recolher, e digitalizando e automatizando os registos efetuados.

A recolha de dados, o desenvolvimento de sistemas anti-erro, e o aumento da perceção dos fenómenos do processo de fusão são enormes contributos para a mudança de práticas, redução da variabilidade do processo e das taxas de refugo. Neste segmento irão ser abordadas três das temáticas com maior importância para o controlo da variabilidade da qualidade dos fundidos: a preparação dos banhos metálicos, a recolha de dados provenientes da colher de vazamento e, por fim, a monitorização das temperaturas (quer da carapaça cerâmica, quer do banho metálico).

### 5.1. Preparação do Banho Metálico e Controlo do Processo

No que diz respeito à preparação do banho metálico e ao processamento de ligas, tal como descrito anteriormente, existem vários pontos essenciais a ter em conta, a fim de eliminar os principais defeitos oriundos do processo de fusão e vazamento, tais como: “mal-cheio”, inclusões e porosidade. Devido ao contacto do banho metálico, a temperaturas elevadas, com o vapor de água e o oxigénio da atmosfera, este tem tendência a oxidar, podendo formar inclusões e, conseqüentemente, comprometer a sanidade da peça final [8]. A sequência de carregamento do forno é um dos pontos preponderantes na qualidade final do fundido e na estabilidade do banho metálico ao longo da sua elaboração. Um apoio importante para esta parte é, sem dúvida, o diagrama de *Ellingham*. Consoante os elementos adicionados ao banho, bem como a energia livre de *Gibbs* associada à formação dos seus óxidos, é possível hierarquizar a adição de elementos em função da sua reatividade. De uma forma complementar, é de capital importância garantir uma boa desoxigenação do banho em momentos críticos, a fim de garantir que o banho tem sempre um elemento capaz de se “sacrificar”, previamente aos elementos que são mais importantes manter até à solidificação do aço. De notar que o processo de desoxigenação leva a formação de escória e, por vezes, a sua utilização desmedida induz problemas em termos da sanidade dos fundidos.

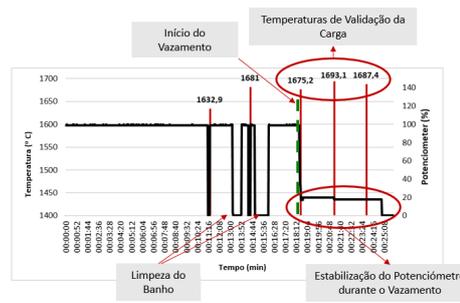


Figura 8 - Dados obtidos ao longo do processo de fusão e vazamento de uma dada liga.

Para quantificar alguns destes parâmetros processuais, é improrrogável a necessidade de obter dados do processo, através da sensorização e instrumentação de diversos equipamentos, associados aos princípios básicos inerentes à Indústria 4.0 (Figura 8). Assim, com a instrumentação dos sinais (frequência, potência, entre outros) provenientes do forno de indução é possível definir perfis de fusão, de forma que seja possível quantificar, estabilizar e *standardizar* um processo complexo como este, aumentando a capacidade de reação a eventuais problemas que ocorram ainda durante a produção de um dado componente. Desta maneira, é possível, ter uma perceção da sequência adotada pelo forneiro, o tempo de fusão, a variação da potência do forno ao longo do tempo, bem como os principais momentos de desoxigenação e limpeza.

Outro ponto determinante, não só para a preparação de cargas, como também para o controlo do processo incide no controlo da composição química dos banhos metálicos. A composição química dos banhos de metal elaborados em fornos de indução de cadinho é afetada por diversos fatores, entre eles, a retenção de elementos de liga pelo refratário do forno, que se reveste de particular relevância nas fases de transição de liga. É constatada, essencialmente pelo desvio significativo, face ao balanço mássico estabelecido, da composição química alvo.

Desta forma, idealizaram-se alguns objetivos para o decorrer do projeto de controlo da composição química:

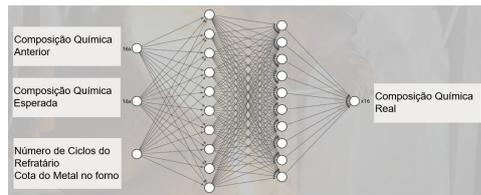
- Identificação de fontes de variabilidade da composição química;
- Quantificação da retenção dos elementos de liga no revestimento refratário dos fornos de fusão;
- Quantificação de taxas de desvanecimento dos elementos

mais suscetíveis a esse efeito;

- Desenvolvimento de um modelo capaz de simular a numerosas transições de ligas que se registam diariamente.

De acordo com o tipo de transição realizada, atendeu-se inicialmente a uma análise, elemento a elemento, das relações entre os seus teores nas ligas em transição de acordo com os estimados pelo balanço mássico. Considerando a inexistência de uma correlação significativa, foi realizada uma análise via *Machine Learning* (ML), sob a forma de redes neurais profundas (Figura 11), com recurso à plataforma *open-source* de ML desenvolvida pela *Google*, *Tensorflow*, em *Python*.

Dos resultados iniciais surgiram algumas propostas de melhoria, tais como o agrupamento (*clustering*) de ligas de acordo com as suas composições químicas e algumas sugestões no procedimento de recolha de dados em ambiente industrial.



**Figura 9** – Esquema do modelo de redes neurais multicamada utilizado. Cada composição química corresponde a um vetor constituído por 16 variáveis (uma por cada elemento da análise espectrométrica).

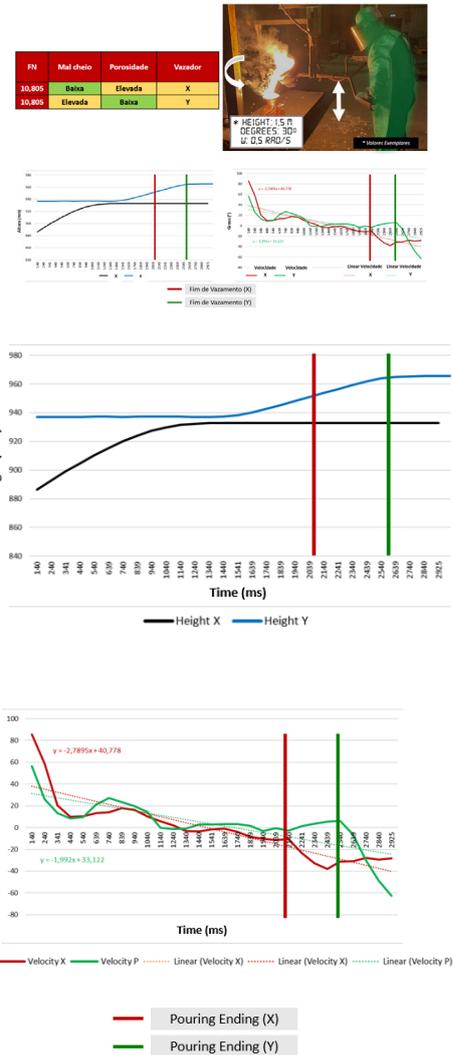
Após a execução de uma análise do componente principal e aplicação de *k-means*, constatou-se ainda inviável a aplicação do modelo na produção corrente. Tal facto pode ser explicado pelo tamanho reduzido da base de dados, até ao momento.

De acordo com o perfil estocástico do processo de fusão, é interessante recolher o maior número de dados possível, principalmente para aplicação de *Machine Learning*. Espera-se que, no seguimento do aumento da digitalização industrial, em que se realça a recolha de dados em massa, o erro deste tipo de estratégias diminua.

## 5.2. Vazamento

O principal objetivo do processo de vazamento é garantir o bom enchimento da carapaça cerâmica pelo metal. Existem inúmeros fatores a ter em conta, como por exemplo: a fluidez do metal (garantida pelo controlo da composição química,

as temperaturas do metal e da carapaça cerâmica, e o fluxo de metal induzido pelo vazador durante o vazamento, a altura, velocidade angular, entre outros.



**Figura 10** - Correlação entre o perfil de vazamento e os defeitos oriundos da operação.

De forma a combater toda esta variabilidade do processo, e na tentativa de sistematizar, estabilizar e correlacionar o impacto de determinadas variáveis na qualidade das peças e produtividade da empresa, é de particular relevância o desenvolvimento de sistemas de informação e monitorização específicos para a realidade deste sector.

Desta forma, desenvolveu-se um sistema de recolha de dados com foco na operação de vazamento, instrumentando os movimentos da colher, como forma de adquirir os diferentes perfis de vazamentos realizados, de operador para operador, e correlacioná-los com as variáveis de saída, neste caso, a quantidade de defeitos oriundos desta operação (**Figura 10**).

A interligação dos dados entre os diferentes sistemas em chão de fábrica

com os sistemas de gestão (*MES/ERP*) foi conseguida com o recurso a protocolos de comunicação industriais, garantindo uma uniformização das diferentes variáveis, que são armazenadas num único local. Esta interligação permite a comunicação entre si de diferentes sistemas, com segurança e agilidade, e, conseqüentemente tornar a globalidade de sistemas mais eficazes. Com toda a informação integrada é possível o acesso aos dados por parte de todos os membros da equipa, criar relatórios em tempo real, e detetar eventuais desvios que atrasem os processos de trabalho, mantendo um fluxo mais eficaz da produção. Em suma, a automação de processos permite garantir uma maior qualidade e fiabilidade dos dados, reduzindo substancialmente as taxas de erro.

### 5.3. Câmara termográfica (Monitorização das temperaturas e tempo do vazamento)

Cada vez mais, urge a necessidade de aumentar a capacidade de monitorização de diferentes parâmetros do processo, particularmente nas fases mais complexas, sendo esta apenas possível com recurso a medições indiretas. Desta maneira, torna-se possível obter um processo mais controlado, de forma a melhorar os resultados e conseqüentemente tornar o modelo de negócio mais competitivo.

Durante o vazamento, as condições ambientais aliadas às elevadas temperaturas das ligas vazadas, dificultam o seu processo de monitorização, não existindo um controlo real das temperaturas a que o metal e a carapaça cerâmica se encontram na realidade, no preciso momento do vazamento.

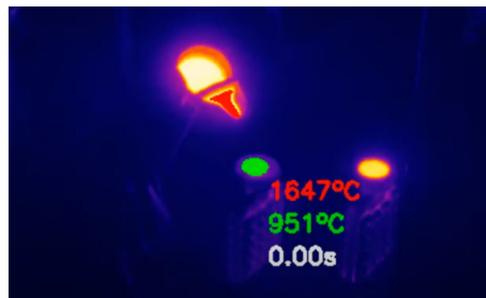
Seguindo o objetivo de proporcionar um maior controlo das operações manuais, e sem interferir com o trabalho operacional, foi desenvolvido um sistema automático de monitorização, em tempo real, do processo de vazamento, através de uma câmara termográfica.

O recurso à termografia possibilita a obtenção e o tratamento de dados concretos e fundamentais sobre as temperaturas da carapaça cerâmica e do metal, contribuindo para a melhoria do processo. Neste ambiente, existem valores de temperaturas, para a carapaça cerâmica e para o metal, medidos em instantes anteriores ao vazamento, mas nunca durante o processo em si. O tempo de deslocamento, velocidade de

movimentação, e o tempo de vazamento, são tudo variáveis que influenciam o processo e a sua temperatura, e cuja monitorização não é realizada. A garantia da conformidade de temperaturas, entre os valores teóricos e reais, permite uma aprendizagem e melhoria/correção de parâmetros e metodologias adotadas, de uma forma que não era possível até ao momento. O recurso à termografia permite ainda extrapolar outros dados de processo, tais como os tempos totais de vazamento, e potencial ocorrência de rebentamentos da carapaça cerâmica.

O desenvolvimento realizado consistiu na aplicação de uma câmara termográfica no setor da fusão, em posição que permitisse observar a totalidade do carro de vazamento onde serão colocados os cachos a vaziar. Inicialmente, o trabalho focou-se em dois aspetos críticos:

- O primeiro relativo à deteção do vazamento, isto é, detetar automaticamente na imagem, a zona onde é feito o vazamento para permitir projetar a área de medição da temperatura da bacia de vazamento, e da zona da colher;
- O segundo, relativo ao tempo efetivo de vazamento, ao detetar os momentos de início e fim de existência de fluxo de metal.
- Na **Figura 11** é apresentado um *snapshot* do atual funcionamento da câmara termográfica durante um vazamento.



**Figura 11** – *Snapshot* da câmara termográfica em funcionamento. A vermelho: deteção da temperatura do metal; a verde: temperatura da carapaça; e a branco: a duração do vazamento (no momento em questão, ainda não se tinha inicializado) [23].

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A instrumentação e implementação dos métodos descritos ao longo do artigo têm sido fundamentais para o aumento da competitividade da empresa. De facto, é possível perceber que o impacto da digitalização, a monitorização e o controlo

contínuo do processo vai muito para além dos dados gerados; a revolução industrial tem um enorme impacto na envolvimento das pessoas, no conhecimento do processo, na melhoria dos indicadores e acima de tudo no aumento da qualidade dos produtos, principalmente numa empresa como a ZOLLERN, que produz e trabalha diariamente com um variado leque de ligas e referências diferentes.

No entanto, existem alguns desafios que necessitam de ser ultrapassados. Assim, como trabalhos futuros sugerem-se alguns temas:

- Recolha e tratamento de novos dados (para criação de sistemas mais robustos);
- Aplicação de novas tecnologias;
- Criação de novos sistemas anti-erro;
- Aplicação de redes neurais e sistemas preditivos noutras fases do processo;
- Abraçar outras etapas do processo;
- Uniformização dos dados gerados (entre etapas), garantindo que todos os setores se encontram em perfeita sintonia.

## 7. AGRADECIMENTOS

*Este artigo foi desenvolvido no âmbito do projeto com a referência POCI-01-0145-FEDER-032460 – GRIS: Refinamento de Grão Induzido por Agitação Eletromagnética: Desenvolvimento de uma Abordagem Preditiva para Implantes Médicos em Co-Cr, cofinanciado pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e por Fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e no âmbito dos projetos com a referência POCI-01-0247-FEDER038128 MAGIC4.0 Afinação de grão por correntes eletromagnéticas rotativas e tecnologias da indústria 4.0 para a fundição por cera perdida e POCI-01-0247-FEDER-045391 HIPERCAST: Desenvolvimento do processo de cera perdida para a fundição de peças de elevado desempenho cofinanciados pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).*

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] J. Silva, *A carapaça cerâmica e seu impacto em Investment Casting*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2017.
- [2] D. Pattnaik and P. Jha, *Developments in investment casting process - a review*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 212, pp. 2332-2348, 2012.
- [3] J. Silva, *Fundição de precisão pelo processo de cera perdida*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 1997.
- [4] R. Beeley and R. F. Smart, *Investment Casting*, Institute of Materials, 1995.
- [5] M. Sahoo, S. Sahu, L. V. Whiting and K. Sadayappan, *Coreless Induction Furnaces*, in Casting Copper-Base Alloys (3rd edition): American Foundry Society, 2015.
- [6] M. Costa, *Fornos de indução*, Tese de Doutoramento, FEUP, 1960.
- [7] J. R. Davis, *Vacuum Melting*, in Metals Handbook, Desk edition (2nd edition): ASM International, 1998.
- [8] Francisco Oliveira, Bernardo Valente e Luís Filipe Malheiros, *Impacto da preparação de cargas na qualidade dos fundidos*, Fundição, vol. 290, pp. 36-45, 2019.
- [9] J. Campbell, *Chapter 1 - The Melt*, in Complete Casting Handbook (2nd edition), J. Campbell, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2015, pp. 3-15.
- [10] ASM handbook (vol. 1). ASM International, 1992.
- [11] A. C. Reardon, *Molten Metal Processing*, in Metallurgy for the Non-Metallurgist (2nd edition): ASM International, 2011.
- [12] P. Beeley and R. Smart, *Melting and Casting*, in Investment Casting: Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining, 1995.
- [13] W. Rankin, *Theoretical Considerations*, in Minerals, Metals and Sustainability - Meeting Future Material Needs: CSIRO Publishing, 2011.
- [14] P. Beeley, *Foundry technology*. Elsevier, 2001.
- [15] J. Campbell, *Copper Alloys*, in Castings: Elsevier, 2001.
- [16] R. Oriani and M. Smialowski, *Hydrogen effects in stainless steel*, in Hydrogen Degradation of Ferrous Alloys: William Andrew Publishing/Noyes, 1985.
- [17] J. Campbell, *Chapter 2 - Entrainment*, in Complete Casting Handbook (2nd edition), J. Campbell, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2015, pp. 17-90.
- [18] E. Turkdogan, *Structural aspects*, in Fundamentals of Steelmaking: Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining, 1996.
- [19] E. Turkdogan, *Oxidation of iron*, in Fundamentals of Steelmaking: Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining, 1996.
- [20] A. Muan and E. Osborn, *Phase equilibria among oxides in steelmaking*. Addison-Wesley Pub. Co., 1965.
- [21] J. Campbell, *Chapter 3 - Flow*, in Complete Casting Handbook (2nd edition), J. Campbell, Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2015, pp. 91-134.
- [22] M. Raza, *Process development for investment casting of thin-walled components: manufacturing of light weight components*, Licentiate thesis, Mälardalen University, Västerås, 2015.
- [23] – INEGI, "Indústria 4.0: digitalização de processo de fabrico da Zollern & Comandita está a ser implementada". 2021. Acedido a 1 de junho de 2021. <http://www.inegi.pt/pt/noticias/industria-4-0-digitalizacao-de-processo-de-fabrico-da-zollern-comandita-esta-a-ser-implementada-pelo-inegi/>

# UMA PERSPETIVA PARA A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS EM SISTEMAS FERROVIÁRIOS

**LUÍS ANDRADE FERREIRA<sup>a,b</sup>**

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

<sup>b</sup> Diretor Executivo do CCF – Centro de Competências Ferroviário

## I. INTRODUÇÃO

O setor ferroviário desempenha um papel vital no cenário logístico e económico de Portugal, começando a apresentar sinais de recuperação após um período de declínio, principalmente devido à redescoberta do potencial das ferrovias para movimentar cargas ou passageiros de forma eficiente, com baixo consumo de energia e baixas emissões. A procura para a utilização do transporte ferroviário é crescente, sendo uma alternativa competitiva na mobilidade de pessoas e mercadorias. Além disso, do ponto de vista ambiental, o setor ferroviário é o sistema de transporte mais sustentável da economia e, portanto, um serviço essencial para as sociedades globais. Porém, a sustentabilidade desse desenvolvimento económico exige o aumento da competitividade e atratividade do setor ferroviário, reduzindo custos de operação e comunicações.

Por outro lado, o setor ferroviário tem uma grande contribuição para a economia global com a geração de empregos, em particular na UE. Os principais fabricantes da UE de material rodante na indústria de transporte ferroviário representam hoje cerca de 35% das cinco maiores empresas mundiais, apesar da pressão significativa de empresas de economias em expansão [EU REFRESCO project, 2016].

O setor deve ter como objetivo desenvolver suas principais áreas de força: sustentabilidade, eficiência, segurança e proteção, o que exige um maior investimento em I&D&I por parte das empresas, centros de investigação, universidades e outras organizações, como plataformas e associações.

A necessidade constante de superar as barreiras tecnológicas de novas aplicações e da crescente consciência ambiental, apresenta novos desafios para o setor de transportes. Estão a ser procuradas novas soluções construtivas e materiais com vista a diminuir peso, custos, melhorar os processos de reciclagem e consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub>. A utilização de novos materiais tem sido uma constante em todos os setores, inclusive o ferroviário, desde o início de seu desenvolvimento em meados do século XIX. A necessidade de empregar novos materiais é cada vez mais importante para responder às crescentes exigências de sustentabilidade e eficiência.

Isso exige que o material circulante seja mais leve e circule numa infraestrutura capaz de suportar maiores velocidades, cargas e frequência de passagem; reutilização e reciclagem de materiais; e atender às exigências de conforto dos passageiros e daqueles que residem nas proximidades da infraestrutura ferroviária. Tudo isto sem reduzir a segurança do sistema.

O Centro de Competências Ferroviário (CCF) visa criar ferramentas que apoiem o desenvolvimento científico e tecnológico necessário para reforçar a competitividade, internacionalização e sustentabilidade do setor ferroviário nacional. Nesta estrutura, e de acordo com as diretrizes do Ministério das Infraestruturas e da Habitação, entende-se que a relevância, o desenvolvimento e a aplicação de materiais avançados, nanomateriais, etc., no campo da investigação e inovação do setor ferroviário, são fatores fundamentais para o fortalecimento da competitividade da indústria ferroviária.

## II. MATERIAL CIRCULANTE

A necessidade de termos Material Circulante com maior velocidade e menor peso está na origem de uma maior competitividade comercial entre as empresas do setor, além de reduzir as emissões de contaminantes vinculadas ao transporte ferroviário. Estes fatores, juntamente com as melhorias na qualidade, são especialmente relevantes no contexto da liberalização do transporte de passageiros. Ao mesmo tempo, os padrões de conforto exigidos pelos passageiros continuam a aumentar.

Maior conforto e espaço para passageiros, menor peso e custo são critérios um tanto contraditórios que exigem o desenvolvimento de novos materiais para aplicações estruturais, melhoria dos aspetos aerodinâmicos e dos interiores dos veículos.

Por outro lado, a introdução de novos materiais no material circulante deve ter em consideração as características próprias dos caminhos de ferro, como a compatibilidade com o ambiente, a manutenção, a manutenibilidade e o ciclo de vida do próprio material circulante. Da mesma forma, soluções que tenham sido experimentadas com sucesso noutros setores devem ser reavaliadas para verificar sua adequação para uso no material ferroviário [Ulianov et al., 2017].



**Figura 1** – Carroceria típica de comboio de alta velocidade feita em liga de alumínio.

O sucesso da introdução do alumínio foi possível graças às inovações no processo de fabricação, como o desenvolvimento de extrudidos de grandes dimensões, perfis vazados, a incorporação de novas ligas adotadas para o setor aeronáutico e os avanços nos processos de soldadura, nos quais ainda há espaço para inovação, como por exemplo a soldadura FSW (*Friction Stir Welding*) [Sun et al., 2021].

Atualmente, existem linhas de investigação abertas que procuram ampliar a utilização de ligas de alumínio, não só em aplicações estruturais, mas também

em componentes mais compactos. Isso é alcançado por meio de tecnologias baseadas no estado semissólido que visam obter componentes de alumínio com uma alta capacidade de integração estrutural, abrindo a possibilidade de substituição de componentes atualmente forjados em ligas de ferro.

Os compósitos de matriz metálica (MMC) são considerados um dos maiores desenvolvimentos na Ciência dos Materiais nos últimos anos, especialmente a sua aplicação aos veículos automóveis e à aeronáutica. O seu potencial assenta na melhor adaptabilidade das suas propriedades mecânicas, nomeadamente em termos de rigidez, resistência mecânica e resistência à abrasão, bem como na capacidade de cumprir a rígida regulamentação de fogo e fumo (EN-144555) em vigor no sector. Esses tipos de materiais são fabricados por injeção ou *mechanical alloying*, processos pelos quais partículas cerâmicas, principalmente SiC e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de tamanho micrométrico ou nanométrico, são adicionadas como reforço [Chawla et al., 2006].

Juntamente com os compósitos de matriz metálica, as espumas metálicas apresentam propriedades interessantes, principalmente devido à sua leveza e capacidade de absorver energia de impacto e amortecimento de vibrações. Por este motivo e pelo seu comportamento perante o fogo e o fumo, são bons candidatos para aplicações em painéis estruturais e interiores, pisos e paredes de cabines e carruagens [Yao et al., 2015; Garcia-Moreno, 2016].

Os materiais compósitos de matriz polimérica requerem atenção especial devido aos desafios e implicações associadas ao processo de *design* e fabricação. Esses tipos de materiais são geralmente utilizados em aplicações de interiores e estruturas secundárias [Ibrahima et al., 2019].

Algumas das opções mais comuns de matéria-prima são as matrizes à base de formulações epóxi ou fenólicas, e a sua principal limitação são os requisitos contra o fogo e fumo, o que impõe a necessidade de recorrer a resinas resistentes ao fogo, modificadas com aditivos. No que diz respeito às fibras de reforço, podem ser considerados a aramida, o vidro e o carbono, sendo este último o que apresenta melhores propriedades.

No processo de conceção e fabrico dos componentes estruturais de novos materiais deve ter-se em consideração que, para além dos desafios inerentes ao desenvolvimento destes materiais, ainda não existe regulamentação aplicável.

Além disso, uma das chaves da I&D&I é o conceito de multi material, com *designs* que incluem o uso de materiais mais tradicionais, como ligas de ferro ou alumínio, juntamente com novas contribuições promovidas pelos compósitos de matriz metálica (MMC), espumas metálicas ou compósitos de matriz polimérica. Ao mesmo tempo, esses conceitos introduzem a necessidade de encontrar uma solução para a colagem de materiais diferentes, mantendo as propriedades necessárias em termos de cargas estáticas e dinâmicas, fadiga ou envelhecimento e durabilidade.

A tecnologia de superfícies e o desenvolvimento, análise e aperfeiçoamento de revestimentos também têm um impacto relevante na aerodinâmica que é cada vez mais crítica com o aumento da velocidade, pois é possível controlar a separação da camada limite para reduzir a resistência aerodinâmica.

Por fim, e independentemente dos materiais utilizados na estrutura do veículo, os requisitos de peso, custo e principalmente conforto a bordo, implicam o recurso a novas soluções e materiais para interiores com melhores propriedades de isolamento e absorção acústica e térmica. O banco é um dos fatores mais relevantes na perceção do conforto. Tradicionalmente, são fabricados com estruturas metálicas e espumas de poliuretano. Este componente está a ser beneficiado com a aplicação de novos materiais, como espumas à base de silicone ou resina melamínica, que aumentam a resistência mecânica, reduzem o peso e melhoram o conforto.

### III. PLATAFORMA E VIA

A grande evolução da Alta Velocidade e o aumento das cargas transportadas por veículos, entre outros fatores, estão a impulsionar a constante evolução das infraestruturas ferroviárias. Isso também precisa se adaptar às exigências crescentes em termos de custo, manutenção e durabilidade, ruído e vibrações. O uso de novos materiais para responder a esses requisitos é uma das orientações dos programas europeus de I&D&I, incluindo a iniciativa *Shift2Rail*.

A chave para responder a esses requisitos é a incorporação de elementos com propriedades elásticas e duráveis adequadas. Carris, travessas, placas de apoio de carris, placas de base, tapete de balastro, novas composições de balastro, sub-balastro betuminoso, são alguns dos principais elementos que permitem responder a esses requisitos [Lu *et al.*, 2019].

As misturas betuminosas não só melhoram o comportamento vibratório da via, mas também são capazes de aumentar a sua capacidade de carga, estabilidade, resistência à deformação, capacidade de proteção do resto da infraestrutura ou durabilidade, tendo como referência o sistema tradicional. Além disso, implica uma redução no tempo de entrega e pode até significar uma redução nos custos de construção. Porém, mais uma vez, as necessidades crescentes de velocidade, carga e frequência tornam necessária uma revisão das soluções até agora adotadas [Di Mino *et al.*, 2012].

Por exemplo, a modificação do betume por meio da adição de elastómeros melhora o seu comportamento e vida útil. Esta solução, amplamente difundida, enfrenta desafios ambientais que impulsionam a busca por soluções baseadas em materiais reaproveitados [Zhu *et al.*, 2014]. Pó de borracha de pneus fora de serviço ou fibra reciclada são algumas das soluções ecológicas que estão a ser propostas.

Os materiais betuminosos podem ser vantajosos para camadas de sub-balastro. As camadas de cascalho e areia de alta densidade estão a abrir caminho para soluções betuminosas fabricadas com asfalto misturado a quente.

Além disso, as questões ambientais impulsionam a procura por novas soluções, com base em misturas asfálticas de baixa temperatura ou na valorização de materiais reaproveitados ou reciclados.

A utilização desses materiais reciclados e a busca por soluções de *ecodesign*, capazes de melhorar o desempenho ambiental de materiais e produtos por meio da incorporação de materiais plásticos reciclados ao invés de matérias-primas, está a generalizar-se.

As vias implantadas em lajes de betão são cada vez mais comuns, principalmente em alta velocidade e no ambiente urbano (*trams*), o que reduz os custos de manutenção e melhora a fiabilidade.

Atualmente, existem soluções técnicas que permitem superar problemas associados à rigidez excessiva e, portanto, a ruídos e vibrações. Para esse efeito, utilizam-se misturas betuminosas modificadas com pó de borracha derivada de pneus fora de serviço, que promovem a absorção de choque adicional para reduzir a transmissão [Zhu *et al.*, 2014].

O material dos carris também tem sofrido evoluções. O desenvolvimento de novos aços perlíticos, bainíticos e austeníticos e a aplicação de tratamentos superficiais que aumentam a dureza e a resistência das superfícies de rolamento, contribuem para o aumento da vida útil dos carris.

Os carris feitos de aço perlítico oferecem, em geral, as melhores propriedades. No entanto, solicitações mais severas de serviço levam a deformações e desgaste prematuros. Assim, têm sido desenvolvidos aços para carris com melhores propriedades físicas (resistência à fratura, com o crescimento lento de fendas e resistência ao desgaste). Estes novos aços baseiam-se em tratamentos térmicos, em todo o carril, de forma que a estrutura perlítica obtida apresenta uma microestrutura mais fina, ou no uso de aços microligados com pequenas quantidades de nióbio, vanádio e crómio. O objetivo desses desenvolvimentos microestruturais é obter um material de extrema tenacidade, mas ao mesmo tempo mantendo a resistência à fadiga de contato [Woodhead, 2021].

Outros desenvolvimentos, além das propriedades mecânicas e durabilidade, focam na otimização dos processos de soldadura ou no controle de todo o processo de fabricação, através do uso de tecnologias de inspeção visual a laser (reconstrução 3D) para a deteção de defeitos superficiais de produtos a altas temperaturas.

A redução do ruído e das vibrações, bem como das propriedades elásticas dos componentes da estrutura e da subestrutura, requerem o desenvolvimento de novas soluções sob a forma de materiais mais leves e menos dispendiosos que podem ser utilizados, por exemplo, em novas aplicações de barreira acústica que também estão em harmonia com o meio ambiente e a paisagem.

A minimização de ruído também pode ser abordada por meio do desenvolvimento de novos materiais aplicados às vias. Por exemplo, a utilização de elementos

com base em cortiça permite diminuir as vibrações devido à rigidez do assentamento da via [Amorim, 2021]. Por fim, o desenvolvimento de novos materiais “inteligentes” cuja rigidez e propriedades de amortecimento variam de acordo com as necessidades em qualquer momento do serviço, ou que integrem novas funções, como travessas ou placas de apoio que são capazes de gerar energia a partir das vibrações formadas quando o veículo passa por cima delas (captação de energia), são linhas de desenvolvimento com grande potencial.

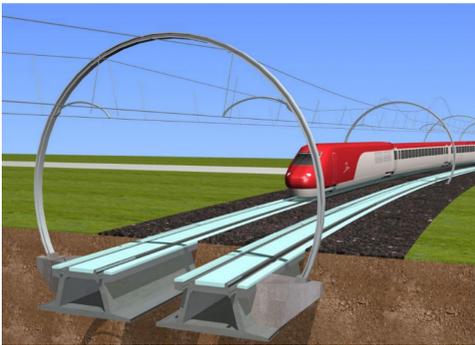
#### **IV. INFRAESTRUTURAS (PARA ALÉM DA PLATAFORMA E DA VIA)**

A catenária, juntamente com outras infraestruturas, elementos de via e de segurança, são campos nos quais a inovação e os novos materiais desempenham um papel fundamental. A necessidade de aumentar a vida útil em condições extremas de temperatura e humidade, o desgaste provocado pelas partículas suspensas pelo vento e as ações derivadas do vento, juntamente com a redução dos custos associados às infraestruturas e manutenção, são fatores que justificam a aplicação de novos materiais nestes equipamentos do sistema ferroviário.

Muitas vezes, as infraestruturas precisam de ser construídas em locais de difícil acesso. Além disso, a complexidade desse tipo de operação pode aumentar consideravelmente devido à indisponibilidade de equipamentos na área necessários para facilitar a sua instalação. Em resumo, a linha aérea, postes, cantiléveres e braços de chamada são, às vezes, peças que são complexas para transportar até ao local de instalação devido ao seu peso e dimensões. É possível recorrer a materiais alternativos que, além de proporcionarem os benefícios necessários, são mais leves e facilitam o transporte e a montagem.

Perfis de materiais compósitos de matriz polimérica oferecem excelentes características em termos de leveza e resistência em condições ambientais extremas de calor e frio, humidade ou radiação solar. A fabricação desses perfis por meio de técnicas de pultrusão é uma solução altamente competitiva, sendo os processos de fabricação e automação de linhas objeto de diversos projetos de I&D. Também há desenvolvimentos em braços de chamada em materiais compostos

de matriz polimérica e esses materiais também estão a contribuir para melhorias no ciclo de vida dos isoladores. Outros componentes, como postes, também podem ser melhorados com o uso desses materiais [Smulders et al., 2011].



**Figura 2.** – Visão de uma catenária em FRP (*Fibre Reinforced Plastics*) [Smulders et al., 2011].

Os fenómenos relacionados com o contato entre a catenária e o pantógrafo sempre foram foco de investigação e desenvolvimento, devido aos problemas de desgaste mecânico e às exigências de propriedades elétricas. Novos materiais podem contribuir para aumentar a vida útil em condições meteorológicas adversas. Desta forma, os estudos tribológicos de materiais têm incidido sobre a melhoria do desempenho, minimizando as perdas de energia e o desgaste. Tradicionalmente, esses estudos têm-se limitado ao cobre eletrolítico (ETP), com ligas de Cr, Zr, Ag e Mg, ou grafite).

Um menor desgaste diminui os custos de manutenção, e uma temperatura de recozimento mais alta aumenta a capacidade do fio de contato de suportar picos de intensidade. O contato entre a catenária e o pantógrafo pode ser melhorado através da utilização de materiais amortecedores nas estruturas de suporte, de forma a minimizar as tensões e o desgaste [Wu, 2018].

No que se refere aos efeitos da ação do vento, existem áreas de I&D&I relacionadas com o desenvolvimento de materiais e revestimentos capazes de suportar a abrasão causada por partículas em suspensão, bem como braços de chamada e tubos cantiléver de maior rigidez e resistência.

Por fim, destaca-se o uso da fibra ótica como ferramenta de monitorização das instalações, não só na plataforma e na via, mas também na catenária.

## V. CONCLUSÕES

O transporte ferroviário está a assumir cada vez mais importância devido às vantagens desse modo de transporte em relação aos concorrentes. Consolidar essa vantagem competitiva num contexto que exige maior flexibilidade, menores custos de construção, manutenção e operação, maiores cargas por eixo e uma maior intensidade de utilização, exige um esforço contínuo de I&D&I. A transferência contínua de conhecimento entre os setores aeronáutico, naval e automóvel e os setores de engenharia civil ou indústria seria esperada, como tem acontecido historicamente. No entanto, enquanto nos outros setores as inovações em materiais proporcionam melhorias constantes, a maioria dos sistemas ferroviários continuou a ser baseada em materiais tradicionais.

A introdução de materiais compósitos e de outros novos materiais no setor ferroviário deve basear-se no conhecimento e na experiência adquirida noutros setores, tendo em conta as estruturas de custos e as exigências específicas das aplicações ferroviárias. Além disso, a crescente consciência social em relação ao respeito pelo ambiente exige que novos materiais sejam desenvolvidos em consonância com os conceitos de sustentabilidade, reaproveitamento e reciclagem. Na verdade, existe um grande número de materiais, naturais ou artificiais, que podem ser utilizados e reutilizados na construção de infraestruturas ferroviárias. No entanto, normalmente as soluções utilizadas na construção de estradas não podem ser aplicadas aos caminhos de ferro, ou pelo menos não em todos os países, uma vez que não são consideradas nos regulamentos e não estão harmonizadas, nem mesmo a nível europeu.

Os aspetos regulamentares também são fundamentais no que diz respeito ao uso de novos materiais na área de material circulante. Um exemplo claro são as restrições introduzidas pelas regras sobre o comportamento ao fogo e fumo (EN-45545) que influenciam a introdução de novos materiais. A regulamentação existente tem-se centrado em orientar o desenvolvimento de veículos baseados em materiais tradicionais, o que significa que existem novos materiais que não são considerados ou aplicáveis.

No que diz respeito à via propriamente dita, o desafio dos fabricantes é o aumento da vida útil sob cargas de serviço, produtos

com maior resistência à fratura, crescimento mais lento de fendas por fadiga e maior resistência ao desgaste. Outros aspectos são o desenvolvimento de tecnologias de soldadura mais eficientes, que visam reduzir os níveis de tensões residuais e as microestruturas indesejadas, o uso do laser para modificar essas estruturas a um nível superficial (laser de endurecimento) ou a deposição do laser.

Existe a necessidade de testar devidamente as novas soluções desenvolvidas através da investigação, tendo condições no terreno para o fazer, com vias e material circulante dedicado.

O CCF assume o desafio de ser a entidade agregadora e de referência na afirmação do setor ferroviário, nacional e internacionalmente, dando realce a um setor com competências e capacidade para a criação de produtos e serviços de elevado valor acrescentado, com grandes potencialidades exportadoras, proporcionado as condições necessárias para que tal se torne possível.

## REFERÊNCIAS

Amorim, Railway Systems, <https://amorimcorkcomposites.com/en/materials-applications/construction/materials-applications/railway/>; acedido em 02/11/2021

Chawla, N., Chawla, K.K., Metal-Matrix Composites in Ground Transportation, *Journal of the Minerals, Metals & Metal Society*, November 2006, 67-70

EU REFRESCO project, Wider application of new materials for lighter and greener trains, 2016, <https://cordis.europa.eu/article/id/190771-wider-application-of-new-materials-for-lighter-and-greener-trains>

Di Mino, G., Di Liberto, M., Maggiore, C., Noto, S., A Dynamic Model of Ballasted Rail Track with Bituminous Sub-Ballast Layer, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53 (2012) 366-378

García-Moreno, F., Commercial Applications of Metal Foams: their Properties and Production, *Materials* 2016, 9, 85, doi:103390/ma9020085

Ibrahima, I.D., Jamirua, T., Sadikub, E., Kupolatic, W., Mpofud, K., Ezea, A., Uwaa, C., Production and Application of Advanced Composite Materials in Rail Cars Development: Prospect in South African Industry, *Procedia Manufacturing* 35 (2019) 471-476

Lu, C., Liu, J., Liu, Y., Liu, Y., Intelligent Construction Technology of Railway Engineering in China, *Front. Eng. Manag.* 2019, 6(4), 503-516

Smulders, H., Wouters, P., Minkman, J., van Waes, J., Revolutionising catenary design: the use of new materials, *Proceed. of the WCCR, Lille*, 2011

Sun, X., Han, X., Dong, C., Li, X., Applications of Aluminium Alloys in Rail Transportation, *in Advanced Aluminium Composites and Alloys*, INTECHOPEN, 2021, doi:105772/intechopen.96442

Ulianov, C., Onder, A., Peng, Q., Analysis and Selection of Materials for the Design of Lightweight Railway Vehicles, *NMCI 2017, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 292 (2017) 012072

Woodhead, D., Investigating the performance of rail steels, *Fields: Journal of Huddersfield student research*, March 2021

Wu, J., Pantograph and Contact Line System, Chapter 8 - Operation and Maintenance of Pantograph and Contact Line Systems, Academic Press, London, 2018, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812886-2.00008-2>

Yao, G.-C., Luo, H.-J., Cao, Z.-K., The Manufacturing Technology of Aluminium Foam Material and Some Special Equipments, *Proceed. of ICMSA 2015*, 869-874  
Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N., Polymer modification of bitumen: Advances and challenges, *European Polymer Journal* 54 (2014) 18-38



# OS METAIS E OS NOVOS DESAFIOS

**JOSÉ MANUEL FERNANDES**

*Chairman FREZITEGroup*

Naquilo que ficou marcado como final da idade da pedra, o ser humano apercebeu-se do aparecimento de novos materiais que rapidamente se transformaram em desafios a novas utilizações para além da pele dos animais, da pedra e da madeira para a sua sobrevivência. Qualquer exercício à imaginação passa por imaginar como surgiu a era dos metais.

Será normal fazermos este exercício de imaginação divagando, pelos grandes incêndios em florestas cujos solos ricos em minerais, sequenciadores dos respetivos metais como, cobre, estanho e ferro.

Isto permitiu o fim da idade da pedra, o início da idade dos metais e uma marcação nítida de diferentes períodos de civilização do homem pelo uso de novos materiais e em particular os metais, que chega aos nossos dias com uma parceria indissociável da qualidade de vida da humanidade em todas as sociedades e países ao longo dos séculos e no futuro.

Hoje os metais estão bem avaliados pelas suas propriedades e aplicações sendo este mega grupo gerador de muitas famílias de matérias-primas em particular o ferro, gerador também de múltiplos materiais sequenciados como, os aços ao carbono, de baixa liga, alta liga, ferros fundidos, tantung, metais duros em que os elementos de classificação são o ferro e o carbono. Focando-nos nestes materiais nobres, como os aços, vamos particularizar novos desafios pelos mercados em que, bem a poucos anos atrás vivíamos num mundo estabilizado e conservador, o que não acontece hoje pela cultura competitiva da inovação.

Com a evolução de novas formas ousadas da engenharia e da arquitetura, quer de

mega construções, cidades, edifícios, pontes, novos veículos de transporte, equipamentos, máquinas, ferramentas de corte, ferramentas de injeção ou de deformação, valvularia de alta precisão, micro conjuntos, relojoaria, etc., todo este mundo exige aos metais, todos os dias, novas respostas aos desafios postos nos seus projetos e pela procura.

É cada vez mais evidente a valorização pela inovação do engenheiro que projeta, de dar resposta aos novos desafios que são requeridos também num contexto concorrencial de novos materiais que surgem com características mais ajustadas às aplicações finais dos produtos.

Variáveis como, sustentabilidade nos *layouts* de fabricação em ambientes *in* e *out*, condutibilidade térmica, melhoria do rácio dureza-tenacidade com procura da redução do mesmo, maior resistência ao desgaste, som gerado por vibrações pela mecânica da fratura, peso do produto final, soluções híbridas contra a homogeneidade das características em aplicações em que áreas pobres consideradas como suporte têm igual composição que áreas nobres de uma peça ou de um conjunto para que foram projetadas, grau de autotemperabilidade superficial perante novos métodos de produção a jusante, inovadores por exemplo no corte a laser, soldadura e outros, prototipagem rápida por manufatura aditiva ou fabricação unitária, resistência à corrosão assim como facilitador integrador na economia circular. Estes são desafios permanentes que hoje estão a surgir a esta classe de materiais que são as ligas ferrocarbónicas, em particular aos aços.

Entre os grandes concorrentes com os aços e em particular com os laminados, pelas suas

aplicações, temos hoje novos materiais que correspondem à valorização crescente dos novos requisitos como redução de peso no produto final como multi compósitos com fibras de carbono, compósitos de diferentes matrizes, fibra de vidro, novos materiais híbridos com grafeno, ligas de alumínio, ligas de magnésio e outros, em que o fator peso é determinante, assim como o custo de obtenção de formas complexas, ou novos materiais com nanopartículas .

Isto permite-nos imaginar, grandes inovações nos esperam em futuro próximo, ou que estejam já a decorrer, criando-se respostas que estão na proximidade dos investigadores pelos seus resultados e na expectativa do utilizador final que são, menos peso, maior resistência, melhor maquinaria, melhor qualidade global, prazos de resposta mais curtos e preços mais competitivos.

Não será difícil imaginar no futuro, vemos moldes de plásticos, componentes para as indústrias do espaço, aeronáutica e até automóvel, com peças estruturantes híbridas de um compósito e um aço ou um híbrido de grafeno e aço ou grafeno e liga de titânio. Não será difícil no futuro, de vemos muitos substitutos de peças com elevado grau de complexidade a evoluir a sua construção para execução por manufatura aditiva. Também é expectável ver novas aplicações em áreas de engenharia mecânica pura em conjuntos de elevadíssimo desgaste, cuja substituição pode ser operada por novos materiais desenvolvidos em gravidade zero com coeficientes de atrito cinemático próximos de zero ou por utilização de soluções em PCD-diamante policristalino.

Toda esta caminhada da engenharia dos materiais e em particular dos metais, é dinâmica e é imparável, basta nos recordar que até aos anos oitenta do século passado fazíamos a construção da maioria de maquinaria para múltiplas aplicações com corpos de estrutura principal, em ferro fundido cinzento através da tecnologia de moldação-fundição em que foi substituída por chapa laminada de aço com o lucro da redução de 50% do peso e mais facilidade da maquinaria.

A instabilidade imposta pela inovação permanente dos mercados, por valorização das variáveis já referidas impõe novos desafios em geral aos materiais, em particular aos metais na busca por novas soluções.

Os metais estão numa posição privilegiada quanto á economia circular em que esta, se está a transformar cada vez mais, num vetor determinante para a sustentabilidade do planeta através das políticas emanadas por grandes organismos de governo, decisores das estratégias da economia global influenciando as sociedades e em particular os consumidores finais.

Os metais são um aliado poderosíssimo da civilização na realização dos sonhos gigantes do homem em relação á sua qualidade de vida. Um dia apareceram depois de um mega incêndio, hoje alimentam os sonhos do homem quer para a sua felicidade, infelizmente ainda... também para a sua destruição.



# PROJETO NANOTIC

***Cerâmicos avançados possuem propriedades atrativas como alta resistência ao desgaste e alta estabilidade térmica. Apesar destas propriedades, que os tornam potenciais candidatos para uma variedade de aplicações, a baixa tenacidade à fratura, o alto custo e a alta dureza dificultam a produção de componentes grandes e complexos e inibem seu uso em diversas aplicações. A combinação destes materiais cerâmicos com ligas leves, como titânio ou ligas de alumínio, é bastante atrativa, combinando assim as extraordinárias propriedades dos dois materiais e ampliando as aplicações potenciais particularmente em componentes para a indústria automóvel e aeroespacial.***

O desenvolvimento e otimização de processos de união é de vital importância uma vez que estes processos constituem uma tecnologia que influencia todos os sectores industriais desempenhando assim um papel fundamental no desenvolvimento económico e social de um país. Os cerâmicos avançados têm atraído a atenção dos investigadores devido a propriedades como elevada resistência ao desgaste e elevada estabilidade térmica. No entanto, a baixa tenacidade à fratura, o elevado custo e elevada dureza dificultam a produção de componentes complexos e de grandes dimensões, inibindo a sua utilização em diversas aplicações. A ligação destes materiais cerâmicos com ligas metálicas leves, como ligas de titânio ou de alumínio, é bastante atrativa pois permite a combinação das propriedades tão díspares como resistência ao desgaste e à corrosão com tenacidade e condutividade térmica, podendo alargar o leque de potenciais aplicações particularmente em componentes para as indústrias automóvel e aeroespacial. No entanto, os processos de ligação são responsáveis pelo aumento significativo das dificuldades de produção e do preço final do produto. O principal desafio destes processos é a necessidade de utilizar uma fonte de calor externa para fundir o material de união. Mesmo no caso das técnicas que não requerem a fusão dos materiais de base, como a brasagem, estes são aquecidos a temperaturas que podem induzir modificações estruturais e criação de tensões residuais. A brasagem e a ligação por difusão no estado sólido são os processos mais adequados para promover a ligação com sucesso de materiais dissimilares. Assim, é essencial desenvolver novas técnicas de ligação

capazes de ultrapassar os problemas associados à disparidade de módulos de elasticidade, coeficientes de dilatação e a baixa molhabilidade pelas ligas de brasagem comerciais.

A processos de ligação assistidos por intercamadas nanométricas pode ser uma abordagem aos processos convencionais de modo a superar os problemas apresentados por estes. O carácter nanométrico destas intercamadas têm como objetivo de aumentar a difusividade através da interface levando a uma diminuição das condições de processamento ou até permitir a ligação entre materiais dissimilares. Multicamadas nanométricas reativas utilizadas como intercamadas reagem de uma forma exotérmica e autossustentada após ignição por um pulso de energia, é uma das abordagens às tecnologias de união.

Esta técnica tem tido sucesso na ligação similar e dissimilar de materiais metálicos especialmente ligas de titânio, aço e superligas de níquel.

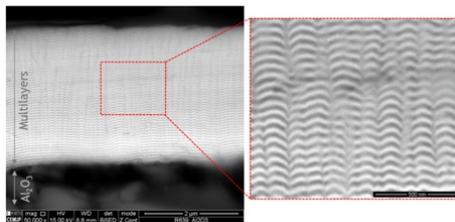
O projeto *NanoTiC* baseia-se no processamento de ligações entre ligas de titânio a cerâmicos avançados através de camadas nanométricas. Foi explorada não só a utilização multicamadas reativas nanométricas, como também a utilização de camadas nanométricas especificamente projetadas para reduzir as variações, estruturais e mecânicas, através da interface. Os sistemas mais promissores foram testados nas ligações de ligas de titânio a materiais cerâmicos. O material de ligação foi depositado nas superfícies dos materiais de base garantindo assim uma boa adesão ao material de base ou

depositado em ligas de brasagem ou folhas finas. As microestruturas e as propriedades mecânicas das uniões foram caracterizadas sendo que o sucesso do processo foi avaliado pelo mecanismo da ligação determinado através da combinação das caracterizações microestruturais e mecânicas.

## INTERMACAMADAS

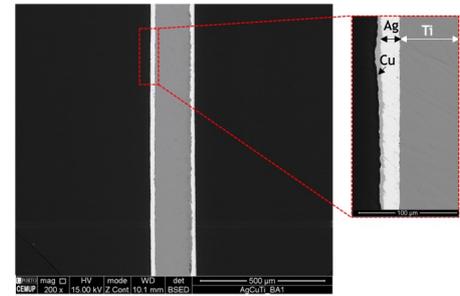
Neste projeto três tipos de inter camadas foram utilizadas na união de ligas de titânio à materiais cerâmicos avançados: multicamadas reativas, deposição de camadas em folhas finas e produção de ligas por deformação plástica severa (ARB – *accumulative roll bonding*).

As multicamadas foram depositadas por pulverização catódica sobre os materiais a unir. Na **figura 1** pode-se observar as multicamadas de Ni/Ti depositadas em Alumina. A estrutura alternada de camadas nanométricas de níquel e titânio é clara nestas imagens em microscopia eletrônica de varrimento de varrimento.

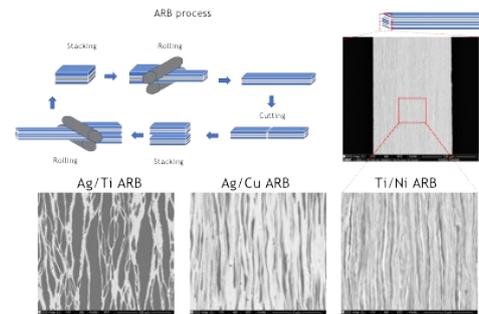


**Figura 1** - Imagem em microscopia eletrônica de varrimento de multicamadas de Ni/Ti depositadas em  $Al_2O_3$ .

Na **figura 2** pode-se observar uma liga produzida que consiste na deposição de camadas de prata e cobre sobre uma folha fina de titânio. As camadas de prata e cobre foram depositadas também por pulverização catódica. Esta liga de brasagem é uma alternativa às ligas comerciais à base do eutético Ag-Cu. A produção de camadas nanométricas também foi realizada por deformação plástica através da laminagem a frio. Na figura 3 está representado o esquema assim como a imagem em microscopia eletrônica de varrimento de três sistemas diferentes produzidos.



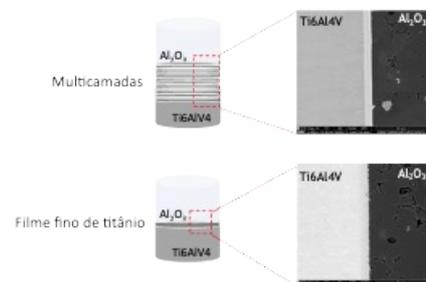
**Figura 2** - Imagem em microscopia eletrônica de varrimento de liga de brasagem Ti/Ag-Cu.



**Figura 3** - Esquema da produção de camadas nanométricas por laminagem (ARB) e imagem em microscopia eletrônica de varrimento de três liga produzidas por este processo: Ag/Ti, Ag/Cu e Ti/Ni.

## LIGAÇÃO POR DIFUSÃO NO ESTADO SÓLIDO

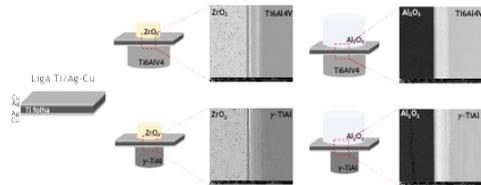
A ligação por difusão no estado sólido foi realizada através de multicamadas reativas e por um filme fino de titânio depositado no cerâmico. A utilização destas inter camadas permitiu obter ligação a 800 °C com um tempo de estágio de 60 min o que não seria possível sem o uso de qualquer inter camada. A figura 4 mostra imagens de um exemplo das interfaces obtidas para cada um dos sistemas testados.



**Figura 4** – Ligação por difusão no estado sólido de alumina a Ti6Al4V assistida por multicamadas de Ni/Ti e por um filme fino de Titânio depositado em  $Al_2O_3$ .

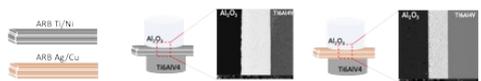
## BRASAGEM

A brasagem com a utilização de ligas de brasagem produzidas através da deposição de camadas de *Ag* e *Cu* numa folha de *Ti*, mostrou-se uma abordagem eficaz na ligação entre ligas de *g-TiAl* e *Ti6Al4V* a *Al2O3* e *ZrO2* (**Figura 5**). A grande vantagem da utilização desta liga é a eliminação da solução sólida de prata na interface.



**Figura 5** – Brasagem de ligas de titânio (*Ti6Al4V* e *g-TiAl*) a *ZrO2* e *Al2O3* com uma liga à base de *Ti* produzida por pulverização catódica.

A brasagem com ligas produzidas por *ARB* também foi realizada com sucesso produzindo união entre o *Ti6Al4V* e o *Al2O3* isentas de defeitos.



**Figura 6** – Brasagem de *Al2O3* a *Ti6Al4V* com a utilização de ligas de brasagem produzidas por *ARB*.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Projeto PTDC/CTM-CTM/31579/2017 - POCI-01-0145-FEDER-031579- financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da *FCT/MCTES* através de fundos nacionais (*PIDDAC*).



# PROJETO ON-SURF

## PPS 1 – SUPERFÍCIES AUTO ADAPTATIVAS

*A aplicação de revestimentos em ferramentas de corte para aumentar o seu tempo de vida e diminuir a energia despendida durante o processo de maquinagem, é uma tática que já conta com bastantes anos, não sendo grande novidade. No entanto, sempre foi necessário juntar a isto, a aplicação de um fluido de corte, principalmente em ligas consideradas “difíceis de maquinar” (ex. titânio, etc.), que constituem um grande problema em termos de pegada ecológica. Assim, é de extrema importância, desenvolver novos materiais e revestimentos que permitam, não só proteger a ferramenta, mas também eliminar o uso de fluidos de corte nocivos para o ambiente. É com este conceito e contexto de revestimentos auto adaptativos em mente, que este PPS do projeto On-Surf foi criado.*

Assim, neste projeto, desenvolveu-se um sistema de revestimentos auto adaptativo composto por uma matriz nanocompósita de onde foi adicionada prata para servir de elemento lubrificante sólido. A introdução deste elemento, em forma sólida, desempenha um papel importantíssimo na eliminação do uso de qualquer lubrificante líquido durante a maquinagem de ligas consideradas “difíceis de maquinar”.

### PROJETO:



Fundação para a Ciência e a Tecnologia,  
POCI-01-0247-FEDER-024521  
Projeto mobilizador “Mobilizing  
Technological Skills in Surface Engineering”,  
On-Surf

### EQUIPA DE INVESTIGAÇÃO:

1. **Albano Cavaleiro**, Professor catedrático  
Departamento de Engenharia Mecânica  
FCTUC – Universidade de Coimbra  
Rua Luis Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal  
albano.cavaleiro@dem.uc.pt

2. **Filipe Fernandes**, Professor assistente  
convidado  
Departamento de Engenharia Mecânica  
FCTUC – Universidade de Coimbra  
Rua Luis Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal  
filipe.fernandes@dem.uc.pt

3. **Diogo Cavaleiro**, Doutorado em  
Engenharia de Materiais  
Departamento de Engenharia Mecânica  
FCTUC – Universidade de Coimbra  
Rua Luis Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal  
diogoacavaleiro@gmail.com



Figura 1 - Deposição dos revestimentos TiSiN(Ag) em brocas



Figura 2 – Aspeto visual das brocas pós deposição dos revestimentos

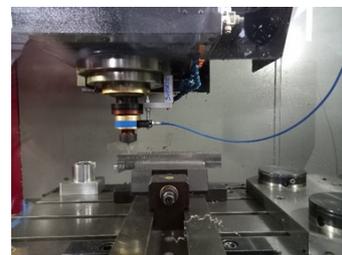


Figura 3 – Montagem da broca no porta-ferramentas e respetiva adaptação do dinamômetro para medição de forças durante a furação



Figura 4 – Aspeto visual da peça de TiAl6V4 depois da realização dos ensaios de furação

# FREZITE Group

## Especialistas em Ferramentas de Corte



Metais



Acrílico



Alumínio



Madeira



Compósitos



Fibrocimento



Cortiça



Polímeros



[www.frezitegroup.com](http://www.frezitegroup.com)

Grandes Desafios,  
Excelentes Soluções!

# GEAR3D

## RECONSTRUÇÃO 3D DE DENTES DE ENGRENAGENS DE GRANDE DIMENSÃO VIA DEPOSIÇÃO DIRETA POR LASER

*O Gear3D foca-se na reconstrução 3D de engrenagens cementadas de elevada dimensão, integradoras de geradores eólicos e/ou aeronáuticos. A empresa líder é a SERMEC II - Indústria, Comércio e Serviços, S.A., fazendo também parte do consórcio a FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, como entidade do SCTN e contando com a Consultoria do INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial.*



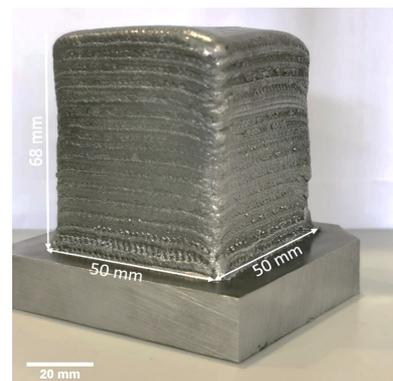
A Tecnologia alvo utilizada é a deposição direta por laser (DLD), ilustrada na **Figura 1**. Esta tecnologia oferece vantagens significativas em relação aos métodos convencionais de reparação (e.g., Soldadura MIG/TIG).



(a)



(b)



(c)

**Figura 1** – (a) Equipamento de DLD disponível na SERMEC; (b) Detalhe do equipamento em produção; (c) Maciço produzido por DLD evidenciando-se as várias camadas depositadas.

O projeto preconiza três inovações principais. A primeira relaciona-se com a reconstrução 3D de dentes de engrenagens e visa superar os atuais desafios inerentes à construção de sucessivas camadas em altura por DLD. Uma análise de sensibilidade das múltiplas variáveis do DLD, bem como o desenvolvimento de um sistema de indução para aquecimento local da zona de processamento, está a ser implementada no decorrer do projeto.

Outro aspeto a explorar no GEAR3D são as diferentes combinações de materiais. Nesta característica inovadora estão a ser estudadas estratégias para criar depósitos multi-material em gradiente que assegurem uma boa adesão e compatibilidade metalúrgica entre camadas e as propriedades mecânicas requeridas para uma engrenagem.

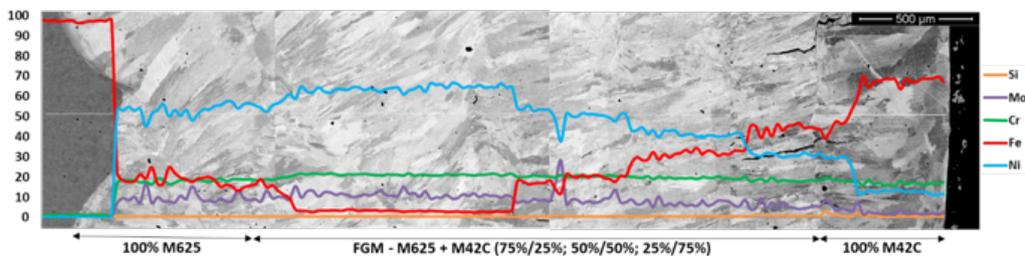
A terceira inovação relaciona-se com a validação da performance dinâmica de dentes de engrenagens reparados por *DLD*, como comprovativo da viabilidade industrial da solução *GEAR3D*.

O conceito da solução proposta no presente projeto passa por uma abordagem integradora que engloba os principais estágios de processamento de uma reparação de engrenagem desde o pré-processamento até à avaliação do desempenho dinâmico em condições de serviço, incluindo a deposição propriamente dita e as etapas subsequentes de acabamento. Para além desta visão de investigação inclusiva promotora de desenvolvimentos em toda a cadeia produtiva, o conceito proposto foca-se em mais dois aspetos críticos da deposição direta por laser, nomeadamente o controlo

da temperatura e os pós para recuperação/remanufatura de componentes de grandes dimensões.

No que diz respeito à temperatura, está a ser realizado um estudo desta variável durante todo o processo com a monitorização das variações de temperatura (i.e., taxas de arrefecimento) de uma forma cuidada através de câmara termográfica, termopares e/ou pirómetro ótico e o seu controlo por um sistema de aquecimento por indução acoplado à cabeça aditiva.

Quanto aos materiais de adição, estão a ser exploradas diferentes composições e tipologias de pós, como também o processo de deposição aditiva para construir estruturas multi-material em gradiente (*FGM*), de que se apresenta um exemplo na **Figura 2**.



**Figura 2.** Imagem obtida por microscopia eletrónica de varredura de um multi-material (uma superliga de níquel Inconel 625, identificada como M625, e um aço inoxidável martensítico *AISI 431*, referido como M42C), sendo apresentada a evolução microestrutural ao longo de um corte do *FGM*. Na figura é também apresentada a análise química linear (*EDX*).

Com estas estruturas procurar-se-á promover ligações metalúrgicas mais estáveis e adequar a arquitetura interna do dente ao pretendido (i.e., dente com um núcleo tenaz para absorver energia das vibrações e impactos e com uma superfície de elevada dureza para resistir aos esforços de contacto sempre presentes nos elementos mecânicos de transmissão).

As propriedades mecânicas finais dos materiais depositados não são necessariamente uma combinação das propriedades mecânicas dos dois materiais utilizados no *FGM* e podem variar significativamente ao longo da zona depositada. Os resultados obtidos na reparação utilizando estes materiais são promissores e a **Figura 3** mostra detalhes de um pinhão do tipo *FZG* recuperado por *DLD* e que está a ser testado em banco de ensaios.

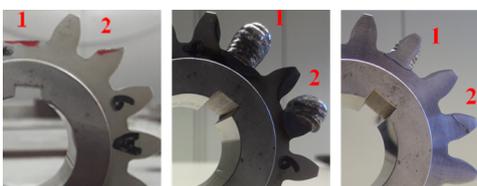
**Figura 3.** Detalhe da reconstrução de um dente de um pinhão *FZG* Tipo C14. (a) corte, (b) reparação via Deposição Direta por Laser e (c) restauração de geometria.

A produção de *FGM* provou frequentemente ser capaz de melhorar as propriedades mecânicas, tais como a resistência ao desgaste e a dureza. Os parâmetros de deposição, incluindo a composição e espessura das várias camadas, desempenham um papel significativo nas propriedades finais e devem ser otimizados para atingir os requisitos pretendidos.

**Designação do projeto:** Gear3D - Reconstrução 3D de dentes de engrenagens de grande dimensão via deposição direta por laser

**Código do projeto:** POCI-01-0247-FEDER-039848

Cofinanciado por:



## AS DIVISÕES TÉCNICAS SÃO ÓRGÃOS ESPECIALIZADOS, QUE CONGREGAM OS INTERESSADOS EM SECTORES ESPECÍFICOS DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS E ÁREAS CONEXAS E CUJA ATIVIDADE CONTRIBUI PARA A PROSECUÇÃO DA MISSÃO E OBJETIVOS DA SPM.

Representam importantes áreas do conhecimento e desenvolvimento em **Ciência e Tecnologia de Materiais**, proporcionando aos membros ações no seio das várias comunidades profissionais específicas, reuniões técnico-científicas e recursos, oportunidades de educação, de participação e formação de redes e plataformas e divulgação nas respetivas áreas do conhecimento.



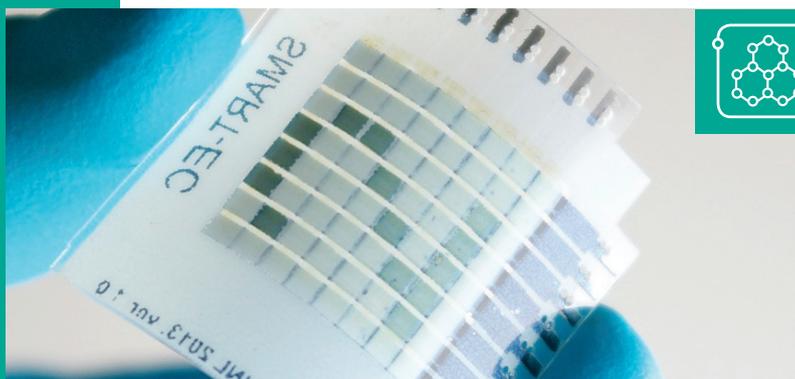
**Corrosão e Proteção de Materiais**, coordenada por Teresa Diamantino (*LNEG*) e Zita Lourenço (*Zetacorr*), contempla conhecimento e atividade no domínio da Corrosão e Proteção de Materiais



**Engenharia de Superfícies**, coordenada por Albano Cavaleiro (*FCTUC*) e Ricardo Alexandre (*TEandM*) agrega: Eletroquímica de Materiais, Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfícies, Tribologia e áreas afins



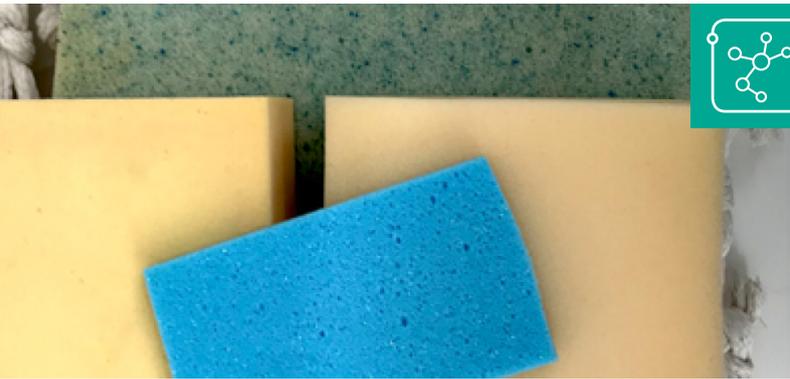
**Materiais Estruturais**, coordenada por Jorge Lino e Manuel Vieira (ambos da *FEUP*): de âmbito muito vasto, inclui Materiais Metálicos, Materiais Cerâmicos, Materiais Compósitos e Fractura, entre outros



**Materiais Funcionais**, coordenada por Luís Pereira (*FCT/UNL*), Maria Helena Fernandes (*U Aveiro*) e Maria Ascensão Lopes (*FEUP*), abrange áreas de Nanotecnologias e Biomateriais, Materiais para a Eletrónica, Optoelectrónica e Dispositivos Médicos



**Materiais para a Energia**, coordenada por Luís Gil (DGEG) e Carlos Nogueira (LNEG), agrega as áreas do desenvolvimento de Materiais para as aplicações da Energia, incluindo as questões da disponibilidade dos Materiais e das Matérias Primas



**Polímeros e Compósitos**, coordenada por Jorge Coelho (FCTUC), A. Torres Marques (FEUP), J. C. Bordado e A. Correia Diogo (IST)



**Tecnologia e Processamento de Materiais**, tem como principal objetivo contribuir para a dinamização da investigação e disseminação em tecnologias de produção de componentes mecânicos num enquadramento de constante evolução dos materiais e consideração pela sustentabilidade ambiental e social. A divisão é atualmente coordenada por Abílio de Jesus (FEUP), Hélder Puga (UM) e Pedro Rosa (IST)



**J-SPM**, integra os sócios da SPM com menos de 35 anos e tem como principal objetivo representar os pontos de vista, as necessidades e expectativas dos sócios jovens



**Comunicação e Divulgação**, criada em Julho de 2019, pretende ser o veículo da SPM por excelência, através do qual se dará mais voz à área de Materiais. Coordenada por Paula Vilarinho (U Aveiro), conta com a colaboração de Manuela Oliveira e Joana Sousa

# CELULARES AUXÉTICOS USANDO MICROFUNDIÇÃO ASSISTIDA POR MANUFATURA ADITIVA O FUTURO DA FERROVIA?

**VITOR CARNEIRO**

Universidade do Minho

**O futuro dos transportes envolve a redução de emissões, transição de veículos individuais para coletivos e diminuição de consumos energéticos. A ferrovia destaca-se pelo menor consumo energético, ocupação de menor espaço e reduzida emissão de CO<sub>2</sub>. Tais impactos podem ser atingidos pela redução do peso de carruagens, e assim, diminuir a energia necessária movimentar o veículo e facilitar ciclos de aceleração. Igualmente, a redução de vibração/ruído ferroviário torna esta opção mais atrativa para o passageiro.**

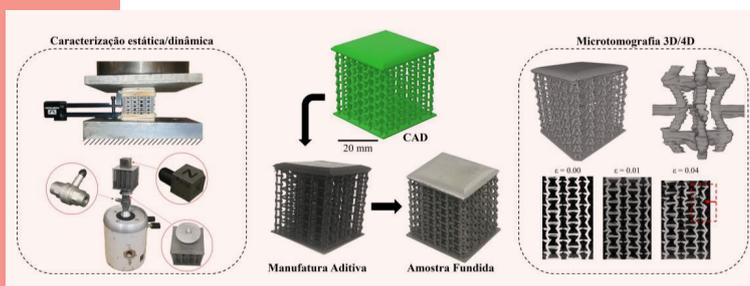
Estudos recentes demonstram que a solução pode passar pelo desenvolvimento de matérias leves com superior resistência mecânica específica e amortecimento estrutural/acústico. Vitor Carneiro (Universidade do Minho, UM) propõe a análise integral de sólidos celulares não estocásticos, combinando o processamento do material de base com a sua forma/geometria permitindo customizar propriedades mecânicas. Em conjunto com o orientador (José Meireles, UM), o bolseiro do *iRail – Innovation in Railway Systems and Technologies Doctoral Programme*, desenvolveu novos sólidos celulares auxéticos cuja macro-, meso- e microestrutura são otimizadas para obter elevadas propriedades estáticas e dinâmicas.

Para este efeito, foi desenvolvida uma técnica de microfundição assistida por manufatura aditiva em colaboração com o Professor Hélder Puga (UM), que envolve a produção de um modelo de sacrifício, recorrendo a fabricação por filamento fundido e posterior fundição por modelo perdido. Esta técnica não só é simples e económica, como permite fabricar sólidos celulares com geometria controlada (~97% porosidade, espessura de 0.5mm) e designs com propriedades mecânicas altamente customizadas. Ao nível metalúrgico, o processamento da liga (Al-Si-Mg) foi otimizada ao nível do seu banho, vazamento e tratamento térmico para obter o melhor compromisso entre tensão de cedência e atrito interno.

O estudo envolveu a caracterização mecânica destes sólidos celulares, combinando técnicas experimentais e rotinas numéricas, que podem ser projetados para demonstrar tensões de colapso, massa volúmica, amortecimento e coeficiente de *Poisson* de, respetivamente, 4.5 MPa, 100 kg/m<sup>3</sup>, 0.01 e -2. A caracterização metrológica destes componentes e o detalhe do seu comportamento mecânico foram realizados em colaboração com o *Henry Royce Institute* (Universidade de Manchester) através de microtomografia computadorizada 3D e 4D. Resultados mostram que a densificação provocada pelo comportamento auxético está na origem das propriedades mecânicas nestes sólidos celulares.

Após medições de ruído em diferentes tipos de transportes ferroviários a operar em diferentes países (Portugal, Reino Unido, Suécia, etc), demonstrou-se que as propriedades acústicas destes sólidos celulares combinando configurações ocas e preenchidas com espumas de poliuretano, demonstram altos valores de absorção e isolamento (perda por transmissão) acústico nas frequências críticas deste tipo de transporte.

Apesar do estado embrionário deste estudo (TRL 4), esta abordagem não está desfasada de abordagens semelhantes que foram surgindo ao longo deste trabalho. A divulgação de projetos na Alemanha (*Fraunhofer*) e China, para o fabrico de veículos ferroviários recorrendo a sólidos celulares estocásticos, revelam o interesse neste processo e dão-nos uma visão daquilo que poderá ser um futuro nesta indústria: ousos de ligas leves com processamento otimizado e moldadas em formas que melhorem o seu desempenho em vários domínios mecânicos recorrendo a uma quantidade mínima quantidade de material.



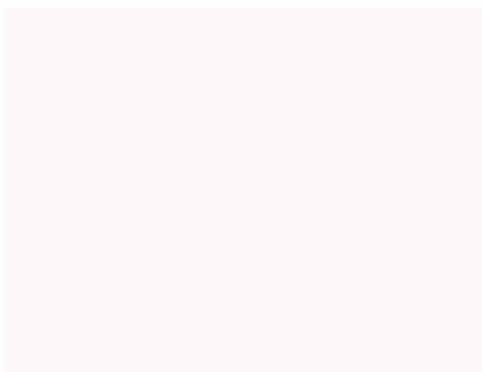


## MÁRIO FERREIRA RECEBE PRÉMIO "MARCEL POURBAIX"

Mário Ferreira, sócio da SPM, professor catedrático jubilado e ex-diretor do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica (DEMaC) da Universidade de Aveiro (UA), foi distinguido com o prestigiado prémio "Marcel Pourbaix" no 21º Congresso Internacional de Corrosão em São Paulo, Brasil, no fim de Julho.

*Este prémio é concedido a cientistas pelas suas contribuições notáveis no campo da corrosão metálica e na cooperação internacional entre países. Foi, pela primeira vez, atribuído a um português.*

O *International Corrosion Council* (ICC) é um organismo à escala mundial (com representação dos principais países de todos os continentes) e é membro da Organização Mundial de Corrosão, a quem as Nações Unidas (ONU) concederam o estatuto de 'Non-Governmental Organization (NGO)'.  
■



## ELEIÇÃO DOS CORPOS SOCIAIS DA SPM PARA O BIÉNIO 2021-2023

A eleição dos corpos sociais da SPM para o biénio 2021-2023 foi feita na Assembleia Geral de 14 de Julho por votação eletrónica. A sua composição atual é a seguinte:

### MESA DA ASSEMBLEIA GERAL

PRESIDENTE

**António Torres Marques (FEUP-INEGI)**

VICE-PRESIDENTE

**Abílio Pereira da Silva (UBI)**

1º SECRETÁRIO

**Cristiana Filipa de Almeida Alves (FEUP)**

2º SECRETÁRIO

**Ana Maria Oliveira Rocha Senos (U Aveiro)**

### CONSELHO DIRETIVO

PRESIDENTE

**Fernando Jorge Lino Alves (FEUP-INEGI)**

VICE-PRESIDENTE

**Sandra Maria Fernandes Carvalho (FCTUC)**

SECRETÁRIA GERAL

**Maria Manuela Xavier de Basto de Oliveira (ex-LNEG)**

VOGAL

**Luís Miguel Nunes Pereira (FCT/UNL)**

**Jorge Fernando Jordão Coelho (FCTUC)**

VOGAL SUPLENTE

**Paula Maria Lousada Silveirinha Vilarinho (U Aveiro)**

**Sónia Luísa dos Santos Simões**

### CONSELHO FISCAL

PRESIDENTE

**Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte (FEUP)**

SECRETÁRIO

**Fernando de Almeida Costa Oliveira (LNEG)**

RELATOR

**José Manuel Fortuna de Carvalho Antelo (ex SOREFAME / IPE; consultor)**

Os membros presentes tomaram posse no mesmo dia, logo a seguir à Assembleia Geral.





# PRÉMIOS FEMS

## ATRIBUÍDOS EM 2021



**Em 2021, foram os seguintes os candidatos contemplados com os prémios da FEMS – Federation of the European Materials Societies : Prof José Manuel Torralba (Universidade Carlos III de Madrid) com a Medalha de Ouro (FEMS European Materials Gold Medal); Prof Elvira Fortunato, do CENIMAT/i3N, Vice reitora da FCT/UNL (sócia e proposta pela SPM) com o Prémio de Inovação (FEMS Materials Innovation Prize); e Doutora Idalina Gonçalves, do CICECO e do DEMaC, U Aveiro (também sócia e proposta pela SPM) com o prémio de Ciência e Tecnologia de Materiais (FEMS Materials Science & Technology Prize).**

Ao receber o prémio, Elvira Fortunato salientou o facto de o mesmo ser atribuído à sua área de trabalho com materiais funcionais e sustentáveis, como é o caso da eletrónica baseada em óxidos metálicos. Por sua vez, Idalina Gonçalves referiu a sua contribuição para a bio economia circular através de bioplásticos derivados de produtos agrícolas.

Os premiados foram convidados pela FEMS a apresentar Conferências Plenárias na EUROMAT 2021, que decorreu online de 13 a 17 de Setembro, a partir de Graz, na Áustria. A Prof Elvira Fortunato fez uma apresentação com o título "Transparent Electronics: a Materials Revolution". Idalina Gonçalves apresentou uma conferência com o título "Agrifood byproducts-derived biomolecules in the (bio)plastics manufacturing".

A EUROMAT 2021 foi a primeira grande conferência on-line da FEMS, o que não a impediu de ser um sucesso: 1500 participantes de 46 países; 48 simpósios, num total de 294 sessões; 1250 apresentações orais e 270 posters.

**A PRÓXIMA CONFERÊNCIA, JUNIOR EUROMAT 2022, JÁ SERÁ PRESENCIAL E VAI SER ORGANIZADA PELA SPM EM PORTUGAL (COIMBRA, 19 A 22 DE JULHO).**



# DIA MUNDIAL DOS MATERIAIS

**Decorreu na 4ª feira, dia 3 de novembro, a comemoração de mais um Dia Mundial dos Materiais. Toda a informação e fotos estarão brevemente disponíveis no site da SPM.**

Na sessão da tarde realizou-se o simpósio OS MATERIAIS E A FILEIRA DO HIDROGÉNIO que, além de importantes apresentações (que esperamos poder vir a disponibilizar também no site da SPM), contou com a participação do Secretário de Estado Adjunto e da Energia, Dr. João Galamba, e do Diretor Geral da Energia e Geologia, Engenheiro João Bernardo, que nos honraram com a sua presença, aumentando assim a relevância do evento.

A qualidade do que se faz em Portugal em Ciência e Engenharia de Materiais ficou patente nas teses, apresentadas de manhã, candidatas ao Prémio SPM e ao prémio Ordem dos Engenheiros. As teses premiadas foram as seguintes:



## SPM

### Prémio

#### Ivânia Trêpo

FCT/UNL, Departamento de Ciência dos Materiais  
**Transparent and flexible ECoG electrode arrays of metallic nanostructures for neural recordings**

### 1ª Menção Honrosa

#### Maria Morais

FCT/UNL, Departamento de Física  
**Glucose biosensor using nano-enzymes based on zinc oxide nanostructures**

### 2ª Menção Honrosa

#### Joana Cartaxo Pinto Oliveira

U. Aveiro, Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica  
**Estudos de libertação e permeação transdérmica de fármacos em microdispositivos cerâmicos compósito**

## ORDEM DOS ENGENHEIROS

### Prémio

#### Duarte de Araújo Maciel

FEUP, Departamento de Engenharia Mecânica  
**Fatigue behaviour of Inconel 625 by Directed Energy Deposition**

### 1ª Menção Honrosa

#### Ana Marta Coelho Estêvão

IST, Departamento de Engenharia Química  
**Desenvolvimento de sensores luminescentes para deteção de oxigénio em vinho engarrafado**

### 2ª Menção Honrosa

#### Tatiana Susana Melo Miranda

U. Aveiro, Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica  
**Manufatura aditiva de sensores capacitivos em componentes automóveis termoplásticos**

A tese premiada com o Prémio SPM vai ser apresentada na conferência **Júnior EUROMAT 2022**, em Coimbra, (19-22 de Julho), para concorrer à **FEMS award to the best master thesis in Europe**, ganha pela SPM em 2018. A deslocação e estadia da candidata são financiadas pelo Prémio SPM.

O Prémio Ordem dos Engenheiros mantém-se como prémio pecuniário no valor de quinhentos Euros.

A SPM e o Colégio de Engenharia de Materiais da Ordem dos Engenheiros agradecem a participação de todos e felicitam calorosamente as contempladas e o contemplado com os Prémios e Menções Honrosas.

ENEM 2021



## 7º ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE MATERIAIS

Os **ENEM – Encontro Nacional de Estudantes** de Materiais, que resultam de uma colaboração entre a Sociedade Portuguesa de Materiais e o Colégio de Engenharia de Materiais da Ordem dos Engenheiros, promovem o contacto entre estudantes de materiais das diferentes universidades do país.

O 1º ENEM teve lugar no dia 2 de Novembro de 2006, na Universidade de Aveiro, por ocasião do Dia Mundial dos Materiais e da comemoração dos 25 anos da SPM. Foi também a data de constituição da J-SPM.

Desde então os ENEM têm-se realizado de dois em dois anos, percorrendo as Escolas de Engenharia do País onde existam Núcleos de Estudantes de Materiais e, geralmente, em datas coincidentes ou próximas do Dia Mundial dos Materiais:

### 2º ENEM: 2008, Universidade do Minho

6 - 7 Novembro

### 3º ENEM: 2010, IST

11-14 Novembro

### 4º ENEM: 2014, FCT/UNL, Caparica

5-7 Março

### 5º ENEM: 2016, UBI, Covilhã

29-30 Setembro

### 6º ENEM: 2018, FEUP

11-13 Novembro

Devido à situação de pandemia, o ENEM de 2020 foi realizado em 2021. Assim, o 7º ENEM foi organizado nos dias 8 e 9 de Novembro no Instituto Superior Técnico pelo NEMat-Núcleo de Estudantes de Materiais, com o apoio da J-SPM e o seguinte programa:

De um modo geral, os programas dos ENEM têm reflectido as preocupações com a integração no mercado de trabalho. Na situação atual, muitos desafios novos se apresentam: o teletrabalho, a transição energética, a substituição de matérias primas, a economia circular, só para citar alguns. Há pois muito que fazer para um Engenheiro de Materiais, sempre com a preocupação de deixar o máximo de valor acrescentado no nosso País.

O 8º ENEM voltará aos anos pares e será em Novembro de 2022, organizado pelo Núcleo de Estudantes de Materiais da Universidade de Aveiro.

### 8 de Novembro, Anfiteatro Abreu Faro (presencial e online)

09:00 Check-in

10:00 Sessão de Abertura (Presidente do IST e Ordem dos Engenheiros)

10:30 Ana Espada (Economia Circular)

11:00 Vestas

11:15 Coffee Break

11:45 Visteon

12:00 Pedro Amaral (Stork Composites)

12:30 M<sup>a</sup> Inês Silva (Percurso Profissional de ex aluna)

13:00 Almoço

14:45 M<sup>a</sup> João Pereira (Transição energética e recursos minerais)

15:15 MPC DesignWorks

15:30 Coffee break

16:00 Torrecid

16:15 Sessão de Encerramento (Coordenador Mestrado em Engenharia de Materiais do IST)

17:00 Convívio

### 9 de Novembro, online

09:00 Check-in

09:30 8000 Kicks (Sapatilhas de cânhamo eco-friendly)

10:00 Plasoeste

10:15 Ana Luísa Silva (Nanopartículas para bio-aplicações)

10:45 Intervalo

11:00 Elvira Fortunato (CENIMAT, FCT)

11:30 Debate: "What comes next?" Impacto da pandemia e consequências no mercado de trabalho para jovens profissionais.

12:30 Sessão de Encerramento

(Representantes da SPM, JSPM e NEMat)



**MATERIAIS 2022 (Marinha Grande, 10-13 Abril) será o XX Congresso da Sociedade Portuguesa de Materiais, o XI Simpósio Internacional de Materiais e o II Encontro Ibérico de Ciência de Materiais, com o apoio da Sociedade Espanhola de Materiais SOCIEMAT.**

Serão cobertas áreas diversas de Ciência e Engenharia de Materiais, tais como materiais funcionais, materiais estruturais, processamento, caracterização e modelização. Haverá sessões especiais sobre cerâmicos (com o apoio da SPCV - Sociedade Portuguesa de cerâmica e vidro) e polímeros.

**Toda a informação disponível em:**  
<https://congressomateriais.pt/2021/introduction>

e-mail:

[materiais2022@ipleiria.pt](mailto:materiais2022@ipleiria.pt)

website:

[www.congressomateriais.pt](http://www.congressomateriais.pt)



**A JuniorEUROMAT2022 (Coimbra, 19-22 Julho) será organizada pela Sociedade Portuguesa de Materiais no âmbito da FEMS-Federation of the European Materials Societies.**

**Toda a informação disponível em**  
<https://junioreuromat.org/>

<https://www.fems.org/event/fems-junior-euromat-2022>

# IMPACTO SOCIAL E ECONÓMICO DOS MATERIAIS EM PORTUGAL

O estudo *Impacto Social e Económico dos Materiais em Portugal* foi encomendado pela SPM em 2014, daí resultando um documento, mais sucinto, referindo os aspectos essenciais para o objectivo que a SPM pretende:

- Alertar as entidades oficiais para a importância dos materiais no desenvolvimento do País;
- Vir a servir como interlocutor e parte interessada a ser contactada pelas tutelas relevantes;
- Potenciar o seu papel na ajuda aos sócios no seu crescimento profissional, bem como potenciar a sua contribuição para o desenvolvimento do tecido industrial nacional na área de Materiais e afins;
- Mostrar a importância e o peso dos materiais e a necessidade de apoiar a formação de Engenheiros de Materiais e os respectivos cursos e departamentos, mantendo e reforçando os que existem, recuperando os que desapareceram (IST e FCTUC) e criando novos cursos e departamentos onde os mesmos não existam (UBI).

Numa primeira fase, foram abordados os sectores dos Polímeros, Cerâmicos & Vidros e da Cortiça, que representam áreas importantes, mas com características muito diferentes. Este estudo, que cobre o período 2012-2016, poderá ser posteriormente completado com os outros subsectores da área dos materiais.

O conhecimento do impacto dos materiais a nível social e económico no nosso país é uma ferramenta importante para os decisores estratégicos e políticos. Por outro lado, a SPM tem, no seu seio, especialistas nas diversas áreas que poderão ajudar nesses níveis de decisão. Por isso, a SPM deve ser considerada como um parceiro neste domínio e chamada a colaborar quando necessário.

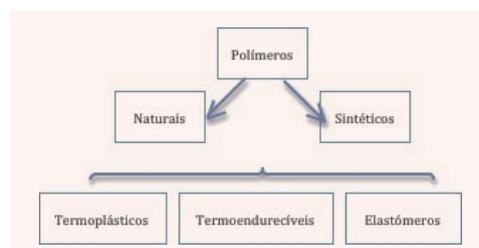
O documento *Impacto Social e Económico dos Materiais em Portugal* estará disponível no site da SPM.

## MATERIAIS ESTUDADOS

### Materiais Poliméricos

Com o desenvolvimento industrial moderno, formatado para as produções em massa de produtos cada vez com maior necessidade de valorização, os materiais poliméricos, desde meados do séc. XX, têm vindo a revelar-se como uma das classes de materiais com maior evolução e peso industrial (Fig.1). Vulgarmente conhecidos como *plásticos*, este tipo de materiais encontra-se atualmente presente em todo o tipo de aplicações com as quais lidamos diariamente, desde dispositivos eletrónicos, meios de transporte, utensílios de cozinha, vestuário e utensílios médicos. Por outro lado, o seu impacto ambiental, quando utilizados em aplicações de reduzida durabilidade (bens descartáveis como sacos, garrafas, etc.), tem sido um grande fator de preocupação social.

Como é do conhecimento geral, algumas das indústrias com maior peso no sector das indústrias transformadoras do nosso país foram, e de certa forma continuam a ser, as indústrias do papel e têxtil. Também as indústrias químicas e de embalagens proporcionaram um crescimento significativo ao longo do séc. XX.



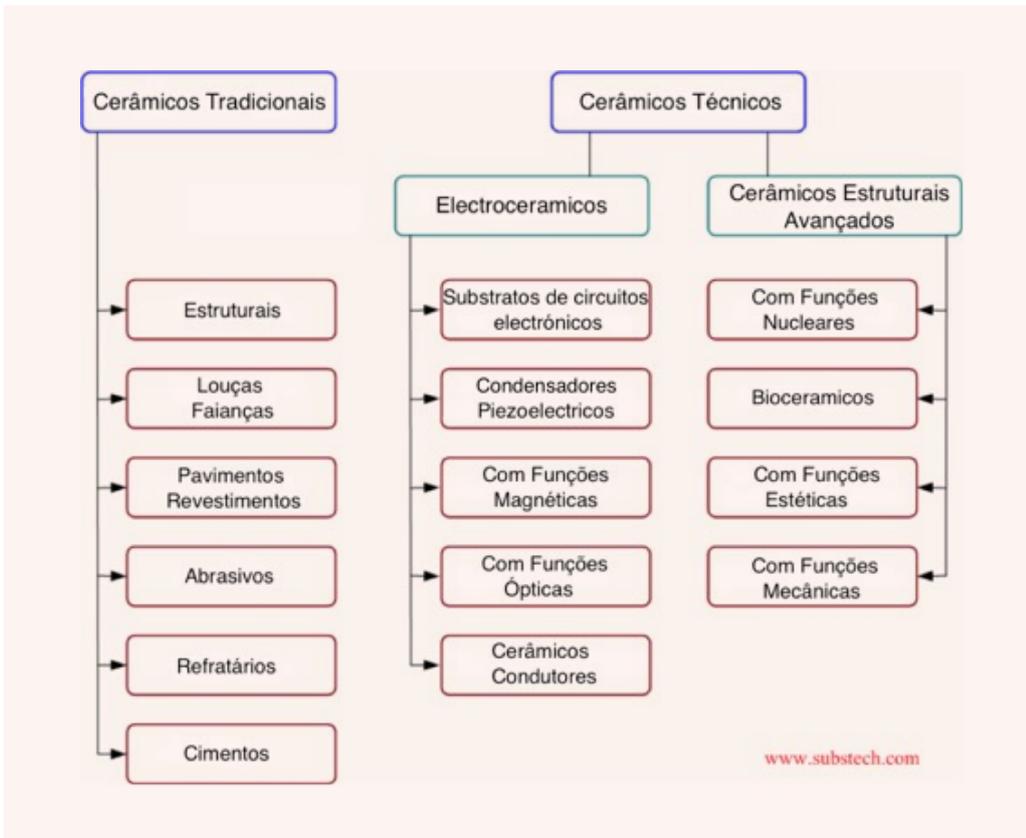
**Figura 1** - Classificação dos polímeros de acordo com a sua natureza e com comportamento mecânico e/ou térmico.

**Materiais Cerâmicos e Vidro**

De uma forma geral, materiais cerâmicos são qualquer classe de material sólido inorgânico (óxido metálicos, boretos, carbonetos, nitretos, ou misturas destes) não metálico que, durante a sua manufactura, seja submetido a um tratamento térmico a altas temperaturas. São associados a utensílios do nosso dia a dia como peças de barro, azulejos, tijoleiras, telhas, entre outros produtos facilmente identificados pelo cidadão comum.

No entanto, os diferentes estudos desenvolvidos nas últimas décadas têm vindo a introduzir gradualmente o conceito de cerâmicos técnicos (também conhecidos como avançados ou especiais). Atualmente, os materiais cerâmicos técnicos ocupam posições de destaque em aplicações tecnológicas de elevado desempenho como aeroespaciais, nucleares, de energia, sensores de gases e electromecânicos, microelectrónica e biomédicas.

A classificação mais usual é a que se encontra esquematizada na **Figura 2**.



**Figura 2** - Classificação dos materiais cerâmicos com base nas suas aplicações e funções ([www.substech.com](http://www.substech.com))

As diferenças entre cerâmicos tradicionais e técnicos estão resumidas no Quadro 1.

Cerâmica	Matérias-primas	Estrutura	Propriedades	Processamento	Aplicações
Tradicional (silicatos)	naturais, minerais industriais (<98% pureza)	não-uniforme, porosa	mecânica, estética	olaria, colagem, prensagem, extrusão, queima	construção, produtos domésticos
Avançada (alto desempenho, alta tecnologia)	produtos químicos industriais (>98% pureza)	homogênea, menos porosa	elétrica, magnética, nuclear, ótica, mecânica, térmica, química, biológica	prensagem isostática, moldagem por injeção, sinterização, ligação por reação	eletrônica, estrutural, química, refratários

**Quadro 1:** cerâmicos tradicionais vs. cerâmicos técnicos (ou avançados)

Por outro lado, o vidro trata-se, de acordo com a *ASTM* (*American Society for Testing and*

*Materials*), de um material inorgânico resultante de um arrefecimento rápido de uma matéria fundida até que se verifiquem condições de rigidez sem que ocorra cristalização. Na verdade, no que diz respeito às matérias-primas utilizadas, a sua origem e natureza não diferem muito das utilizadas nos materiais cerâmicos.

### Materiais Naturais: Cortiça

A cortiça é o único material que permite que o nome de Portugal seja o primeiro à escala mundial, tanto no sector da produção, como no da sua transformação industrial e comercialização. Portugal é o primeiro produtor, mas também o primeiro importador desta matéria-prima, o principal transformador e o primeiro exportador de produtos acabados e intermédios.

No âmbito da cortiça existem dois conceitos que importa definir: o de cortiça rolhável e o de cortiça não rolhável. A cortiça rolhável é a cortiça que pode ser utilizável no fabrico de vedantes de cortiça: rolhas naturais, discos de cortiça natural e rolhas técnicas. A cortiça não rolhável é usada no fabrico de aglomerados compostos e/ou expandidos de cortiça. A Figura 3 mostra o esquema integrado de transformação da cortiça.

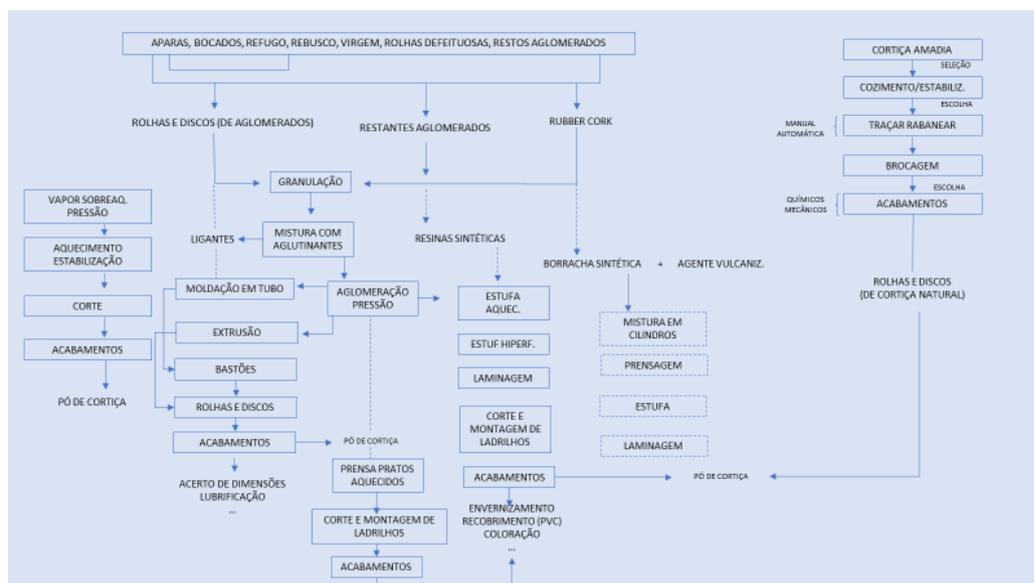


Figura 3 - Cortiça: esquema integrado de transformação da cortiça

### RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste estudo são considerados os dados de 2012 a 2016, disponíveis no *INE* à data da sua conclusão em 2018. A aquisição dos dados envolveu os seguintes passos:

- A identificação de empresas por *cluster*;
- A descrição das atividades das Subdivisões das *CAEs* conforme documento “Classificação Portuguesa das Atividades Económicas – Rev. 3 – Ano de edição 2007” do *INE* – Instituto Nacional de Estatística”;
- A identificação e correção de exceções, não conformidades e redundâncias;
- A assunção de pressupostos tecnicamente validados pelos Consultores e pelos elementos do Conselho Consultivo deste estudo;
- A obtenção de dados do *INE* – Instituto Nacional de Estatística (Anos: 2012 a 2016);

- A obtenção de dados de empresas, adquiridos à Informa D&B (Anos: 2012 a 2016).

Os indicadores globais e sectoriais considerados foram os seguintes:

- Volume de negócios – valor total de vendas de produtos e serviços;
- Resultado líquido – corresponde ao lucro (ou prejuízo, se negativo) líquido de impostos;
- Rentabilidade (líquida) de vendas – Resultado líquido a dividir pelo Volume de negócios (%);
- Número de trabalhadores – número de funcionários no final do período ou exercício;
- *VAB* (Valor Acrescentado Bruto) - diferença entre o valor da produção e o valor dos consumos intermédios; é o resultado final da atividade produtiva no decurso de um determinado

período ou exercício, i.e., a contribuição da empresa/sector para a riqueza do país;

- Percentagem de VAB / PIB (%) – o peso do VAB no PIB (Produto Interno Bruto);
- Percentagem de VAB / VAB da indústria (%) - o peso do VAB no VAB do sector industrial (todas as de empresas industriais);
- Produtividade (do trabalho) – calculada pela razão entre o VAB e o número de trabalhadores
- Indicadores nacionais e regionais por *NUTS II* (Norte, Centro, Área Metropolitana de Lisboa, Alentejo, Algarve, Região Autónoma dos Açores e Região Autónoma da Madeira) – *NUTS* significa “Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos”;
- Volume de negócios – valor total de vendas de produtos e serviços;
- Resultado líquido – corresponde ao lucro (ou prejuízo, se negativo) líquido de impostos;
- Rentabilidade (líquida) de vendas – Resultado líquido a dividir pelo Volume de negócios (%);
- Número de trabalhadores – número de funcionários no final do período ou exercício;
- VAB (Valor Acrescentado Bruto) - diferença entre o valor da produção e o valor dos consumos intermédios; é o resultado final da atividade produtiva no decurso de um determinado período ou exercício, i.e., a contribuição da empresa/sector para a riqueza do país;

- Percentagem de VAB / PIB (%) – o peso do VAB no PIB (Produto Interno Bruto);
- Percentagem de VAB / VAB da indústria (%) - o peso do VAB no VAB do sector industrial (todas as de empresas industriais);
- Indicadores nacionais e regionais por *NUTS II* (Norte, Centro, Área Metropolitana de Lisboa, Alentejo, Algarve, Região Autónoma dos Açores e Região Autónoma da Madeira) – *NUTS* significa “Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos”.

Dos materiais estudados nos anos abrangidos, podemos retirar algumas conclusões, não esquecendo que esses anos foram de crise económica e social devido ao choque financeiro de 2008 e, portanto, não é adequado fazer extrapolações diretas para o futuro. De notar que já é patente a retoma de 2016.

### Materiais Poliméricos

Os indicadores apresentados no Quadro 2 para toda a fileira dos polímeros nos anos 2012 a 2016 mostram o aumento gradual de todos eles, embora mais atenuado entre 2015 e 2016. Estes indicadores traduzem de uma forma clara o importante papel que a fileira de polímeros representou neste período em Portugal, atendendo à sua evolução de 2012 a 2016.

**Quadro 2** – Polímeros: indicadores de 2012 a 2016

FILEIRA POLÍMEROS	2012	2013	2014	2015	2016
Volume de negócios [Milhares €]	12.844.643	13.437.377	14.018.407	14.443.344	14.772.801
Lucro [Milhares €]	420.159	451.930	868.954	1249.309	1333.213
Rentabilidade de Vendas [%]	3,27%	3,36%	6,20%	8,65%	9,02%
Número de Trabalhadores	86.108	87.415	88.830	90.997	95.177
VAB [Milhares €]	2.826.920	3.001.397	3.118.757	3632.924	3799.434
VAB [% PIB]	1,68%	1,76%	1,80%	2,02%	2,04%
VAB [% VAB Indústria]	14,28%	14,82%	14,89%	16,25%	16,21%
Produtividade [Milhares €]	32,8	34,3	35,1	39,9	39,9
VAB [% VAB Indústria Transf.]	177,14%	189,65%	189,93%	210,61%	209,10%
VAB [% VAB Indústria (Sel.)]	25,87%	27,19%	27,71%	29,19%	29,48%

Como se poderá verificar analisando o Estudo, na distribuição do valor acrescentado bruto por *cluster* destacam-se, por ordem decrescente, de 2012 a 2016, os seguintes *clusters*: têxtil,

transformadores de materiais plásticos, papel, borracha, e polímeros de origem natural. Mais recentemente, aparecem também os compósitos com fibras (em 2014) e os termoplásticos (em 2015).

Quanto ao número de trabalhadores por *cluster*, a maioria dos trabalhadores situa-se claramente no *cluster* têxtil.

O volume de negócios, o valor acrescentado bruto e o número de trabalhadores estão concentrados predominantemente na Região Norte, seguindo-se a Região

Centro do país. Os valores na Região Sul e nas Ilhas são comparativamente pouco significativos.

### Materiais Cerâmicos e Vidro

Os indicadores apresentados no quadro a seguir traduzem o papel da fileira dos cerâmicos e vidros neste período em Portugal, nomeadamente tendo em consideração a sua contribuição para o PIB nacional e VAB da indústria.

**Quadro 3** – Cerâmicos e Vidro: indicadores de 2012 a 2016

FILEIRA CERÂMICOS E VIDRO	2012	2013	2014	2015	2016
Volume de negócios [Milhares €]	1.906.972	1.916.090	2.018.798	2.094.603	2.208.544
Lucro [Milhares €]	-30.261	64.772	126.953	155.343	164.005
Rentabilidade de Vendas [%]	-1,59%	3,38%	6,29%	7,42%	24,69%
Número de Trabalhadores	22.966	22.284	22.763	23.470	24.119
VAB [Milhares €]	664.227	678.601	683.604	725.409	798.446
VAB [% PIB]	0,39%	0,40%	0,39%	0,40%	0,43%
VAB [% VAB Indústria]	3,35%	3,35%	3,26%	3,24%	3,41%
Produtividade [Milhares €]	28,9	30,5	30,0	30,9	33,1
VAB [% VAB Indústria Transf.]	41,62%	42,88%	41,63%	42,05%	43,94%
VAB [% VAB Indústria (Sel.)]	6,08%	6,15%	6,07%	5,83%	6,20%

Existem seis *clusters* que representaram cerca de 90 % do VAB total da fileira dos cerâmicos e vidros, nomeadamente: Vidro de Embalagem, Pavimento e revestimento, Utilitário e decorativo, Vidro Plano, Louça Sanitária; Estrutural. Destes seis *clusters* os três primeiros representaram cerca de 67 % do VAB total da fileira.

O estudo também mostra uma concentração da atividade desta fileira na região Centro e Norte de Portugal Continental, com um total de 86,1% do volume de negócios (57,9% e 28,2% respetivamente), um total de 87,3% do VAB (59,2% e 28,1% respetivamente) e um total de 88,4% do Número de Trabalhadores (67,6% e 20,8% respetivamente). A Área Metropolitana de Lisboa, a região do Alentejo, Algarve, a Região Autónoma da Madeira e a Região Autónoma dos Açores não têm expressão na atividade desta fileira.

### Materiais Naturais: Cortiça

Os indicadores do Quadro seguinte traduzem o papel que a fileira da cortiça representou neste período em Portugal. Nomeadamente tendo em consideração a contribuição para o PIB nacional e VAB da indústria, apesar de ter apresentado um valor positivo de rentabilidade de vendas correspondente a um lucro da fileira de 14,5 milhões de Euros em 2012, de 82,3 milhões de Euros em 2013, de 77,7 milhões de Euros em 2014 e de 89,0 milhões de Euros em 2015.

Quadro 4 – Cortiça: indicadores de 2012 a 2016

FILEIRA DA CORTIÇA	2012	2013	2014	2015	2016
Volume de negócios [Milhares €]	1.330.453	1.325.865	1.408.786	1.484.883	1.497.930
Lucro [Milhares €]	14.517	82.329	77.711	88.979	93.017
Rentabilidade de Vendas [%]	1,09%	6,21%	5,52%	5,99%	6,21%
Número de Trabalhadores	9.569	9.650	9.742	9.951	10.305
VAB [Milhares €]	282.416	287.902	300.585	318.134	350.299
VAB [% PIB]	0,17%	0,17%	0,17%	0,18%	0,19%
VAB [% VAB Indústria]	1,43%	1,42%	1,43%	1,42%	1,49%
Produtividade [Milhares €]	29,5	29,8	30,9	32,0	34,0
VAB [% VAB Indústria Transf.]	17,70%	18,19%	18,31%	18,44%	19,28%
VAB [% VAB Indústria (Sel.)]	2,58%	2,61%	2,67%	2,56%	2,72%

Analisando o valor acrescentado bruto de 2012 a 2016 por *cluster*, verifica-se que mais de 85% se concentra nos *clusters* preparação, rolhas naturais, rolhas técnicas e aglomerados. O mesmo se verifica no número de trabalhadores, neste caso com o predomínio do *cluster* rolhas naturais.

A atividade desta fileira concentra-se na região Norte e Alentejo de Portugal Continental. No período em análise considerado, o *cluster* "Preparação" foi o que mais contribuiu em termos de economia e de empregabilidade para a região Alentejo, sendo um dos mais representativos para a fileira. No que diz respeito à empregabilidade é importante referir que o *cluster* "Extração" se posiciona em termos relativos no segundo lugar da região, apesar de apresentar volume de negócios e VAB muito baixos. Tal deve-se à grande concentração de montados na região associada à baixa produtividade que este *cluster* apresentou para esta fileira em Portugal.

O estudo só agora fica disponível em PDF no site da SPM porque se esperava poder acrescentar os anos posteriores e talvez mais tipos de materiais, nomeadamente os metais. Não tendo isto sido possível para já, por falta de meios, o texto fica aberto a futuras atualizações e anexos com outros materiais.

#### AGRADECIMENTOS

A Joana Sousa e Pedro Lemos, que obtiveram os dados do INE e fizeram o respectivo tratamento, análise e gráficos. Joana Sousa preparou a formatação e apresentação do texto final do documento a disponibilizar no site da SPM.



CICLO DE CONFERÊNCIAS ON-LINE

# INVESTIGAÇÃO em Materiais no âmbito das bolsas ERCs

Evento on-line  
Gratuito  
Inscrição obrigatória

24/02/21 Elvira Fortunato  
31/03/21 Maria Goreti Sales  
28/04/21 Adélio Mendes  
26/05/21 João Mano  
30/06/21 Lino da Silva Ferreira  
21/07/21 Luís Pereira  
29/09/21 Cristina Pereira  
27/10/21 Isabel Ferreira  
24/11/21 Ana Cecília Roque  
26/01/22 Pedro Barquinha  
23/02/22 Maria Gomes



SOCIEDADE PORTUGUESA DE MATERIAIS

## CICLO DE CONFERÊNCIAS | INVESTIGAÇÃO EM MATERIAIS NO ÂMBITO DAS BOLSAS ERCs

A SPM realizou ao longo do último ano um ciclo de conferências on-line sobre “Investigação em Materiais no âmbito das bolsas ERC” que reuniu um conjunto de investigadores portugueses que obtiveram financiamentos aprovados pelo *European Research Council – ERC* cujo tópico estivesse relacionado com a área dos materiais. A SPM pretendeu assim dar a conhecer as atividades e resultados obtidos no âmbito destas bolsas e promover a discussão entre os participantes em torno do seu impacto e potenciais aplicações.

As conferências que decorreram durante um ano e tiveram lugar na última quarta-feira de cada mês (exceto em julho de 2021) pelas 17h com duração aproximada de 60 minutos.

***A participação nas conferências foi gratuita tendo sido requerida, no entanto, inscrição prévia.***



## WORKSHOP ON ADDITIVE MANUFACTURING 20 E 21 DE SETEMBRO DE 2021

**Durante dois dias, partilhamos, para um público de mais de 190 participantes, conhecimentos sobre Manufatura Aditiva (MA), para educar e fazer a polinização cruzada de ideias para contribuir para a implementação industrial da MA.**

Com um conjunto de palestrantes excecionais, apresentamos as tecnologias de MA e diversos estudos de caso, nos quais experiências industriais de sucesso foram apresentadas, como exemplos de boas práticas. Culminando com uma mesa redonda muito interessante e animada, com especialistas que discutiram a industrialização atual da MA em diferentes áreas, identificamos algumas das atuais necessidades para a industrialização da AMA organização esteve a cargo de Paula M. Vilarinho da Universidade de Aveiro em colaboração com colegas Istedc Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici, CNRS, Itália

O evento contou com o apoio de: Universidade de Aveiro, Sociedade Europeia de Cerâmica (ECERS), JECs Trust da ECERS, Sociedade Portuguesa de Materiais, Sociedade Portuguesa de Cerâmica e Vidro, PROJETO Mobilizador – Add.Additive – Add Additive Manufacturing to Portuguese Industry, POCI-01-0247-FEDER-024533, das empresas Costa Verde, Scansci, Lithoz, Cellink, Maquinser, COLFEED4PRINT.



## Aumente a produtividade reduzindo o consumo TruLaser 1030 fiber com Highspeed Eco

A nova série TruLaser 1000: com maior velocidade e qualidade de corte. Ideal quer para as empresas que estão agora a começar, quer para as empresas que procuram aumentar a sua capacidade de produção.

A tecnologia Highspeed Eco, permite o aumento de produtividade até +100%, dependendo da espessura da chapa, e reduz o consumo de gás até -70%.

[www.trumpf.com](http://www.trumpf.com)



**RAMADA AÇOS**  
SPECIAL STEEL SOLUTIONS

**WEBINAR**  
de tratamentos térmicos

**17 de novembro 2021, 17h00**

DURAÇÃO: 1h30m  
ORGANIZAÇÃO: DEMec e SPM  
Divisão de Materiais Estruturais



No âmbito da Unidade Curricular de Materiais Metálicos do 2º ano da Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, vai realizar-se um **WEBINAR de Tratamentos Térmicos** proferido pela empresa **RAMADA AÇOS**.

Podem também participar neste webinar estudantes de outros cursos e outros interessados, mas a inscrição no evento é obrigatória, sujeita a aprovação pela **RAMADA AÇOS**.



## WEBINAR TRATAMENTOS TÉRMICOS 17 DE NOVEMBRO DE 2021

No âmbito da Unidade Curricular de Materiais Metálicos do 2º ano da Licenciatura em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, realizou-se um webinar de Tratamentos Térmicos proferido pela empresa RAMADA AÇOS.

***O webinar contou também com a participação de outros interessados mediante inscrição prévia.***

## DIVISÃO TÉCNICA DE TECNOLOGIA E PROCESSAMENTO DE MATERIAIS

A criação da nova Divisão Técnica de Tecnologia e Processamento de Materiais foi aprovada por unanimidade na Assembleia Geral do passado dia 14 de Julho, com o objetivo de atrair mais sócios para a SPM e assim contribuir para aumentar a dinâmica da Sociedade.

***Esta Divisão vem proporcionar uma maior aproximação do desenvolvimento de processamento de novos materiais às aplicações dos mesmos, resultando na produção mais sustentável de produtos transacionáveis, que são a base de um importante sector industrial nacional.***

São Coordenadores da Divisão os sócios Abílio de Jesus (Professor Associado, FEUP), Hélder Puga (Investigador Auxiliar, UMINHO) e Pedro Rosa (Professor Associado, IST).



# SEMINÁRIO

## SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA

Mangualde  
10 de Dezembro de 2021

### Programa

#### 09.00 Abertura

#### 9.15 Sessão Temática

"Green Solutions for a greener automotive industry"

09.15 PSA - Paulo Sérgio Pereira, Direction EUROPE / Iberian Industrial Manager UTEE - Stellantis Mangualde

09.35 Simoldes - Júlio Grilo, Diretor de Inovação

09.55 Autoeuropa - Gisela Garcia, Diretora de Inovação

#### 10.15 Coffee-break

10.30 Coficab - Hugo Marques, Responsável de EHS & Sustainability

10.50 Blue Crow - Bernardo Meira, Partner

11.20 AICEP

#### 12.15 Sessão de Encerramento

#### 14.30 Visita Instalações PSA Mangualde (mediante inscrição prévia)

ESTARÁ ASSEGURADO O CUMPRIMENTO DAS RECOMENDAÇÕES E ORIENTAÇÕES DA DIREÇÃO GERAL DE SAÚDE RELATIVAS À PRESENÇA FÍSICA DOS ORADORES E CONVIDADOS

Presença no seminário sujeita a inscrição aqui (até um total de 75 inscrições):  
<https://forms.gle/LjGmanfw5N7VMXMr5>

Visita às instalações sujeita a inscrição aqui (até um total de 20 inscrições):  
<https://forms.gle/e5Au9bKTRb8km47RA>

# IMMAS

Instituto de Materiais,  
Manutenção, Ambiente  
e Segurança

O IMMAS – Instituto de Materiais, Manutenção, Ambiente e Segurança é uma associação sem fins lucrativos, fundada em 1999, com sede em Lisboa (Polo Tecnológico).

Secretariado: Maria Helena Gil  
maria.gil@tecnico.ulisboa.pt

O IMMAS tem como objectivo o exercício da actividade de investigação, desenvolvimento e demonstração, essencialmente nos domínios seguintes:

- Engenharia relacionada com os problemas de segurança de máquinas, dispositivos, equipamentos, instalações e outros sistemas
- Problemas de manutenção, do ambiente, da qualidade e dos materiais utilizados

São actividades correntes do IMMAS:

- Acções de formação
- Auditorias de ambiente e segurança
- Apoio técnico a empresas



## **Caro sócio, JÁ SE INSCREVEU NA BOLSA DE PERITOS DA SPM?**

A SPM disponibiliza no seu site uma lista de peritos que pode consultar se necessitar de apoio, colaborações ou serviços.

### ***Junte-se a esta lista!***

***Albano Cavaleiro  
António Correia Diogo  
António Galhano  
António Pouzada  
Carlos Baleizão  
César Sequeira  
Daniel Marinha  
Diogo M. F. Santos  
Eduardo Constantino André  
Elvira Fortunato  
Fernando Castro  
Filipe Fernandes  
Hélder Puga  
Hélio Jorge  
Horácio Maia e Costa  
Hugo Águas  
João Bordado  
João Cascalheira  
João Gomes  
João Salvador Fernandes  
Jorge Alexandre Silva  
Jorge Coelho  
Jorge Lino Alves  
José Costa  
José Cruz Oliveira***

***José Paulo Farinha  
José Quaresma  
Luís Gil  
Luís Pereira  
Manuel Vieira  
Marcelo Moura  
Maria Ascensão Lopes  
Maria Cristina Parreira  
Maria de Fátima Montemor  
Maria de Fátima Vaz  
Maria Laurinda Ferreira  
Mário Ferreira  
Paula Vilarinho  
Pedro Amaral  
Ricardo Cláudio  
Robert Pullar  
Rodrigo Martins  
Rosa Marat-Mendes  
Sandra Carvalho  
Teresa Diamantino  
Teresa Morgado  
Teresa Monteiro  
Teresa Vieira  
Verónica Bermudez  
Victor Neto***

Para mais informações consulte o nosso site:  
<http://spmateriais.pt/site/spm/peritos-spm/>



SÓCIOS COLETIVOS

# CIÊNCIA & TECNOLOGIA DOS MATERIAIS



CONTACTOS

[www.spmateriais.pt](http://www.spmateriais.pt)

[comunicacao@spmateriais.pt](mailto:comunicacao@spmateriais.pt)

965 756 172